



bimestrale dell'ENEA  
anno 58  
maggio - giugno 2012

# Energia, Ambiente e Innovazione

3/2012

Sfide  
della  
superconduttività

Industria  
delle rinnovabili

Parla il  
Sottosegretario  
allo Sviluppo  
Economico

Puntare  
sul gas?



# Energia, Ambiente e Innovazione

RIVISTA BIMESTRALE DELL'ENEA  
ANNO 58 - N. 3 MAGGIO/GIUGNO 2012

**Direttore Responsabile**  
Vincenzo Ferrara

## Comitato di Direzione

Pietro Agostini, Vincenzo Artale, Giacobbe Braccio, Marco Casagni, Gian Piero Celata, Carlo Cremisini, Pierino De Felice, Roberta Delfanti, Francesco Di Mario, Roberta Fantoni, Elena Fantuzzi, Massimo Forni, Massimo Frezzotti, Massimo Iannetta, Carlo Manna, Carmela Marino, Paride Meloni, Silvio Migliori, Roberto Morabito, Aldo Pizzuto, Vincenzo Porpiglia, Rino Romani, Sergio Sangiorgi, Massimo Sepielli, Leander Tapfer, Ezio Terzini, Francesco Troiani, Marco Vittori Antisari, Gabriele Zanini

## Comitato tecnico-scientifico

Oswaldo Aronica, Paola Batistoni, Ilaria Bertini, Paolo Clemente, Paolo Di Lazzaro, Andrea Fidanza, Stefano Giammartini, Rossella Giorgi, Giorgio Graditi, Massimo Maffucci, Laura Maria Padovani, Paolo Ruti, Emilio Santoro

**Direttore editoriale**  
Diana Savelli

**Coordinamento editoriale**  
Giuliano Ghisu

## Comitato editoriale

Valerio Abbadessa, Flavia Amato, Daniela Bertuzzi, Paola Carrabba, Paola Cicchetti, Antonino Dattola, Barbara Di Giovanni, Laura Di Pietro, Michele Mazzeo, Laura Migliorini, Paola Molinas, Rita Pascucci, Caterina Vinci

## Edizione web

Antonella Andreini, Daniela Bertuzzi, Concetta Manto

## Promozione

Paola Crocianielli

## Traduzioni

Carla Costigliola

## Progetto grafico

Paola Carabotta, Bruno Giovannetti

## Segreteria

Antonella Calamita

**Per informazioni e contatti:** infoeai@enea.it

*Gli articoli riflettono le opinioni degli autori e non necessariamente quelle dell'ENEA*

## Pre-stampa

FGE Srl - Fabiano Gruppo Editoriale  
Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)  
e-mail: info@fgeditore.it

## Stampa

Varigrafica Alto Lazio  
Via Cassia, km 36,300 (Zona industriale) - 01036 Nepi (VT)

## Registrazione

Tribunale Civile di Roma  
Numero 148 del 19 aprile 2010 del Registro Stampa

Finito di stampare nel mese di giugno 2012



Prodotto realizzato impiegando carta Symbol Freelifte certificata FSC

# N. 3/2012

# Indice

2 **Editoriale**

4 **Intervista**

**WV** World view **10**

**Ec** Focus **23**

## Idrocarburi non convenzionali

23 **Le riserve petrolifere canadesi e la sicurezza energetica globale**  
*J. Fox*

## Ricerca e filiera alimentare

25 **Difficile l'innovazione tecnologica per le piccole e medie imprese**  
*M. Leonardi*

## Rifiuti

28 **Perché il riciclo intelligente dei rifiuti del Giappone non si applica in Italia**  
*P. Landolfo*

## Terremoto Emilia Romagna

30 **Perché la liquefazione del terreno e quali gli effetti**  
*G. Bongiovanni, P. Clemente, G. Martini, V. Verrubbi*

**Po** Primo piano **34**

## Rapporto energia e ambiente

34 **Domanda e offerta di energia in Italia e nel mondo: situazione attuale e scenari futuri**  
*ENEA, Unità Centrale Studi e Strategie*

## Mobilità sostenibile

40 **Nuove opportunità tecnologiche per la mobilità sostenibile**  
*G. Messina, G. Valenti, M. P. Valentini*

## Science policy after Fukushima

44 **Doing science in dire straits: the role of internationalization to boost R&D**  
*D. De Martinis, C. Clementel, M. Leonardi*

**Ps** Prospettive **49**

## L'industria delle rinnovabili in Germania

49 **The renewable energy industry in Germany**  
*T. Grigoleit, D. Lenkeit*

## Agricoltura sostenibile

55 **Il ruolo dell'agricoltura nel dibattito internazionale sullo sviluppo sostenibile**  
*A. Luise*

**Sr** Studi & ricerche **60**

## Review & assessment papers

60 **High temperature superconductivity: challenges and perspectives for electric power applications**  
*G. Celentano, A. Augieri*

72 **The evaluation of the reference earthquake for the siting of high risk industrial plants**  
*L. Serva, F. Fumanti*

82 **Ionizing radiation metrology in cancer radiation therapy**  
*M. Bovi, M. Capogni, C. Caporali, M. D'Arienzo, P. De Felice, A. S. Guerra, M. Pimpinella, M. Pinto, M. P. Toni*

## Research papers

95 **Ecotoxicological effects of nanomaterials in terrestrial and marine environments. An integrated approach in ENEA - Portici**  
*S. Manzo, M. L. Miglietta, G. Rametta, G. Di Francia*

102 **PVD protective multilayer coatings for tribological applications**  
*A. Rizzo, M.A. Signore, D. Valerini*

109 **Hydrogen mass transfer through micro and nano-structured electrodes for energetic applications**  
*E. Castagna, L. Giorgi, G.K. Hubler, D. Kidwell, D. Knies, S. Lecci, M. McKubre, M. Sansovini, F. Sarto, V. Violante*

## Technical papers

114 **Optical technologies, thin films and interfaces for organic photonics**  
*R.M. Montereali, F. Bonfigli, D. Broglioli, A. Santoni, M.A. Vincenti, E. Nichelatti*

122 **Ternary metal hydrides. Development of a microporous-matrix composite material and its use as fixed bed in a solid state hydrogen storage tank**  
*M. Pentimalli, E. Imperi, A. Salvo, A. Picano, F. Padella*

128 **Virtual Laboratory and Computer Aided Design for Free Electron Lasers outline and simulation**  
*M. Artioli, G. Dattoli, P. L. Ottaviani, S. Pagnutti*

**Rb** Rubriche **133**

133 dal **Mondo**

135 dall'**Unione Europea**

135 dalle **Istituzioni nazionali**

137 dai **Giornali**

138 **Calendario eventi**



## Fonti rinnovabili e reti intelligenti per ridisegnare il mercato elettrico italiano

Dalla fine dello scorso anno, lo scenario energetico nazionale è attraversato da profondi mutamenti. Un aspetto importante è riconducibile alla spinta, intensa e molto rapida, proveniente dalla generazione distribuita, in particolare da fonti rinnovabili, al quale il nostro sistema dovrà rapidamente adeguarsi. Alle grandi centrali che utilizzano fonti fossili si stanno, infatti, affiancando migliaia di piccoli e piccolissimi impianti in gran parte alimentati da fonti rinnovabili e, in particolare, da solare fotovoltaico ed eolico. Per capire le dimensioni di questo fenomeno basta considerare che alla fine del 2011 la capacità degli impianti eolici ha raggiunto i 6.600 MW e circa 12.500 MW quella da impianti fotovoltaici, con un aumento del 460% rispetto all'anno precedente.

Se questi numeri tratteggiano la portata della produzione di energia elettrica "green", senza dubbio per molti aspetti positiva, è necessaria tuttavia un'analisi approfondita e rigorosa per valutarne l'impatto sul sistema e per individuare proposte e soluzioni necessariamente flessibili e innovative da parte del Regolatore. Infatti, la crescente penetrazione di impianti da fonti rinnovabili, per definizione intermittenti e non programmabili, ha determinato un progressivo scardinamento dei fondamentali del mercato elettrico in particolare e della dinamica di formazione dei prezzi sul mercato del giorno prima (MGP).

Senza smart grids lo sviluppo delle fonti rinnovabili rischia di essere un investimento importante ma dai benefici limitati

Dall'ottobre scorso, in particolare, le rilevazioni dell'Autorità hanno evidenziato che nelle ore di maggior produzione da fotovoltaico si registra una compressione relativa dei prezzi all'ingrosso, mentre nei momenti in cui il fotovoltaico è assente o trascurabile (al calare del sole), i prezzi aumentano notevolmente. Una spiegazione di questo andamento è nel fatto che la produzione da fotovoltaico durante il giorno provoca una significativa riduzione delle ore di produzione degli impianti termoelettrici, i quali coprono così le eventuali perdite sui costi variabili che si generano nelle

ore in cui devono comunque rimanere in servizio per i vincoli tecnici di funzionamento e per garantire un indispensabile back-up agli impianti rinnovabili, per loro natura intermittenti e non programmabili.

L'esigenza di coprire i costi variabili di produzione e parte dei costi fissi in un numero più concentrato di ore concorre quindi a spiegare l'aumento relativo dei prezzi all'ingrosso nelle prime ore serali. Rispetto a questo fenomeno emergente, l'Autorità ha sviluppato analisi e approfondimenti anche in vista di futuri provvedimenti che si rendono necessari, fra i quali una nuova articolazione delle diverse fasce orarie, per assicurare ai clienti finali i corretti segnali di prezzo.

Ma vi è anche un altro aspetto di rilievo, connesso al tumultuoso sviluppo di fonti rinnovabili, intermittenti e di limitata programmabilità: il loro impatto sulle reti, soprattutto di distribuzione in media e bassa tensione, alle quali i nuovi impianti di piccole e medie dimensioni si connettono. Anche su questo fronte sono quindi necessari interventi all'insegna di una nuova filosofia di progetto e di esercizio del sistema elettrico, nel quale le reti devono assumere un ruolo diverso e tale da consentire l'integrazione di una generazione distribuita in forte crescita.

Si tratta di utilizzare meglio la capacità delle reti esistenti, rendendole capaci di gestire la variabilità dei flussi di potenza con opportuni sistemi di controllo in tempo reale sugli impianti di produzione. Anche perché, come evidenzia uno studio realizzato dall'Autorità in collaborazione con il Politecnico di Milano, sulle reti di distribuzione esiste già un



notevole potenziale di connessione di nuova generazione da fonti rinnovabili: circa l'80% dei nodi delle reti di distribuzione di media tensione sono in grado di connettere 3 MW. È quindi necessario dotare i sistemi di distribuzione di dispositivi di controllo (sensori e attuatori) che permettano di valutare lo stato della rete e di inviare segnali agli impianti in modo da massimizzare l'energia immessa in rete in condizioni sicure di tensione, corrente e frequenza. Proprio in questa direzione va la recente delibera 84/2012, che richiede alla generazione distribuita di contribuire in modo positivo in caso di eventuale perturbazione di frequenza. Questo intervento di regolazione è solo un esempio di un cambiamento di paradigma più generale: le reti, in particolare quelle di distribuzione, devono diventare 'intelligenti' (smart). E non a caso quello delle *smart grids* è un tema centrale nell'agenda della Commissione Europea, anche in prospettiva degli obiettivi. Oggi le reti elettriche sono un canale per trasmettere e distribuire energia elettrica in maniera "unidirezionale", dalle grandi centrali fino al contatore del cliente finale. Ma in futuro dovranno poter soddisfare anche le esigenze legate alla presenza di numerosi impianti di piccola dimensione, con una localizzazione decentrata e, soprattutto, intermittenti e non programmabili.

Da un servizio sostanzialmente "passivo" (prevalentemente indirizzato al consumo), dovranno passare ad un ruolo "attivo", prevalentemente indirizzato alla produzione e alla gestione dei carichi, per il quale sarà possibile monitorare in tempo reale i flussi di energia e nel quale giocheranno un ruolo basilare i nuovi contatori elettronici e quindi lo *smart metering* per la misura dei consumi. E dove gli stessi consumatori saranno chiamati ad essere sempre più protagonisti attivi nel sistema.

In sostanza, la rete si sta trasformando per essere funzionale al perseguimento di tre obiettivi: ottimizzare la potenzialità di allacciamento degli impianti da fonti rinnovabili; consentire che la possibilità della clientela diffusa di modificare i propri carichi possa essere utilizzata vantaggiosamente per la gestione del sistema elettrico nazionale; garantire e, dove possibile, migliorare ulteriormente la qualità del servizio.

Tutto ciò richiede investimenti per massimizzare l'immissione in rete di energia da generazione diffusa, anche in presenza di un carico assai variabile per esempio tra il giorno e la notte; d'altra parte, serve un nuovo complesso di regole che riguardino le caratteristiche tecniche più evolute degli impianti di produzione ma anche nuove forme di incentivazione degli investimenti e l'utilizzo degli smart meter.

Su questo fronte l'Italia non è una Cenerentola ma, anzi, detiene un primato mondiale, tenuto conto che – come evidenzia uno studio del Joint Research Center della Commissione Europea – la metà degli investimenti in *smart grids* e *smart metering* di tutta Europa sono stati fatti nel nostro Paese. In quest'ambito si colloca la decisione dell'Autorità di premiare otto progetti pilota per le *smart grids* sulle reti di distribuzione, selezionati con bando a evidenza pubblica, prevedendo una specifica remunerazione tariffaria per incentivare investimenti in sistemi di automazione, di protezione, controllo e *storage* dell'energia elettrica anche abbinati a sistemi di ricarica di veicoli elettrici, su reti di distribuzione in media tensione. Si tratta di un'iniziativa piuttosto innovativa, che consentirà anche di raccogliere informazioni utili per incentivare un nuovo uso delle reti e rendere 'intelligenti' porzioni di reti già interessate dal fenomeno della inversione di flusso.

Quindi, anche se c'è molta strada da fare, siamo partiti. Ma se vogliamo che la generazione distribuita e le fonti *green* divengano a pieno una risorsa per il Paese, occorre continuare nella direzione intrapresa, perché senza *smart grids* lo sviluppo delle fonti rinnovabili rischia di essere un investimento importante ma dai benefici limitati. Per sfruttarne al meglio le potenzialità migliorando la qualità del servizio reso ai clienti e per ridurre la nostra dipendenza da fonti fossili, non possiamo non raccogliere questa sfida.



## Intervista con il Sottosegretario allo Sviluppo Economico: Claudio De Vincenti

**N**onostante i tanti impegni che questo Governo tecnico sta affrontando, molti dei quali delle vere e proprie emergenze, si stanno delineando obiettivi coerenti e idee piuttosto chiare sul futuro energetico del nostro Paese. La Strategia Energetica Nazionale, presentata alla fine dello scorso mese di aprile dal Ministro dello Sviluppo Economico, Corrado Passera, evidenzia prospettive prossime in cui gas naturale e fonti rinnovabili costituiranno le energie di punta nel futuro panorama italiano, imperniato su crescita sostenibile e competitività delle imprese.

Abbiamo rivolto alcune specifiche domande sull'argomento al Prof. Claudio De Vincenti, Sottosegretario allo Sviluppo Economico.

- **Finora il problema energetico nazionale non ha mai avuto la priorità che si meriterebbe nell'agenda politica. Poiché l'ultimo Piano Energetico Nazionale risale ormai al 1987, il fatto che il Ministro Passera abbia tracciato un disegno complessivo di Piano Energetico Nazionale potrà, secondo lei, creare prospettive future più certe anche sullo sviluppo economico del Paese?**

Lo racconto spesso, e mi fa piacere ripeterlo anche ai lettori della Rivista dell'ENEA. Appena arrivato al Ministero, sono stato messo sull'avviso. Non pronunciare mai l'espressione Piano Energetico Nazionale, porta male, non si riesce a farlo. Abbiamo aggirato l'ostacolo e scelto l'espressione Strategia Energetica Nazionale (SEN). Non si tratta però di un mero fatto linguistico o scaramantico. Nella parola "strategia" è, infatti, insito il concetto di visione d'insieme, di lungo termine e ampio respiro, tenendo conto del palcoscenico europeo e non solo. Peccato di presunzione, forse, per un governo tecnico a scadenza ravvicinata. Ma, commosso nella profonda convinzione che se non si guarda oltre il contingente, non si riuscirà – tanto per dirne una – a venir fuori da quell'emergenza che, solo pochi mesi fa, causa l'eccezionale ondata di gelo che si è abbattuta su mezzo mondo, ha rischiato di metterci in seria difficoltà. E ora veniamo alla SEN.

In un contesto internazionale, in cui il settore energia è in grande evoluzione, l'Italia punta a formulare una propria Strategia Energetica Nazionale che sia centrata su obiettivi chiari e coerenti con la necessità di crescita, anche economica, del Paese: energia più competitiva in termini di costi, maggiore sicurezza e indipendenza di approvvigionamento, mantenimento degli standard di qualità e di impatto ambientale. Partendo da un dato: nei prossimi vent'anni, la domanda di energia è prevista in continua crescita a livello mondiale. E con un corollario: tra le fonti di energia, il gas e le rinnovabili saranno i vincitori, mentre il petrolio sarà il perdente. In questa cornice stiamo disponendo le tessere del nostro mosaico energetico e riteniamo che entro l'anno il lavoro possa concludersi. Se finora c'è stata, per così dire, la fase dell'analisi e dell'elaborazione, anche con il coinvolgimento dell'ENEA, al Ministero intendiamo dedicare i prossimi mesi al confronto con tutte le parti interessate: altri Ministeri, le Regioni, l'Autorità, Enti vari, le Associazioni di categoria, la Comunità scientifica.

Le quattro priorità sono:  
l'efficienza energetica,  
lo sviluppo dell'hub del gas  
sud-europeo, lo sviluppo  
delle energie rinnovabili  
e il rilancio della produzione  
nazionale di idrocarburi

- **Quali finalità ha la Strategia Energetica Nazionale?**

Come ha recentemente osservato il ministro dello Sviluppo Economico Corrado Passera, "la definizione della strategia energetica è parte integrante e qualificante del governo



Monti, ed è focalizzata principalmente a sviluppare il potenziale di crescita sostenibile e aumentare la competitività delle imprese e del Paese". Il settore energetico, infatti, può avere un ruolo fondamentale nella crescita dell'economia italiana, sia come fattore abilitante (avere energia a basso costo e con elevato livello di servizio è una condizione fondamentale per lo sviluppo delle aziende e per le famiglie), sia come fattore di crescita in sé (pensiamo alla *green economy* o al potenziamento dell'energia primaria).

L'Italia, notoriamente, è un Paese da sempre dipendente, più della media delle altre nazioni europee, da fonti energetiche di importazione. Però, ha sviluppato alcuni importanti punti-forza: ha un buon posizionamento sul *rating* dell'efficienza energetica, con un'intensità energetica della crescita contenuta; ha un forte interscambio con Paesi di più aree di riferimento (Nord Africa, Russia, Europa); ha uno sviluppo delle regole di mercato abbastanza avanzato, soprattutto nel mercato elettrico, e una qualità del servizio decisamente positiva; la tabella di marcia verso gli obiettivi europei per il 2020 mostra sì fattori di criticità (richiedendo interventi di razionalizzazione della spesa pubblica), ma anche aspetti positivi per quanto riguarda il potenziale tecnico e industriale di settori relevantissimi, quali l'efficienza energetica e le energie rinnovabili. Tuttavia, dobbiamo fare meglio per quanto riguarda la sicurezza degli approvvigionamenti (in particolare del gas, fonte da cui siamo particolarmente dipendenti) e, soprattutto, dobbiamo fare meglio per quanto riguarda i prezzi per i consumatori. Per noi è decisivo riuscire a ridurre la forbice dei prezzi italiani rispetto a quelli dei nostri partner europei e garantire condizioni competitive per i grandi consumatori industriali ma anche per i settori di media impresa ad alta intensità energetica (oggi i più esposti agli incrementi di prezzo), senza comunque perdere d'occhio l'interesse delle famiglie italiane.

Per raggiungere gli obiettivi fin qui indicati, e tenendo conto dei nostri naturali punti di forza, abbiamo indicato quattro priorità della SEN: efficienza energetica, sviluppo dell'hub del gas sud-europeo, sviluppo sostenibile delle energie rinnovabili, rilancio della produzione nazionale di idrocarburi. Il tutto, all'interno di una cornice che riguarda la *governance* istituzionale del settore. Le quattro priorità sono: l'efficienza energetica, lo sviluppo dell'hub del gas sud-europeo, lo sviluppo delle energie rinnovabili e il rilancio della produzione nazionale di idrocarburi.

• **Ci può descrivere con più dettagli questi quattro obiettivi?**

Certo, cominciamo con il primo: l'efficienza energetica che è la prima delle leve della strategia, perché consente di centrare praticamente tutti gli obiettivi di politica energetica nello stesso tempo. È lo strumento più economico per abbattere le emissioni. Può essere un elemento fondamentale per ridurre i nostri costi energetici e le importazioni di combustibili. Rappresenta un potenziale volano di crescita economica, con lo sviluppo di un settore ad alto potenziale nei mercati globali e su cui l'industria italiana parte da posizioni di forza (*smart grid*, elettrodomestici/domotica, illuminotecnica, caldaie, inverter, motori elettrici). Per perseguire questo obiettivo sarà necessario mettere a punto un programma nazionale ampio e articolato che comprenda normative sugli standard di apparecchiature e di edifici; controlli serrati sull'applicazione di tali normative ed eventuali sanzioni; sensibilizzazione dei consumatori attraverso campagne di informazione e comunicazione; estensione/rimodulazione degli incentivi.

• **Cosa si intende per sviluppo dell'hub del gas sud-europeo?**

Oggi abbiamo una grande opportunità: l'Europa dovrà importare sempre più gas e diversificarne le fonti a causa di molteplici fattori concomitanti, quali l'aumento del

consumo interno data la riduzione del nucleare e del carbone, la diminuzione della produzione europea (olandese/britannica), la necessità di modificare le importazioni dalla Russia. In questo scenario, noi possiamo appunto diventare il principale ponte per l'ingresso di gas dal Sud verso tutta l'Europa. Si potrebbe obiettare, come si è obiettato, che così faremo arrivare in Italia più gas di quanto ne serva. Vero, ma il punto è che solo creando una *overcapacity* di importazione avremo maggiore concorrenza e potremo disporre di una capacità di contro-flusso, in modo da far transitare gas verso il Nord Europa già dal 2014. Puntiamo cioè a favorire il collegamento con gli *hub* europei già operanti, dove i prezzi sono minori, perché legati a contratti di fornitura di breve periodo e a un maggior apporto di gas naturale liquefatto (GNL).

Un simile modello, oltre a metterci al riparo da future crisi del gas e farci diventare un Paese (ri)esportatore, ha l'ambizione di creare un mercato interno liquido e concorrenziale, con prezzi del gas auspicabilmente allineati (se non inferiori) a quelli degli altri Paesi europei. Inoltre, visto che il 55% della produzione elettrica proviene dal gas, questo modello dovrebbe comportare la riduzione dei costi e dei prezzi del mercato elettrico, consentendo tra l'altro al nostro parco centrali (tra i più efficienti d'Europa e in grande sovraccapacità) di esportare energia elettrica, o almeno di importarne meno. Per realizzare tutto ciò servono, però, sia infrastrutture che regole e riconfigurazione del mercato.

Sul fronte infrastrutture, occorrono: rigassificatori di GNL (uno quasi ultimato a Livorno, uno in fase di avvio lavori a Porto Empedocle e due appena autorizzati a Falconara e Gioia Tauro); gasdotti di importazione (stiamo promuovendo la realizzazione del Corridoio Sud dal Caspio, portando a termine l'autorizzazione del progetto di gasdotto GALSİ, che consentirà di aumentare l'apporto di gas algerino e di metanizzare la Sardegna); stoccaggi (tre quelli in fase di costruzione e due che dovremmo autorizzare entro pochi mesi).

Sul fronte regole e struttura del mercato abbiamo già messo in moto alcuni meccanismi: innanzitutto la separazione proprietaria di SNAM, con l'ottica di avere un gestore di rete che possa più agilmente sviluppare le necessarie infrastrutture di cui si parlava prima e operare in coordinamento con gli altri gestori europei di rete, in modo da contribuire al funzionamento di un mercato del gas europeo concorrenziale; in secondo luogo, l'introduzione di regole di mercato che favoriscano maggiormente la concorrenza, tant'è che a breve sarà presentato il regolamento per una "borsa del gas".

Inoltre, nei prossimi mesi sarà data attuazione alla normativa sui nuovi servizi di rigassificazione e stoccaggio integrati, senza dimenticare che stiamo anche lavorando, a livello europeo, sulle regole di transito e di risoluzione delle congestioni nei gasdotti trans-frontalieri.

#### • **Quale spazio viene riservato alle energie rinnovabili?**

Nella strategia energetica nazionale non parliamo genericamente di energie rinnovabili, ma di sviluppo sostenibile delle energie rinnovabili, in termini di ottimizzazione integrata di vantaggi ambientali e vantaggi economici e sociali. Mi spiego meglio. Le rinnovabili sono un pilastro del pacchetto clima-energia europeo (il cosiddetto 20-20-20). L'Italia, che ha pienamente aderito allo spirito della direttiva europea, intende confermare gli obiettivi e, se possibile, superarli. In particolare, nel settore dell'energia elettrica, dove – con otto anni di anticipo – abbiamo già praticamente raggiunto gli obiettivi del 2020. E però, l'approccio finora seguito non è stato ottimale, soprattutto in termini di costi per il Paese. Abbiamo, infatti, privilegiato il settore elettrico, a scapito di quello termico e dell'efficienza

energetica, modalità economicamente più vantaggiose per centrare l'obiettivo. Ma, soprattutto, abbiamo definito incentivi molto generosi – in particolare per il solare – e non abbiamo previsto adeguati meccanismi di contenimento dei volumi. Il risultato è stato una vera e propria esplosione degli impianti a costi molto elevati: nove miliardi di euro l'anno di incentivi da pagare in bolletta da parte di famiglie e imprese. E poiché gli incentivi hanno una vita di 15-20 anni, il totale fa 150/200 miliardi. In più, il ritorno economico di tali investimenti spesso non è stato ottimale, per via della forte spinta verso tecnologie dove l'Italia non ha, e faticherebbe ad avere, una *leadership* industriale (per esempio, nel solare, campo in cui il 50% degli investimenti è impegnato in apparecchiature importate).

Con gli schemi dei decreti ministeriali varati di recente, e attualmente in discussione in Conferenza Unificata, intendiamo ridefinire il tipo di sviluppo in questo settore, con un approccio alla crescita più virtuoso, basato sull'efficienza dei costi (dobbiamo mirare a una piena concorrenza con le fonti fossili) e sulla massimizzazione del ritorno economico e ambientale per il Paese. L'intervento prevede la disponibilità di ulteriori tre miliardi l'anno a regime a sostegno del settore, passando cioè dagli attuali nove miliardi a circa dodici, ma con un progressivo avvicinamento degli incentivi unitari al resto dei Paesi europei (pur rimanendo al di sopra) e con un ribilanciamento del mix a favore delle fonti rinnovabili più virtuose in termini di ritorno economico, di innovazione tecnologica, di impatto ambientale e di integrazione nel sistema elettrico complessivo. Ci proponiamo per questa via di sviluppare un settore, quello della "green economy", che ha importanti ricadute sull'economia nazionale.

- **Il quarto obiettivo riguarda il rilancio della produzione nazionale di idrocarburi, perché il governo intende puntare sugli idrocarburi?**

Sul breve e medio periodo, le fonti rinnovabili non saranno in grado di sostituire quelle fossili e, tra le fonti fossili, quella più pulita è il gas naturale. Il gas avrà, quindi, un ruolo fondamentale nello sviluppo economico mondiale, come mostrano, tra l'altro, gli scenari di autorevoli Istituzioni internazionali come l'IEA, l'Agenzia Internazionale dell'Energia dell'OECD. Ebbene, l'Italia ha ingenti riserve di gas e di petrolio. Una parte importante di queste riserve può essere attivata in tempi relativamente rapidi, consentendo di soddisfare potenzialmente quasi il 20% dei consumi (ora è il 10%), attivare 15 miliardi di euro d'investimenti e 25.000 nuovi posti di lavoro stabili, ridurre la nostra bolletta energetica d'importazione di oltre 6 miliardi l'anno (aumentando così il PIL di quasi mezzo punto percentuale), ricavare 2,5 miliardi di euro di entrate fiscali, sia nazionali che locali. Per fare tutto questo dobbiamo però adeguare agli standard internazionali la nostra normativa di autorizzazione e concessione che oggi richiede passaggi autorizzativi lunghissimi ed è per molti aspetti molto più restrittiva di quanto previsto dalle normative europee. Insomma, un caso British Gas, che pure è stato del tutto particolare, non si deve più ripetere. Mi riferisco al caso del rigassificatore di Brindisi oggetto di lunghe controversie, anche legali.

- **Ci può spiegare meglio?**

Perché l'Italia possa autorevolmente partecipare alla costruzione della politica energetica a livello europeo, che è e sempre più sarà la dimensione dominante, occorrono scelte chiare a livello nazionale e una linea di indirizzo strategico coerente e unitaria. Per gli effetti che generano sul territorio, le scelte di politica energetica del Paese possono essere concretamente attuate solo se assunte attraverso una





collaborazione convinta con gli enti di governo territoriale, senza per questo compromettere le linee di indirizzo unitarie che attengono all'esclusiva responsabilità del governo nazionale. Sarà certo fondamentale avere una stretta collaborazione con Regioni ed Enti locali, dato che, spesso, l'espressione dei pareri ha tempi d'attesa lunghi. E una maggiore snellezza delle procedure potrà arrivare dall'attuazione delle norme emanate in recepimento del cosiddetto "terzo pacchetto" sul mercato interno del gas e dell'energia elettrica, in base alle quali le infrastrutture coerenti con la Strategia Energetica Nazionale godranno di una sorta di "corsia preferenziale", in raccordo con le amministrazioni decentralizzate, per il loro iter autorizzativo. Comunque – ribadisco – è giusto discutere e confrontarsi, ma le decisioni devono essere assunte in tempi ragionevoli e poi devono essere portate avanti da tutta la filiera istituzionale, chiamata a facilitare, e non ostacolare, le soluzioni più adeguate dal punto di vista tecnologico, ambientale e di impatto occupazionale.

• **Per attuare la Strategia Energetica Nazionale che ruolo avrà l'ENEA?**

Da quanto fin qui detto, si evince che la Strategia Energetica Nazionale deve conciliare obiettivi difficili e guardare – soprattutto nel settore delle rinnovabili e dell'efficienza – a quelle nuove tecnologie che possono contribuire a raggiungerli. Per esempio, in materia di riduzione della CO<sub>2</sub>, l'Italia – e ogni Paese industrializzato – ha una grande possibilità di mettere a punto tecnologie per l'utilizzazione interna, ma anche per operazioni di trasferimento tecnologico in Paesi oggi non vincolati a obiettivi di riduzione eppure responsabili di una gran parte delle nuove emissioni di gas ad effetto serra.

È per questo che le attività di ricerca scientifica e innovazione tecnologica sono fondamentali per una politica di crescita sostenibile, in quanto possono conciliare costi, sicurezza e qualità del servizio. Un rafforzamento dell'impegno sulle tecnologie coinvolge tutto il mondo scientifico ma in primo luogo gli enti di ricerca governativi, come CNR ed ENEA.

L'ENEA, in particolare, è un soggetto importante che, il governo ne è consapevole, da troppo tempo ormai vive una situazione certamente non fisiologica legata a un commissariamento che si prolunga da tre anni e all'esigenza di un riposizionamento su una missione più definita, e più focalizzata sulle priorità dello scenario energetico nazionale. Nell'ambito della SEN, il ruolo della ricerca pubblica è centrale e dunque abbiamo bisogno di soggetti forti, ben orientati su progetti e obiettivi specifici, ben collocati nel quadro delle relazioni europee ed internazionali.

Poiché ENEA ha tutte queste caratteristiche, mi sento di assicurare che c'è l'impegno del governo Monti a trovare un assetto definitivo che, grazie a indirizzi chiari, ne consenta un rilancio effettivo.

## Elementi chiave della nuova Strategia Energetica Nazionale

Il contesto internazionale del settore energia è in grande evoluzione, con domanda in continua crescita, in particolare nei paesi in via di sviluppo, e due sono le fonti previste come vincitrici: il gas naturale e le fonti rinnovabili; perdente è, invece, il petrolio, fonti neutrali sono carbone e nucleare.

Il punto di partenza per l'Italia è composto di luci e ombre: tra i punti di forza vantiamo qualità del servizio, impatto ambientale e una regolazione tra le più avanzate; dobbiamo però migliorare in termini di sicurezza di approvvigionamenti e soprattutto in termini di costi e prezzi. Il contributo allo sviluppo economico del settore energetico non è ottimale rispetto al suo potenziale: è "drogato" da incentivi elevati nel settore delle rinnovabili, mentre è sottodimensionato nel settore dell'estrazione degli idrocarburi o in altri settori come l'efficienza energetica.

### Obiettivi

Gli obiettivi devono essere coerenti con la necessità di crescita del Paese e con il mantenimento degli standard di impatto ambientale:

- energia più competitiva, in termini di costi, a vantaggio di famiglie e imprese;
- maggiore sicurezza ed indipendenza di approvvigionamento;
- crescita economica sostenibile attraverso lo sviluppo del settore energetico.

La nuova Strategia Energetica Nazionale è incentrata su tre obiettivi principali:

1. Mantenere gli alti standard raggiunti per la qualità del servizio - elemento chiave delle politiche europee definite dal Pacchetto Clima Energia 20-20-20 e dalla Energy Roadmap 2050;
2. Continuare a migliorare la nostra sicurezza e indipendenza di approvvigionamento;
3. Ridurre significativamente il gap di costo ai consumatori e favorire la crescita economica sostenibile attraverso lo sviluppo del settore energetico.

### Priorità

Per seguire questi obiettivi e tenendo conto dei nostri naturali punti di forza, si vogliono concentrare gli sforzi su cinque priorità:

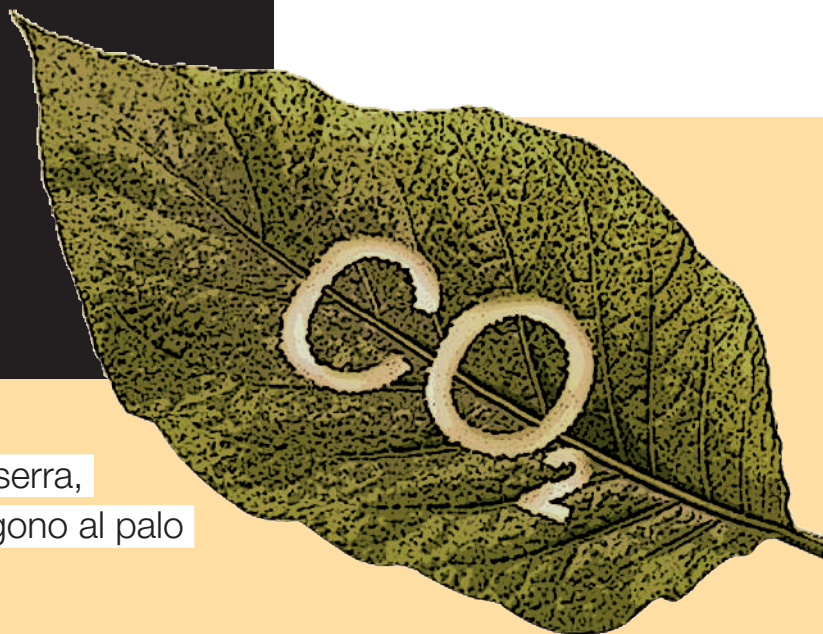
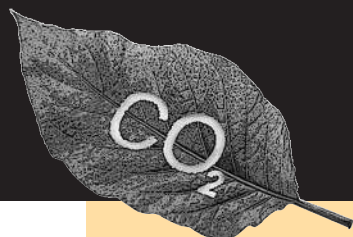
1. Efficienza energetica
2. Sviluppo dell'hub del gas sud-europeo
3. Sviluppo sostenibile delle energie rinnovabili
4. Rilancio della produzione nazionale di idrocarburi
5. Modernizzazione del sistema di governance

### Energie rinnovabili

- le energie rinnovabili elettriche sono un pilastro fondamentale della strategia energetica italiana. Il Governo intende superare gli obiettivi europei 20-20-20;
- l'approccio finora seguito non è stato ottimale, soprattutto in termini di costi per il Paese;
- occorre continuare a sviluppare le energie rinnovabili con un approccio alla crescita più virtuoso, basato sull'efficienza dei costi e sulla massimizzazione del ritorno economico e ambientale per il Paese.

*Dall'intervento di Corrado Passera,  
Ministro dello Sviluppo Economico e delle Infrastrutture e dei Trasporti,  
alla Commissione Industria, Commercio e Turismo del Senato il 26 aprile 2012*

# World View



Aumentano le emissioni globali di gas serra, ma i negoziati di Bonn sul clima rimangono al palo

L'IEA, l'Agenzia Internazionale per l'Energia dell'OECD, il 24 maggio scorso ha comunicato alcuni dati preliminari del rapporto annuale *World Energy Outlook* e in particolare le stime sulle emissioni globali di anidride carbonica nel 2011. Le emissioni globali continuano a crescere senza soluzione di continuità e ogni anno che passa diventa un record. Nel 2011 le emissioni globali di anidride carbonica derivanti dall'uso di combustibili fossili segnano così un nuovo record di 31,6 miliardi di tonnellate, cioè un miliardo di tonnellate in più del 2010 che era stato l'anno record precedente, pari a un incremento del 3,2% nello spazio di un solo anno. Le emissioni provenienti dall'uso del carbone mantengono salda la loro posizione di testa con il 45% sul totale delle emissioni

di gas serra, seguite da quelle del petrolio con il 35% e, infine, da quelle del gas naturale con il 20%.

Quest'andamento crescente delle emissioni globali non lascia ben sperare sulla reale fattibilità degli impegni internazionali presi in sede ONU, riaffermati nel recente incontro dei G8 a Camp David (18-19 maggio 2012), di contenere il surriscaldamento globale entro i 2 °C rispetto all'epoca preindustriale. Anzi, conti alla mano, appare abbastanza improbabile che questo impegno possa effettivamente realizzarsi, se la crescita delle emissioni globali non si arresta al più presto e inverte la tendenza prima del 2017. È necessario, infatti, che le emissioni globali scendano al livello di circa 12 miliardi di tonnellate per anno (taglio di

almeno il 60% delle emissioni attuali), perché tale livello rappresenta quello massimo compatibile con gli impegni presi.

Alla crescita delle emissioni globali del 2011 hanno contribuito essenzialmente i paesi in via di sviluppo (con il 6,1% in più), ma in particolare quelli emergenti come Cina (9,3% in più) e India (8,7% in più), nonostante la Cina nell'ultimo quinquennio abbia ridotto del 15% la sua intensità carbonica (ndr: il rapporto tra le emissioni di CO<sub>2</sub> e il prodotto nazionale lordo). La crescita delle emissioni nel continente indiano, invece, è tale ormai che nella classifica dei maggiori emettitori globali l'India ha scavalcato la Russia e ora è al quarto posto dopo Cina, USA e Unione Europea.

Nonostante queste notizie



non certo tranquillizzanti, il negoziato intersessionale tenuto a Bonn tra il 14 e il 25 maggio scorso che doveva avviare il nuovo trattato internazionale sul clima sulla base della “piattaforma di Durban”, è stato abbastanza deludente, per non dire inconcludente, tanto che la Commissaria al Clima della Commissione Europea, Connie Hedegaard ha emesso un duro comunicato (Memo 12/379 del 25 maggio 2012) nel quale, senza mezzi termini, accusa le maggiori economie mondiali di comportamenti irresponsabili e insostenibili per un negoziato delle Nazioni Unite (*this is not just irresponsible, it is untenable for a UNFCCC process that wants to remain relevant*). E aggiunge che questi paesi sono stati presenti al negoziato non per cercare un accordo, ma per tentare di tornare indietro rispetto a decisioni già prese (*to backtrack from what was agreed in Durban only five months ago*) e di accompagnare questo tentativo mediante perdite di tempo (*attempts to backtrack and time-consuming*).

La sessione negoziale di Bonn, infatti, ha perso tutto il tempo disponibile (due settimane) per discutere come impostare la bozza del nuovo trattato internazionale sul clima, che dovrà essere pronta entro il

2015, come strutturarla, come redigere l’agenda dei lavori, decidere il presidente, il vicepresidente e lo “staff” del gruppo di lavoro di redazione di questa bozza. Le maggiori controversie hanno riguardato come raccordare gli impegni di riduzione delle emissioni (su base essenzialmente volontaria) sia dei Paesi industrializzati, sia di quelli in via di sviluppo, ma in particolare delle economie emergenti, negli otto anni intercorrenti tra la scadenza del protocollo di Kyoto (31 dicembre 2012) e il nuovo trattato sul clima che entrerà in vigore il 1° gennaio 2020, affinché venga rispettato l’obiettivo di mantenere il surriscaldamento globale sotto i 2 °C.

In questo contesto, le più accese polemiche hanno riguardato la definizione di “paesi sviluppati” e “paesi in via di sviluppo”, una suddivisione che risale al 1992 (summit di Rio), ma che non corrisponde più alla situazione attuale.

“Ma, oggi, la Cina è davvero un paese in via di sviluppo bisognoso di finanziamenti, di trasferimento tecnologico e di *capacity building*?” , ha chiesto il negoziatore capo degli USA, Jonathan Pershing. E ha, poi, aggiunto: “Come si fa a dire che sono in via di sviluppo paesi come il Qatar o Singapore, che

hanno un benessere economico e un reddito pro-capite ben superiore a quello degli USA?” Insomma, dopo due settimane di bizantinismi formali e di contrasti sostanziali, l’unico risultato finale è stato quello di mettersi d’accordo sull’agenda dei futuri lavori e sui criteri di individuazione delle caratteristiche di chi potrà ricoprire la carica presidente e la carica di vicepresidente del gruppo di lavoro incaricato di elaborare la bozza di tratta sulla base della “piattaforma di Durban”. Un po’ meglio sono andati i lavori degli organi di supporto tecnico e di supporto all’implementazione degli accordi, nei quali sono stati fatti alcuni progressi sulle questioni riguardanti la lotta alla deforestazione e il ruolo dell’agricoltura e sui problemi riguardanti il trasferimento tecnologico e la *capacity building* nei paesi in via di sviluppo.

Il bilancio finale di questo negoziato, che ha visto la partecipazione di 1547 delegati in rappresentanza di 183 paesi (l’Italia era presente con 14 delegati), di 915 rappresentanti di 263 organizzazioni non governative e intergovernative, e di 39 giornalisti accreditati, è stato deludente, molto deludente.

(Daniela Bertuzzi)



## L'Earth Day che vogliamo

La madre Terra è un'espressione comune per chiamare il pianeta su cui viviamo, un'espressione che riflette il concetto di sostegno alla vita umana e di interdipendenza che esiste tra la vita umana e le altre specie viventi del nostro pianeta e con le risorse naturali che il nostro pianeta ci mette a disposizione. L'Earth Day, istituito nel 1970 dall'UNESCO e diventata nel 2009 una ricorrenza ufficiale delle Nazioni Unite, ha assunto quest'anno un particolare significato. Il 2012 vede la cessazione del Protocollo di Kyoto e molte incertezze permangono sul futuro di un nuovo trattato internazionale sul clima. L'anno 2012 segna il venticinquennale dalla pubblicazione del "Rapporto Brundtland" (*Our Common Future, WCED 1987*) in cui fu coniato il termine "sviluppo sostenibile" e segna anche il ventennale dall'approvazione a Rio de Janeiro dei principi e sul programma di azioni sullo sviluppo sostenibile (Agenda 21). Ma se, da una parte, in questi venti anni è aumentata la consapevolezza di uno sviluppo non solo ambientalmente sostenibile, ma anche sostenibile dal punto di vista economico e sociale, dall'altra parte, tutti gli indicatori ambientali e sociali ci mostrano che i progressi effettivamente compiuti sono modesti: il degrado ambientale in molte parti del mondo è aumentato, così come è aumentata la differenza di benessere tra chi

era ricco che è diventato più ricco e chi era povero che è diventato più povero. Se i progressi compiuti non appaiono sufficienti, sono ancora più insufficienti se si guardano le prospettive per il futuro. Nei prossimi venti anni ci sarà bisogno del 50% in più di cibo, 45% in più di energia, 30% in più di acqua, e milioni, molte decine di milioni, di nuovi posti di lavoro, di nuove opportunità per ridurre le crescenti differenze tra paesi ricchi e paesi poveri. Le manifestazioni organizzate in tutto il mondo e in Italia per riflettere sulla magnificenza del nostro pianeta sono utili per comunicare al grande pubblico il legame indissolubile tra la vita umana e la nostra madre Terra, ma rimangono manifestazioni effimere se non si attuano iniziative che contribuiscono ad affrontare e risolvere le grandi sfide che attendono l'umanità nel prossimo futuro. Molte istituzioni tecnico-scientifiche internazionali (tra cui l'UNEP, la NASA, la NOAA, l'American Chemical Society ecc.) hanno ricordato che la scienza e la ricerca scientifica e tecnologica, e le istituzioni di ricerca particolarmente dedicate ai problemi dello sviluppo sostenibile (come l'ENEA in Italia), lavorano ogni giorno su problemi che sono alla frontiera della complessa questione della sostenibilità dello sviluppo socio economico, come i problemi delle fonti rinnovabili e l'efficienza energetica, dell'uso efficiente delle risorse naturali, dello sviluppo di nuove tecnologie,

della sicurezza e della salute, dell'ambiente e della lotta ai cambiamenti del clima, alla perdita di biodiversità e contro la deforestazione e la desertificazione. La scienza e la conoscenza sono lo strumento essenziale perché i decisori politici possano valutare le diverse iniziative e le strategie più idonee da attuare, ma anche per controllarle e gestirle una volta rese operative.

L'Earth Day non è solo un anniversario da celebrare ogni anno, ma è anche e soprattutto l'impegno per il rispetto della nostra madre Terra da rinnovare ogni anno, un impegno che deve guardare agli errori del passato, per trarne insegnamenti utili su iniziative efficaci e concrete che urge attuare verso il futuro che tutti noi vogliamo.

(Daniela Bertuzzi)





## Istituto dalle Nazioni Unite un Panel di consulenza sulla biodiversità globale

Le Nazioni Unite hanno istituito un organismo di consulenza scientifica per la biodiversità, analogo, per funzioni e compiti, a quello per i cambiamenti climatici: IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Si chiama IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) e avrà un ruolo importante come cerniera di congiunzione tra scienza e politica. La sua costituzione ufficiale è avvenuta nel corso dell'ultimo meeting tenutosi a Panama dal 15 al 21 aprile 2012, dopo sette anni di negoziati. Al meeting hanno partecipato 270 delegati in rappresentanza di 103 paesi, un osservatore, tre organizzazioni intergovernative, 21 organizzazioni non governative, cinque Convenzioni e cinque tra organismi delle Nazioni Unite e agenzie specializzate. Il Segretariato dell'IPBES avrà sede a Bonn, in Germania e sarà amministrato inizialmente dall'UNEP. L'avvio dell'IPBES prende le mosse già dal 2005 attraverso un complesso e multidisciplinare processo di consultazione che aveva l'obiettivo di unificare e integrare in un meccanismo internazionale di consulenza scientifica sulla biodiversità, tutte le diverse iniziative di analisi e valutazione a livello globale e regionale, esistenti nelle varie istituzioni delle Nazioni Unite (in campo agro-forestale, nella conservazione della natura, nella Convenzione sulla biodiversità e nelle Convenzioni collegate, quali

quelle sulle specie migratorie, sulle specie in via di estinzione, sulle aree umide, ecc.). Per queste ragioni, l'IPBES, ora istituita, si pone come l'interfaccia tra la comunità scientifica ed i decisori politici per perseguire lo scopo, da una parte, di rafforzare l'uso della scienza nel processo politico e, dall'altra, di favorire processi decisionali che siano basati sulle migliori conoscenze scientifiche disponibili. L'IPBES, quindi, cerca di superare le frammentazioni, finora esistenti, delle varie organizzazioni e delle diverse iniziative che si ponevano come interfaccia tra scienza e politica in materia di biodiversità e servizi ecosistemici, per assumere il ruolo di organismo di riferimento globale in seno alle Nazioni Unite, riconosciuto a livello internazionale, tanto dalla comunità scientifica, quanto da quella politica. Nonostante la sua creazione costituisca un indubbio successo, non si può ignorare il mastodontico compito che gli è stato attribuito. Il primo fra tutti, sarà la prossima Conferenza di Rio de Janeiro a giugno 2012 sullo sviluppo sostenibile, incontro che segna anche i 20 anni dall'apertura alla firma della Convenzione sulla Diversità Biologica, una coincidenza che è anche un monito affinché i lavori dell'IPBES si svolgano nel contesto dello sviluppo sostenibile e in un settore molto più ampio di politiche sulla biodiversità operando in continuità per ridurre la perdita globale di biodiversità, per le valutazioni di cui al *Millennium*

*Ecosystem Assessment*, così come per il raggiungimento dei *Millennium Development Goals* e per le innumerevoli iniziative volte alla conservazione della biodiversità. La sfida per l'IPBES sarà quindi quella di armonizzare, utilizzare e dare priorità alla pletera di informazioni ed attività già esistenti nel campo della biodiversità. Non è quindi privo di fondamento lo scetticismo che aleggia sulla capacità dello svolgimento di una pluralità di attività per un solo organo che dovrebbe svolgere, tra l'altro, un ruolo onnicomprensivo di "clearing house" in materia di biodiversità e di servizi ecosistemici.

Gli stessi governi, adottando un approccio "bottom-up", hanno evidenziato che la più grave carenza nell'attuale panorama politico consiste nell'incapacità di comprendere e trattare la biodiversità a livello nazionale e locale. Pertanto, l'obiettivo iniziale sarà proprio quello di stimolare un solido processo di scambio di dati e conoscenze, in cui le informazioni provenienti dal basso possano essere valutate, comunicate e successivamente utilizzate da un organismo centralizzato a livello globale.

"La creazione dell'IPBES segna un nuovo capitolo nella storia delle politiche in materia di biodiversità" - ha detto Barbara Di Giovanni, l'esperta dell'ENEA in questo campo - "nonostante le numerose questioni ancora da affrontare, non si può che plaudire al risultato raggiunto nell'attesa che il tempo ci dica se l'accordo raggiunto oggi porti nel futuro i risultati tanto agognati.

(Laura Maria Padovani)



## Summit dei G8: le raccomandazioni delle Accademie delle Scienze

Per il summit dei G8 di Camp David (Maryland) del 18 e 19 maggio 2012, (<http://fpc.state.gov/c49906.htm>), le Accademie delle Scienze dei paesi dei G8 (per l'Italia l'Accademia Nazionale dei Lincei) assieme alle Accademie delle Scienze di sette paesi emergenti (Cina, India, Brasile, Messico, Sud Africa, Indonesia e Marocco) hanno inviato ai leader mondiali dei G8 una serie di raccomandazioni sui problemi globali più cruciali che devono urgentemente essere affrontati e trovare soluzioni per lo sviluppo sostenibile del nostro pianeta. L'Accademia Nazionale tedesca delle Scienze Leopoldina, che ha coordinato i lavori per la definizione delle priorità e dei temi cruciali, ha sintetizzato le raccomandazioni suddividendole in tre "statements" che descrivono anche il supporto che la scienza e la tecnologia può dare per la individuazione delle opportune strategie di attuazione (<http://www.leopoldina.org/de/politik/empfehlungen-und-stellungnahmen/g8-statements.html>). Il primo "statement" riguarda la correlazione fra i problemi dell'acqua e quelli dell'energia, correlazioni cui i governi mondiali non hanno prestato molta attenzione. Ma ora che la disponibilità d'acqua a livello globale tende a diminuire, cominciano già a manifestarsi conflittualità sui diversi usi dell'acqua, e in particolare tra l'uso dell'acqua per la produzione agroalimentare e quello per la produzione

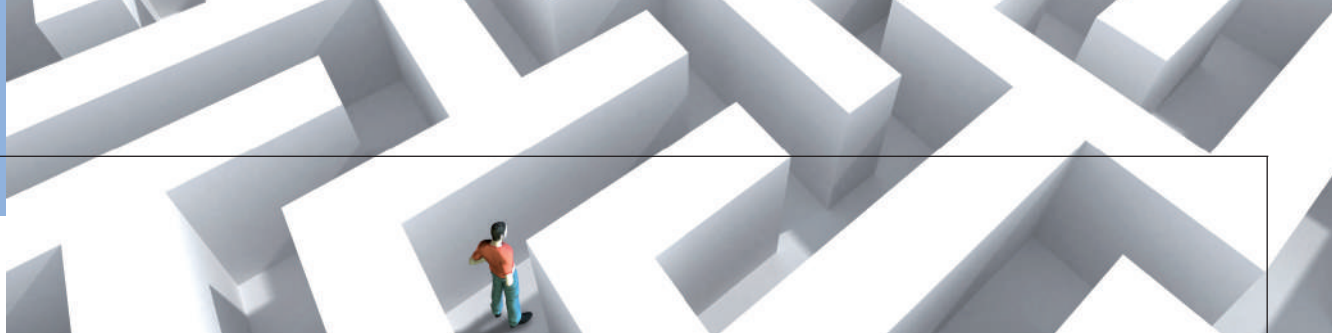
energetica (e in particolare di energia elettrica). Con la crescita della popolazione mondiale e le esigenze di migliore qualità della vita delle popolazioni più povere, la situazione è destinata ad aggravarsi in futuro quando ci sarà più bisogno di cibo e di energia. La gestione delle risorse idriche deve, quindi, essere integrata con la pianificazione dello sviluppo energetico, tenendo conto delle esigenze di sviluppo agroalimentare. La ricerca scientifica e tecnologica è in grado di dare un rilevante contributo per concorrere a individuare le soluzioni più idonee, sia per l'uso efficiente dell'acqua e la tutela delle risorse idriche, sia per lo sviluppo di sistemi energetici competitivi che non hanno bisogno di acqua (come la maggior parte delle fonti rinnovabili) o a basso consumo di acqua per il raffreddamento (come nella maggior parte delle attuali fonti convenzionali).

Il secondo "statement" riguarda le emissioni e gli assorbimenti (*sinks*) dei gas a effetto serra e, in particolare, la crescita delle conoscenze scientifiche in questi settori per migliorare le misure, i metodi di standardizzazione e le valutazioni dei bilanci netti effettivi emissioni/assorbimenti. Questo miglioramento è però correlato a un'approfondita comprensione del complesso ciclo del carbonio nelle diverse componenti (atmosfera, oceani, biosfera e geosfera) del sistema planetario e delle interazioni del ciclo del carbonio con gli altri

cicli biogeochimici naturali. Queste conoscenze sono alla base di qualsiasi trattato internazionale sul clima, così come sull'individuazione delle migliori soluzioni di sviluppo economico che sia ambientalmente e socialmente sostenibile.

Il terzo "statement" riguarda la riduzione delle conseguenze negative e dei danni causati dalle catastrofi naturali e dai disastri derivanti dalle attività umane, perché i costi e le perdite di beni e di vite umane sono aumentati spaventosamente negli anni più recenti. Un esempio significativo è stato l'evento giapponese del marzo 2011: una catastrofe naturale (terremoto e tsunami) che ha innescato un disastro tecnologico (l'incidente nucleare di Fukushima). La ricerca scientifica e tecnologica può, e deve, fornire le più avanzate conoscenze di prevenzione: dall'aggiornamento delle analisi di rischio che tengano conto anche dei cambiamenti climatici e ambientali, fino ai sistemi di allerta e di allarme mediante le nuove tecnologie di osservazione e le nuove ICT (*Information and Communication Technologies*), dalla ripianificazione del territorio e delle attività umane per ridurre la vulnerabilità alle catastrofi, fino alla gestione tempestiva delle emergenze. Come ha precisato l'Accademia Leopoldina, gli "statements" delle Accademie Nazionali delle Scienze intendono assistere i governi durante i loro negoziati su argomenti che esse ritengono di maggior rilevanza per la comunità mondiale dei popoli e a cui la scienza è in grado di fornire un efficace contributo.

(Giuliano Ghisu)



## Nazioni Unite: adottate le linee guida contro l'accaparramento dei suoli nei paesi poveri

Dopo tre anni di discussioni, la Commissione delle Nazioni Unite sulla Sicurezza Alimentare Mondiale (WFS, *World Food Security*) ha adottato un documento che contiene le linee guida per proteggere le popolazioni locali, in particolare quelle africane, contro il *land grabbing*, cioè la pratica dell'accaparramento di vaste aree rurali nei paesi poveri da parte di Governi stranieri, multinazionali o fondi di investimento (vedasi sull'argomento l'articolo apparso in questa rivista: <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/energia-ambiente-e-innovazione-1/anno-2011/n.-6-2011-novembre-dicembre-2011/il-land-grabbing-minaccia-la-sicurezza-alimentare-dei-poveri-e-ne-peggiora-le-condizioni-di-poverta>).

A partire dall'anno 2000, ben 83 milioni di ettari di terreno sono stati acquisiti da investitori stranieri in Africa, soprattutto in Sudan, Etiopia, Mozambico, Tanzania, Madagascar, Zambia e Congo, ma anche nel sud-est asiatico e nel sud America. I nuovi proprietari, per la maggior parte provenienti da India, Cina, Stati Uniti, Arabia Saudita ed Emirati Arabi Uniti, hanno spesso estromesso le popolazioni locali dalle terre acquisite, privando gli agricoltori locali della possibilità di coltivare

la terra e di procurarsi mezzi di sostentamento e di sussistenza. Le nuove *"Direttive Volontarie per una Governance Responsabile dei regimi di proprietà applicabili alla terra, alla pesca e alle foreste nel contesto della sicurezza alimentare nazionale"* definiscono i diritti del suolo e dell'uso del suolo e come le risorse ittiche e il patrimonio forestale andranno gestiti in modo sostenibile. Inoltre, sono stabilite le regole di trasparenza negli investimenti fondiari e nell'acquisizione della proprietà dei suoli, rafforzando il ruolo e le funzioni degli agricoltori locali e delle piccole aziende agricole al fine di promuovere la sicurezza alimentare e lo sviluppo sostenibile e proteggere i diritti di milioni di persone in condizioni di estrema povertà.

In effetti, le direttive riconoscono che investimenti responsabili pubblici e privati sono indispensabili per migliorare la sicurezza alimentare dei paesi più poveri, ma raccomandano la messa in atto di meccanismi di tutela che preservino i diritti di proprietà delle popolazioni locali dai rischi derivanti dalle acquisizioni di larga-scala e che difendano i diritti umani, i mezzi di sussistenza, la sicurezza alimentare e l'ambiente. Per questo dovrebbero essere sostenuti sistemi alternativi di investimento che non si traducano in acquisizioni di terre su larga-scala. Gli investimenti dovrebbero anche promuovere obiettivi di politica nazionale, quali il miglioramento della sicurezza alimentare locale,

l'eradicazione della povertà, la creazione di posti di lavoro.

Le principali questioni "storiche" affrontate dalle Linee guida sono:

- riconoscimento e protezione dei legittimi diritti fondiari, anche nei sistemi informali;
- migliori pratiche per la registrazione e il trasferimento dei diritti fondiari;
- garanzia che i regimi amministrativi di proprietà siano concretamente ed economicamente accessibili;
- corretta gestione degli espropri e restituzione delle terre a coloro che ne sono stati forzatamente privati in passato;
- diritti delle comunità indigene;
- garanzia che gli investimenti fondiari avvengano in maniera responsabile e trasparente;
- meccanismi di risoluzione delle dispute sui diritti di proprietà;
- gestione del problema dell'espansione delle aree urbane verso le campagne.

Le linee guida costituiscono un importante punto di riferimento per le autorità nazionali al momento di vagliare leggi e stabilire politiche relative all'accesso e ai diritti di proprietà delle risorse terriere, forestali e ittiche. Esse, inoltre, da una parte forniranno indicazioni chiare sulle pratiche corrette di gestione dei regimi fondiari ad investitori e imprenditori privati, dall'altra offriranno principi fermi cui fare riferimento ai gruppi della società civile che si occupano di diritti fondiari a difesa delle comunità rurali.

(Paola Cicchetti)





## I prelievi di grandi quantità di acqua dal sottosuolo modificano il livello del mare

L'insostenibile pressione a cui sono sottoposte le riserve d'acqua dolce in tutto il mondo viene ora valutata da una ricerca giapponese i cui risultati sono stati pubblicati on-line su Nature Geoscience del 20 maggio scorso (<http://www.nature.com/nggeo/journal/vaop/ncurrent/full/ngeo1476.html>). Secondo questo studio, condotto con modelli di simulazione numerica del ciclo globale dell'acqua, la massiccia estrazione di acqua dal sottosuolo per i più svariati usi nelle attività umane (usi civili, agricoli e industriali) è avvenuta in quest'ultimo mezzo secolo con una velocità superiore ai ritmi naturali di ripristino degli acquiferi. L'acqua estratta dal sottosuolo, in parte evaporata e in parte riversata poi in mare dopo il suo uso, è stata, secondo gli autori, la causa dell'accelerazione dell'innalzamento del livello del mare. Il flusso netto di risorse idriche che si sono spostate dal sottosuolo al mare si aggirerebbe attorno ai 250 miliardi di metri cubi di acqua per anno (pari a cinque volte la portata del Po) e corrisponde a un incremento medio del livello del mare di 0,77 millimetri per anno. Secondo i dati della rete mareografica mondiale, il livello del mare tra il 1961 e il 2003 è

aumentato al ritmo medio di 1,8 millimetri per anno e dopo al 2003 con ritmi ancora superiori. L'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) ha analizzato i motivi di questo innalzamento ed è arrivato alla conclusione, riportata nell'ultimo rapporto IPCC (Quarto Rapporto IPCC del 2007), che un innalzamento pari a 1,1 millimetri per anno è stato causato da due fattori principali: dilatazione termica delle acque oceaniche (più calde in conseguenza del riscaldamento climatico) e fusione dei ghiacciai di tutto il mondo, in particolare da quelli artici e antartici. Sul rimanente 0,7 mm/anno l'IPCC non ha fornito spiegazioni plausibili, tanto che molti studiosi pensano che la valutazione di 1,1 mm/anno non sia corretta e probabilmente sia una sottostima. Diversamente, si dovrebbe supporre l'esistenza di una sorgente ignota di acqua che fluisce negli oceani con una portata media di circa 7500 metri cubi al secondo. Ebbene, in base allo studio effettuato dai ricercatori giapponesi, l'ipotesi di portate d'acqua aggiuntive da una sorgente ignota è, invece, una realtà perché il dato, senza spiegazioni, sull'innalzamento del livello del mare (0,7 mm/anno) corrisponde al dato delle loro valutazioni (0,77

mm/anno). Si tratta, cioè, degli imponenti prelievi di acqua dal sottosuolo effettuati in tutto il mondo e che nei Paesi della fascia subtropicale e intertropicale, dove le precipitazioni atmosferiche sono in diminuzione e gli emungimenti idrici in aumento, hanno ormai raggiunto una velocità media di estrazione ben superiore alle capacità naturali di compensazione degli acquiferi depauperati. Lo studio è stato condotto con analisi e valutazioni modellistiche che devono, però, trovare conferme anche sperimentali. In ogni caso, va rilevato che il problema della crescente pressione delle attività umane sulle risorse idriche è diventato un problema globale che le Nazioni Unite hanno posto tra le prime priorità dello sviluppo sostenibile e della green economy.

(Caterina Vinci)





## Mangiare meno carne per prevenire i disastri climatici

La dieta nei paesi industrializzati è troppo ricca di carne, la cui produzione sta provocando una rapida crescita delle emissioni di un potente gas a effetto serra: il protossido di azoto. Bisogna ridurre il consumo del 50% di carne bovina entro i prossimi quaranta anni per evitare le peggiori conseguenze dei cambiamenti climatici. Questo è, in sintesi, la conclusione di uno studio effettuato da un centro di ricerca di ecologia agraria e forestale americano: il Massachusetts Woods Hole Research Center, pubblicato on-line su *Environmental Research Letters*, il 12 aprile scorso (<http://iopscience.iop.org/1748-9326/1/2/024005>).

Lo studio esamina l'impatto dell'agricoltura sui cambiamenti del clima e mostra che le pratiche agronomiche normalmente utilizzate producono una rilevante quantità di emissioni, non tanto e non solo a causa dell'uso di combustibili fossili nelle macchine e nelle attrezzature agricole, quanto soprattutto a causa dell'uso eccessivo di fertilizzanti e antiparassitari. I fertilizzanti azotati, in particolare, emettono protossido d'azoto, un gas serra che ha un potere climalterante di ben 298 volte superiore a quello dell'anidride carbonica. Una parte di questa agricoltura, però, non serve per produrre cibo, ma per produrre foraggio destinato all'allevamento del

bestiame e in particolare di bovini. I bovini, animali erbivori e che nel corso della loro vita mangiano l'equivalente di qualche ettaro coltivato a foraggio, diventano, ovviamente, grandi concentratori di emissioni di protossido di azoto. E non è finita. Durante l'allevamento, per la loro natura di ruminanti, i bovini sono anche responsabili delle emissioni di metano, un altro gas serra che ha un potere climalterante 23 volte superiore a quello dell'anidride carbonica. Insomma, per ottenere una bistecca di bovino sulla nostra tavola sono state emesse alla fine una quantità totale di gas serra che può risultare, in relazione al tipo di allevamento e all'età del bovino, da 20 fino a 100 volte superiori alle quantità di gas serra emesse per ottenere, per esempio, un piatto di pasta asciutta di pari peso. Se, poi, il confronto si fa rispetto ad un pasto completamente vegetariano di pari peso, le emissioni associate a una bistecca di bovino sono incomparabilmente superiori. Meno impattante della carne bovina è la carne di maiale, un animale piuttosto omnivoro e che non ha bisogno di coltivazioni di foraggio. Ma, ancora meno impattante sul clima è la carne di pollo, anche per i brevi tempi di allevamento del pollame. Ridurre, tuttavia, le emissioni di gas serra del settore agroalimentare sarà molto difficile se bisognerà sfamare sette miliardi

di persone in una situazione, come quella attuale, in cui circa un miliardo di persone soffre di malnutrizione e di fame. Ridurle in futuro diventerà praticamente impossibile, senza modificare radicalmente le attuali pratiche agricole e le attuali abitudini alimentari dei paesi più ricchi, perché in futuro l'agricoltura dovrà espandersi di molto se bisognerà sfamare i nove miliardi di persone che popoleranno il nostro pianeta nel 2050.

Sarà, invece possibile, raggiungere l'obiettivo della riduzione delle emissioni di gas serra dal settore agroalimentare, se si punta decisamente al dimezzamento, entro il 2050, delle emissioni di protossido di azoto che è il più potente dei gas serra provenienti dal settore agricolo. Questo implica non solo l'uso di pratiche agronomiche che riducano drasticamente l'uso di fertilizzanti azotati, ma anche un cambiamento delle pratiche agronomiche in modo tale che i fertilizzanti siano usati con la massima efficienza e che, nel contempo, le inevitabili emissioni di protossido di azoto siano neutralizzate.

Tra i vari scenari esaminati dallo studio americano, la soluzione migliore è quella di cambiare le abitudini alimentari dei paesi industrializzati, giacché non si può impedire ai popoli più poveri di avere un'alimentazione più ricca di calorie e di proteine animali. Pertanto, va ridotto del 50%, rispetto alla situazione attuale, il consumo pro-capite di

carne, principalmente bovina, nei paesi industrializzati. Questa è la via maestra affinché il settore agroalimentare sia in grado di ridurre le proprie emissioni, senza, per questo, compromettere la necessità di espandere la produzione di cibo per soddisfare le necessità alimentari di nove miliardi di persone previste al 2050. Tagliare del 50% il consumo di carne nei paesi industrializzati non è solo una misura utile per mitigare i cambiamenti del clima e per ridurre le conseguenze negative dei cambiamenti climatici, ma è anche una misura utile per la salute umana. Mangiare meno carne bovina sostituendola, per esempio, col pollame, col pesce o con i legumi, riduce i rischi cardiovascolari e di alcuni tipi di tumori dell'apparato digerente, come ha confermato una recente ricerca della Harvard School of Public Health pubblicata il 12 marzo scorso (<http://archinte.ama-assn.org/cgi/content/abstract/archinternmed.2011.2287v1>). "Per combattere i cambiamenti del clima e per mantenersi in buona salute con una dieta equilibrata, non c'è niente di meglio che la dieta mediterranea, un esempio di dieta sostenibile fondata su una varietà di prodotti locali e stagionali", ha commentato Massimo Iannetta direttore dell'Unità dell'ENEA "Sviluppo sostenibile e innovazione del sistema agro-industriale".

(Laura Maria Padovani)

## Combustibili fossili: scisti bituminosi a tutto gas

Gli idrocarburi "non convenzionali" come il gas o il petrolio estratti dalle rocce e sabbie bituminose, stanno diventando sempre più convenienti, sia perché i prezzi degli idrocarburi "convenzionali" (quelli, cioè, estratti dai normali giacimenti) tendono a salire, sia perché è diminuito il costo delle tecnologie *fracking*, quelle tecnologie che servono a fratturare artificialmente le rocce bituminose bombardandole con acqua sotto pressione e additivi chimici per estrarre il petrolio ed il gas in esse contenuto.

Negli Stati Uniti l'industria di gas "non convenzionale" (detto anche *shale gas*) ha avuto un boom eccezionale, con un aumento della produzione di circa il 45% per anno tra il 2005 e il 2010, tanto che attualmente il 25% del fabbisogno annuale di gas naturale è coperto dal gas non convenzionale. I prezzi del gas sono rapidamente calati e ora l'Europa e i paesi asiatici pagano in media da quattro a sei volte di più i loro approvvigionamenti di gas rispetto agli Stati Uniti. La febbre dello *shale gas* ha contagiato la Cina, il Canada e l'Australia, ma anche paesi europei come la Polonia e l'Ucraina. Consistenti riserve di *shale gas* sussistono anche in Messico e Sud Africa, ma il boom più grosso di produzione futura di gas non convenzionale potrebbe venire dall'Argentina.

Nelle aree desertiche della Patagonia sono state scoperte

riserve di scisti bituminose che potrebbero portare l'Argentina a essere il terzo più grande produttore mondiale di idrocarburi non convenzionali. La prima di queste aree è stata già scoperta nella provincia di Neuquén, nella zona di "Vaca Muerta" dove, tra i 2.500 e i 3.000 metri di profondità, si potrebbero estrarre fino a 20 miliardi di barili di idrocarburi, di cui per il 75% petrolio e per il 25% gas naturale. Formazioni geologiche analoghe a quelle della provincia di Neuquén sono presenti nel sottosuolo delle altre tre province confinanti: Mendoza, La Pampa e Rio Negro. Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti ha stimato che l'Argentina possiede un potenziale di 774 trilioni di piedi cubici di questo tipo di formazioni geologiche (circa 22 mila miliardi di metri cubi di scisti bituminose), classificandosi come la terza più grande riserva del mondo di risorse di idrocarburi non convenzionali, dopo gli Stati Uniti e la Cina.

La possibilità di produrre idrocarburi non convenzionali in quantità rilevanti porrà enormi problemi ambientali e di accettabilità sociale. La tecnica del *fracking*, utilizzata per estrarre gli idrocarburi dalle sabbie bituminose, è molto invasiva per il territorio, ma è soprattutto ad altissimo consumo di acqua e molto inquinante per il suolo e le falde idriche. Ma non è tutto. Essa può provocare anche micro terremoti ed è causa di emissioni incontrollate di metano che è, come noto, è un potente gas a effetto serra



(l'effetto climalterante del metano è circa 23 volte superiore a quello dell'anidride carbonica). L'IEA, l'Agenzia Internazionale dell'Energia, nello Special Report "Are we entering a golden age of gas" del novembre 2011, aveva già prospettato per i prossimi 25 anni un periodo d'oro per il gas naturale, con una crescita della domanda mondiale di ben oltre il 55% rispetto al 2010. I due terzi di questa crescita sarebbero coperti dallo *shale gas*, vale a dire da una triplicazione della produzione di gas "non convenzionale" tra il 2010 e il 2035. Il 29 maggio scorso, proprio perché la corsa verso lo *shale gas* è già iniziata, l'IEA ha pubblicato tempestivamente un Rapporto Speciale sul gas non convenzionale dal titolo *Golden rules for a golden age of gas*, un manuale sulle regole d'oro da seguire per agevolare la transizione a basso impatto ambientale e sociale del gas non convenzionale nella "età dell'oro del gas". Oltre che per minimizzare l'impatto sull'ambiente e le risorse idriche, e oltre che per ridurre la possibile opposizione delle popolazioni locali, le regole d'oro servono anche per dare trasparenza alle politiche dei governi e alle scelte delle industrie, compresi i processi industriali, affinché si possa giungere ad "una licenza sociale per operare". Tale "licenza sociale" è, infatti, il presupposto fondamentale per dare prospettive stabili agli investimenti e certezze programmatiche per gli investitori che intendono sfruttare questa nuova potenzialità di produzione di idrocarburi. Ma, anche se l'accettabilità sociale

del gas non convenzionale è l'obiettivo principale del manuale, l'IEA non nasconde (anche se non lo evidenzia) che lo *shale gas* non è la soluzione del problema climatico. Nella roadmap verso la de-carbonizzazione dell'economia mondiale, la corsa al gas può rappresentare solo una fase del tutto transitoria per sostituire il carbone, il combustibile fossile più inquinante, prima di abbandonare definitivamente l'uso dei combustibili fossili, se si vuole effettivamente tenere fede agli impegni di ridurre le emissioni tra 80% e 95% entro il 2050, rispetto al 1990. Un'esplosione incontrollata della produzione di gas non convenzionale, come ha evidenziato Fatih Birol, capo degli economisti dell'IEA, è in contrasto con gli impegni di mantenere il surriscaldamento climatico al di sotto di 2 °C rispetto all'epoca preindustriale. Inoltre, il periodo d'oro del gas, se non sarà finalizzato agli obiettivi della de-carbonizzazione mondiale, protrarrà nel tempo la dipendenza dell'umanità dai combustibili fossili invece che svincolarla, rallenterà lo sviluppo delle fonti rinnovabili e delle nuove tecnologie invece di accelerarlo, aumenterà i rischi di cambiamenti climatici irreversibili e catastrofici anziché ridurli, vanificando, in pratica, gran parte degli sforzi che si stanno compiendo per avviare e rendere effettiva la *green economy*, quale concreto strumento di sostenibilità ambientale, sociale ed economica di sviluppo durevole di tutti i popoli.

(Paola Molinas)

## È tutta una questione di attrazione e repulsione

Se prendiamo due piccole sfere metalliche ciascuna con carica elettrica positiva e le avviciniamo tra loro, la fisica ci insegna che dovrebbero respingersi. Infatti, due cariche elettriche di segno opposto si attraggono e, invece, due cariche elettriche dello stesso segno si respingono (legge di Coulomb). La forza di attrazione o di repulsione è direttamente proporzionale al prodotto delle due cariche e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza. Risposta sbagliata, invece, perché secondo l'ultima ricerca effettuata da un fisico dell'Università di Wellington in Nuova Zelanda e pubblicata nella edizione on-line dei *Proceedings of the Royal Society* (<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/early/2012/05/22/rspa.2012.0133>) due sfere, entrambe cariche positivamente, al di sotto di una certa distanza, si attraggono fra loro sempre di più, violando palesemente le leggi della fisica. Come mai? Il motivo sta proprio nel fatto che le due sfere sono metalliche, cioè buoni conduttori di elettricità e, soprattutto, le cariche elettriche sono libere di muoversi sulla loro superficie. Fintanto che le sfere vengono tenute abbastanza lontane fra loro, le cariche elettriche si distribuiscono uniformemente sulle rispettive superfici e si genera così una forza di repulsione. Ma quando le due sfere si avvicinano, le cariche elettriche si muovono e si ridistribuiscono in modo non più uniforme sulla loro superficie.



L'avvicinarsi di una sfera carica positivamente causa nell'altra un allontanamento delle cariche positive verso il lato opposto. Siccome l'interazione è reciproca il risultato finale è che le cariche elettriche positive si addensano nelle zone diametralmente opposte a quella di avvicinamento. In tal modo, entrambe le sfere si polarizzano: cioè le cariche positive migrano su un emisfero e le cariche negative migrano sull'altro. Questa redistribuzione di cariche genera due effetti diversi, che dipendono dalla differenza di cariche elettriche positive esistenti fra le due sfere: se una sfera è più carica dell'altra, il risultato sarà un'attrazione, ma se le due sfere hanno uguale carica elettrica il risultato finale è una repulsione. Tutto ciò è vero se le sfere metalliche sono di piccole dimensioni e con cariche elettriche dello stesso segno. Con cariche elettriche di segno opposto prevale, comunque, l'attrazione, anzi l'attrazione a brevi distanze viene rafforzata proprio nelle sferette di piccole dimensioni. Per sfere metalliche o corpi metallici di grandi dimensioni, e quindi di grande massa, l'effetto di attrazione o di repulsione risulta, invece, molto debole, sia perché entrano in gioco fattori come la resistenza elettrica la quale su grandi superfici non favorisce la migrazione e la redistribuzione delle cariche (a meno che non si tratti di materiali superconduttori), sia perché le forze di attrazione e repulsione sono molto piccole perché le grandi masse possano significativamente risentirne. Insomma, la repulsione può diventare a volte una forte attrazione.

(Caterina Vinci)

## Nanotecnologie: dopo il grafene, arriva il silicene!

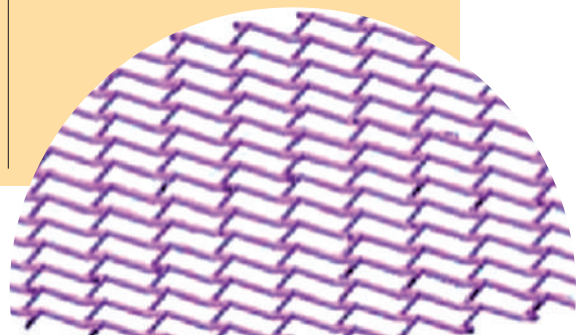
Le nuove tecnologie non finiscono mai di meravigliarci. Dopo il grafene, messo a punto solo pochi anni fa (2004) e le grafine (una variante del grafene con proprietà asimmetriche), ecco realizzato un nuovissimo materiale: il silicene. Il silicene, come il grafene, è composto da fogli monoatomici di atomi di silicio, invece che di carbonio, disposti analogamente ad alveare e a maglie esagonali, con proprietà molto simili a quelle del grafene. Il vantaggio del silicene, stando ai primi risultati ottenuti, è che la sua produzione appare meno costosa. Ma, ancora più importante, è il fatto che è possibile integrarlo più facilmente negli attuali circuiti elettronici basati sul silicio, favorendo, quindi, l'accelerazione dello sviluppo di dispositivi elettronici super miniaturizzati. L'annuncio di questa nuova scoperta è stata data dagli stessi autori che hanno pubblicato la loro ricerca su *Physical Review Letters* (<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v108/i15/e155501>). Si tratta di un gruppo di ricercatori francesi, tedeschi ed italiani dell'Istituto di struttura della materia del CNR. In realtà, il silicene era stato previsto teoricamente già da tempo, ed alcune prove per produrlo erano state già effettuate nel 2010, ma la sua reale esistenza non risultava ancora dimostrata.

Il foglio monoatomico di silicene è stato ottenuto condensando i vapori di silicio sopra una placca d'argento. Le sfoglie di

silicene che ne derivano non sono perfettamente lisce come quelle del grafene, ma appaiono leggermente increspate da ondulazioni che comunque sono molto regolari e si ripetono allo stesso modo su tutta la sfoglia. Sono state successivamente eseguite le misure chimico-fisiche, ottiche ed elettroniche per analizzare le caratteristiche e le proprietà della sfoglia monoatomica ottenuta e per verificare la corrispondenza effettiva con i calcoli teorici. Il prossimo passo sarà quello di produrre fogli di silicene singoli, cioè liberi dal materiale di supporto, come l'argento, su cui è stato depositato.

“Il silicene non è solo una importante innovazione nel campo delle nanotecnologie” – ha commentato Rossella Giorgi, esperta di nanomateriali dell'ENEA – “ma potrebbe aprire la strada alla scoperta e messa a punto di altri nanomateriali simili come il germanicene, cioè sfoglie monoatomiche di germanio, un altro materiale molto usato in elettronica, nella spettroscopia all'infrarosso, nelle fibre ottiche per le reti di comunicazione e per i catalizzatori nelle reazioni chimiche di polimerizzazione”.

(Caterina Vinci)



## L'Italia al 30° posto per l'alta formazione e la ricerca universitaria

Una nuova analisi sul sistema dell'alta formazione in 48 Paesi che rappresentano diversi livelli di sviluppo socio economico condotta da "Universitas 21", la rete internazionale delle università fondata nel 1997 e svolta dal Melbourne Institute of Applied Economic and Social Research, è stata recentemente pubblicata on line (<http://www.universitas21.com/collaboration/details/48/u21-rankings-of-national-higher-education-systems>). Questa ricerca mostra che l'Italia è al 30° posto, dopo Slovenia e Grecia e prima della Bulgaria. Ai primi posti ci sono nell'ordine: Stati Uniti, Svezia, Canada, Finlandia, Danimarca. Agli ultimi posti ci sono nell'ordine: Croazia, Turchia, Sudafrica, Indonesia e India. L'indagine è basata su quattro indicatori o parametri di base:

- risorse, cioè finanziamenti pubblici e privati per l'alta formazione e la ricerca universitaria;
- ambiente universitario, che comprende il bilancio di genere tra studenti maschi e femmine, il corpo insegnante, l'offerta formativa e le infrastrutture di ricerca;
- connettività universitaria, che riguarda la presenza di studenti stranieri e il livello di internalizzazione nella rete formativa mondiale;
- prodotto universitario,

incentrato sul livello di qualificazione dei laureati e il livello di eccellenza della ricerca in base alle pubblicazioni sulle più prestigiose riviste scientifiche. Rispetto a questi parametri l'Italia è così classificata: al 32° posto per i "finanziamenti", al 42° per "l'ambiente", al 28° per la "connettività" e al 25° per il "prodotto" universitario. La media complessiva "pesata" su questi quattro parametri porta l'Italia al 30° posto nella classifica finale, cioè a una posizione di medio-bassa classifica assieme ai Paesi dell'Europa orientale e prima dei Paesi in via di sviluppo. La classifica, in effetti, rispecchia soprattutto i livelli di investimento che ciascun paese effettua in alta formazione e in ricerca e sviluppo. Per esempio, Nuova Zelanda, Polonia e Belgio, che sono ai primi posti rispetto al parametro "ambiente", finiscono, poi, abbastanza più in basso nella classificazione finale. La Gran Bretagna, che è al secondo posto rispetto al "prodotto" universitario, risulta al 10° posto nella classifica finale. La classificazione finale vede nella parte alta i Paesi del Nord Europa e del Nord America. I Paesi più avanzati dell'Asia (come Giappone, Corea, Taiwan e Hong Kong) si trovano, invece, subito dopo i primi, nella parte medio-alta. Poi seguono, nella

parte medio-bassa, gran parte dei Paesi del Sud Europa e dell'Est europeo; infine, chiudono la classifica quasi tutti i Paesi dell'America latina e dell'Africa. All'ultimo posto si trova l'India, mentre la Cina è al 39° posto della classifica.

In un'altra indagine dello scorso anno, basata su parametri quali la reputazione dell'università e del corpo docente, l'internazionalizzazione, la citazione su riviste internazionali ecc., che aveva analizzato 712 università di tutto il mondo, di cui 21 università italiane (<http://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings>), gli atenei italiani non erano classificati molto meglio. Per trovare la prima università italiana, l'Alma Mater di Bologna, bisogna scendere al 183° posto. Le altre sono ancora più giù: la Sapienza è al 210° posto, quella di Padova al 263°, Milano al 275° e il Politecnico di Milano al 277°. Secondo queste classificazioni, la ricerca italiana non brilla tra i primi posti per l'eccellenza, ma è quasi certamente di buon livello, soprattutto considerando la debolezza di importanti fattori a supporto dell'alta formazione che non facilitano le potenzialità di studenti e ricercatori, quali: la scarsità dei finanziamenti, l'insufficienza delle infrastrutture, l'organizzazione e la modesta internazionalizzazione, fattori che, poi, sono i principali indicatori che spingono l'Italia verso le parti inferiori della classifica.

(Daniela Bertuzzi)

## La green economy sei tu.

### Vuoi farne parte?

La giornata mondiale dell'ambiente, che si celebra ogni anno il 5 giugno a partire dal 1972 (data della prima conferenza mondiale sull'ambiente e lo sviluppo umano, tenuta a Stoccolma), ha, quest'anno, un particolare significato. Segna il 40° anniversario di questa celebrazione che ha accresciuto nel tempo la consapevolezza dei cittadini sulla stretta interconnessione fra problemi ambientali, sociali e di sviluppo economico, ma segna soprattutto la nuova importante tappa della "green economy" quale strumento concreto per lo sviluppo sostenibile e di eradicazione della povertà. Ma, cos'è la green economy? La crisi finanziaria globale, iniziata nel 2007, ha generato una crisi economica mondiale che ancora oggi persiste con una recessione economica che colpisce gran parte dei paesi del mondo. Secondo gli economisti, questa crisi è la più grave crisi economica dopo quella della grande depressione iniziata nel 1929 e protrattasi nel decennio successivo. L'insegnamento che si può trarre da quanto finora accaduto è che l'economia e la gestione delle risorse finanziarie non potranno più

procedere in futuro allo stesso modo del passato, come se nulla fosse accaduto. Bisogna trovare soluzioni alternative, perché lo sviluppo sia sostenibile dal punto di vista economico, ma anche da quello ambientale e sociale. Quest'alternativa è un nuovo tipo di economia: la green economy.

L'UNEP, l'Agenzia delle Nazioni Unite per l'ambiente, definisce la green economy come l'economia che migliora la qualità della vita delle persone e l'equità sociale dei popoli, riducendo, nel contempo, i rischi ambientali ed evitando sia il depauperamento dei sistemi ecologici, sia la scarsità delle risorse naturali.

In altre parole, la "green economy" non è solo l'attività economica, ma il sistema integrato economia-ambiente in cui la crescita economica è trainata dagli investimenti che riducono le emissioni inquinanti di anidride carbonica, che promuovono l'uso efficiente delle risorse naturali e che, nello stesso tempo, eliminano l'esclusione sociale, e in primo luogo la povertà.

La green economy non è un concetto difficile da capire - dice l'UNEP nella presentazione di questa giornata mondiale - né da considerare come una faccenda che non riguarda i singoli cittadini, ma i governi, le corporazioni e le diverse organizzazioni governative e non governative. Poiché il denaro

guida l'economia, sono proprio le scelte delle singole persone che guidano le grandi scelte per le quali il denaro deve essere speso.

Sono, pertanto, le decisioni dei cittadini a supportare le iniziative di sviluppo "verde", a indirizzare gli investimenti da effettuare e a controllare democraticamente come il denaro è stato speso.

"Proprio perché è il singolo cittadino che costruisce la green economy, l'ENEA in questa occasione intende rilanciare il progetto Educarsi al futuro, per la formazione dei cittadini di domani" ha detto Giovanni De Paoli dell'ENEA, responsabile del progetto.

"L'obiettivo non è solo quello di informare e sensibilizzare i giovani sulle tematiche energetiche e ambientali, ma di coinvolgere le giovani generazioni nella costruzione di un percorso di educazione alla sostenibilità dello sviluppo, rendendoli, quindi, consapevoli e responsabili delle loro scelte quotidiane e di quelle che dovranno compiere nel loro futuro".

"Le scelte quotidiane sono il modo più semplice per promuovere la green economy, perché la green economy è attorno a ciascuno di noi, e dipende da noi", sottolinea l'UNEP che lancia lo slogan: "La green economy sei tu: vuoi farne parte?"

*(Daniela Bertuzzi)*

# Le riserve petrolifere canadesi e la sicurezza energetica globale

In attesa dei risultati degli studi di approfondimento, l'Unione Europea ha rimandato al 2013 la decisione sulla controversa definizione dell'intensità delle emissioni di gas serra nei combustibili non convenzionali, di cui all'art. 7 della direttiva 2009/30/CE sulla qualità dei combustibili. La diversa e più sfavorevole classificazione dei combustibili non convenzionali, rispetto a quelli convenzionali, secondo il Canada, non ha fondamento, almeno per quanto riguarda il petrolio canadese ottenuto da sabbie bituminose. Qui di seguito i chiarimenti dell'Ambasciatore del Canada in Italia: James Fox

■ James Fox

La sicurezza energetica figura ormai fra le più importanti tematiche delle relazioni internazionali. Ciò è vero sia che si guardi agli aspetti propriamente economici dell'energia, sia che si considerino gli aspetti eminentemente politico-strategici del contesto internazionale. In questo contesto, il Canada gioca un ruolo sempre più rilevante quale fornitore sicuro e responsabile di energia. Come è noto il Canada è il secondo paese più esteso al mondo, contrassegnato da una grande diversità regionale al proprio interno. Tale diversità è caratteristica anche del mercato dell'energia canadese, che varia sensibilmente da territorio a territorio. Ma ciò che rende particolarmente importante tale ricchezza sono tre punti fondamentali. Il primo è che il Canada possiede le terze riserve di petrolio più ricche del mondo. Il secondo è che il Canada si situa stabilmente fra i 10 maggiori produttori mondiali di energia (non solo a partire da idrocarburi ma anche da fonti rinnovabili). E il terzo è che in Canada la produzione di energia è sempre più alta del consumo.

Messi insieme, questi tre fatti stanno a significare che il Canada ha un ruolo decisivo da giocare sul mercato globale dell'energia nei prossimi decenni. Anche se storicamente la produzione canadese è stata esportata al 99% negli Stati Uniti, il Primo Ministro Stephen Harper ha affermato che gli interessi canadesi im-

pongono di diversificare le esportazioni. Ciò dunque apre interessanti prospettive per i nostri partner in Europa e in Asia.

Anche nel caso in cui, nel prossimo futuro, il Canada non diventasse un fornitore diretto di energia per l'Italia, il suo status di superpotenza energetica emergente sarebbe comunque in grado di influenzare positivamente la sicurezza energetica italiana. Innanzitutto il ruolo canadese di esportatore affidabile contribuirà a stabilizzare i prezzi del petrolio. Inoltre il settore energetico canadese, in costante espansione, sarà un mercato ricco di opportunità sia per gli investitori, sia per lavoratori altamente specializzati, interessati a perseguirvi la propria carriera e/o acquisirvi esperienze preziose.

Per queste ragioni, è molto importante che un'informazione corretta riguardo le riserve petrolifere canadesi sia disponibile per i decisori e per il pubblico. Le sabbie bituminose canadesi, infatti, rappresentano una risorsa strategica, che può contribuire non solo alla sicurezza energetica nordamericana, ma anche a quella globale. Le sabbie bituminose comprendono

■ James Fox  
Ambasciatore del Canada in Italia



oltre il 97% delle risorse petrolifere canadesi (oltre 174 miliardi di barili), e tale dato è significativo non solo per il Canada. Nonostante gli sforzi per la diversificazione energetica e per lo sviluppo di energie rinnovabili, anche da parte canadese, il petrolio continua a giocare il ruolo più importante sullo scenario globale, e continuerà a farlo nei prossimi decenni. Dal momento che la disponibilità di altri tipi di greggio è in diminuzione, sono molte le economie che si rivolgono al mercato dell'heavy oil. Per tale motivo il Canada si è impegnato per uno sviluppo responsabile delle proprie risorse petrolifere, in modo da diminuire progressivamente l'impatto ambientale e l'intensità di emissioni di gas-serra che derivano dallo sfruttamento dei suoi giacimenti.

Nel perseguire tale obiettivo, negli ultimi decenni il Canada ha aumentato i propri sforzi per lo sviluppo di nuove tecnologie, concepite allo scopo di ridurre drasticamente l'inquinamento nel processo estrattivo. Grazie a un impegno costante e all'intensa attività di ricerca scientifica interdisciplinare, i risultati ottenuti consentono già oggi di parlare di una nuova era nell'estrazione delle sabbie bituminose, con netta diminuzione dell'impatto ambientale in termini di emis-

sioni dannose e di acqua potabile utilizzata. Anche se per ragioni di spazio non possiamo, in questa sede, addentrarci in una spiegazione tecnica di tali nuovi metodi, detti "estrazione migliorata del petrolio" (Enhanced Oil Recovery - EOR) possiamo senz'altro menzionare tecnologie quali SAGD (*Steam-Assisted Gravity Drainage*), ISC (*In-Situ Combustion*) and VAPEX (*Vapor Extraction*). Inoltre, il Canada è già oggi la nazione produttrice di petrolio più trasparente al mondo, essendo i suoi dati sulle emissioni dell'intero processo estrattivo e produttivo disponibili pubblicamente per i ricercatori.

Il Canada, l'Italia e l'Unione Europea sono partner in uno scenario energetico globale in rapido mutamento. È importante lavorare assieme per affrontare questioni di interesse mondiale non solo in termini di sicurezza energetica ma anche di sostenibilità ambientale. Il Canada è all'avanguardia dello sviluppo tecnologico che ha già ridotto – e che continuerà a farlo – le emissioni di gas serra dalle attività di produzione energetica. Questo impegno, insieme alle forti credenziali democratiche del Canada, ne fanno un attore sicuro e responsabile del mercato energetico globale. ●



# Difficile l'innovazione tecnologica per le piccole e medie imprese

La filiera agro-alimentare si considera schematicamente composta da tre principali parti: produzione primaria, trasformazione, distribuzione alimentare.

Il Rapporto della Banca d'Italia "La grande distribuzione organizzata e l'industria alimentare in Italia", presentato il 21 marzo a Palazzo Koch, affronta in termini economici il rapporto tra grande distribuzione e industria alimentare nel nostro paese. Qui di seguito una prima analisi delle problematiche in relazione alle attività di ricerca italiana nel settore

■ Marina Leonardi

Il rapporto della Banca d'Italia segue la pubblicazione, avvenuta il 1° marzo, dei risultati ottenuti dalla partecipazione italiana ai bandi del 7PQ nel settore delle biotecnologie, prodotti alimentari e agricoltura nell'ambito della ricerca applicata alla filiera, ricerca che è in grado di introdurre elementi innovatori capaci di aumentare la competitività della filiera medesima e quindi, in ultima analisi, i margini di profitto delle diverse componenti. Le piccole e medie imprese (PMI), di cui è largamente composto il tessuto imprenditoriale alimentare nazionale, non svolgono ricerca in modo autonomo, bensì ricorrendo in gran parte alla Ricerca pubblica. Ricerca e Innovazione ad opera del sistema pubblico delle Università e degli Enti di Ricerca rappresentano quel valore aggiunto di tante produzioni alimentari in grado di ridare slancio alle PMI alimentari. Con pochi margini però, le imprese investono sempre meno in ricerca e il settore, pure così importante per l'industria manifatturiera italiana e il nostro export, rischia di perdere posizioni nel quadro internazionale.

L'importanza dell'industria di trasformazione alimentare in Italia si può desumere sia dai valori assoluti che la caratterizzano, sia da quelli relativi al confronto con altri Paesi dell'Unione Europea.

Nel 2007 il comparto alimentare rappresentava circa il 10 % dell'intero settore manifatturiero come occu-

pati e il 9% del valore aggiunto, valori un po' più bassi della media UE e in gran parte, come occupati, anche di Francia, Spagna, Gran Bretagna e Germania. Una caratteristica del tessuto industriale alimentare italiano, comune anche ad altri Paesi, è di essere costituito da PMI, in particolare proprio le piccole imprese con meno di 20 addetti rappresentano il 96% del totale; valori simili ha la Francia, mentre più basse sono le analoghe percentuali di Germania e Regno Unito.

I numeri macro del settore Food and Drink europeo lo caratterizzano come il più grande settore manifatturiero con il 13% del turnover del manifatturiero in Europa, con oltre 4,3 milioni di occupati (stime di Federalimentare da dati FoodDrinkEurope 2011). In tutta l'Unione Europea ci sono 310.000 imprese di cui oltre il 95% sono PMI. Il loro turnover ammonta a circa il 48,7% del totale e il numero di addetti al 63%. Tuttavia, nonostante le ragguardevoli dimensioni, la spesa in R&S del settore industriale alimentare europeo ammonta a non oltre il valore dell'1,05% del fatturato netto. L'Unione Europea esporta alimenti e

■ Marina Leonardi  
 ENEA, Unità Centrale Relazioni, Servizio Relazioni Internazionali

bevande con un valore di export che supera di circa 3 miliardi l'import.

Questo dato positivo va valutato insieme al dato secondo il quale la produzione alimentare, in generale, contribuisce significativamente alle emissioni di gas a effetto serra. Nel 2050 esso potrebbe raggiungere addirittura un valore pari al 40% del totale delle emissioni. Con la crescita della popolazione globale prevista da 6,5 miliardi a oltre 9 per il 2050, la sfida di aumentare le produzioni alimentari conseguendo al contempo una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra diventerà sempre più pressante.

Per mantenere positivi i valori di crescita sostenibile del settore in Europa (e in Italia), è necessario contribuire alla competitività delle imprese e della filiera in toto, con un incremento dell'innovazione di prodotto/processo/sistema, tenendo presente le varie componenti della filiera. Ciò che la tecnologia rende possibile al produttore primario/trasformatore non è sempre necessariamente ciò che interessa di più il consumatore o ciò che aumenta i fatturati di chi commercia alimenti e bevande. Tuttavia vi è un sottoinsieme di innovazioni che riescono ad assecondare gli interessi di produttori, commercianti e consumatori.

Una considerazione attenta di dove e come innovare deve tener conto di come sta cambiando la popolazione europea, per esempio in quello specifico ambito rappresentato dall'invecchiamento generalizzato. Migliorare le produzioni alimentari può significare allora venire incontro alla richiesta di incrementare i requisiti qualitativi degli alimenti, introducendo fattori di innovazione che aumentino il profilo nutrizionale per coloro che vogliono invecchiare in salute, contrastando e prevenendo alcune patologie legate alla dieta.

Analogamente, per la popolazione più giovane e più legata ai consumi di Junk Food, c'è un'estrema necessità di innovare producendo alimenti sensorialmente appaganti, ma che non rappresentino un fattore di rischio per l'impennata di obesità che sta affliggendo l'Europa e l'Italia, in particolare, con dati allarmanti: 27% di ragazzi e 25% di ragazze tra i 5 e i 17 anni sovrappeso o obesi.

Tuttavia, a fronte di queste evidenze, si sta drasti-

camente riducendo la possibilità di investire nella ricerca e nell'innovazione alimentare. Da un'approfondita analisi della Banca d'Italia sul rapporto tra grande distribuzione alimentare e industria alimentare in Italia, recentemente presentata a Palazzo Koch a diversi *stakeholder* nazionali, si può evincere che alcune distorsioni, soprattutto nella parte terminale della filiera, quella che porta i prodotti alimentari sui banchi dei supermercati al consumo, stanno erodendo i margini delle imprese al punto che la volontà di innovare delle aziende ne risulta ampiamente ridimensionata e negativamente influenzata.

Un produttore meridionale di olio extra-vergine di oliva che ha puntato sull'innovazione di prodotto, per un olio più mirato ai nuovi fabbisogni nutrizionali per un *healthy aging* ovvero per esportare su mercati per esempio nord-europei, deve fare i conti con un mercato sempre più avaro di margini, al punto che le spese sostenute per innovare possono non trovare più un corrispettivo interessante.

Da dati ottenuti analizzando le più recenti performance nazionali nella ricerca comunitaria nel settore alimentare (vedi dati riassuntivi nel riquadro), si evince che la ricerca italiana è in affanno. Un settore che conta, per l'Italia e la UE, in cui l'Europa ha deciso di investire nel prossimo Programma quadro 4,7 miliardi di euro per "Food security, sustainable agriculture, marine e maritime research and the bioeconomy", ci vede inseguire le performance di altri Paesi, per cercare di non arretrare sulle posizioni nazionali.

Occorre, a nostro avviso, uno sforzo congiunto e un coordinamento interministeriale tra Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca, Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali e Ministero della Coesione Territoriale in primis. Questo coordinamento interministeriale dovrebbe essere teso a mettere a fattor comune quei (pochi) fondi per la ricerca e l'innovazione agro-alimentare che dovrebbero andare a favore delle PMI, delle Regioni e dei consumatori nazionali, in ultima analisi. ●

### Analisi dei dati della partecipazione italiana al 7PQ di ricerca e sviluppo dell'Unione Europea (2007-2013)

#### Biotecnologie, Prodotti alimentari e agricoltura

- Il *budget* complessivo del Programma è di 1,935 miliardi di euro.
- I bandi conclusi per questa priorità sono stati 6 con un *budget* indicativo di 1,020 miliardi di euro.
- Le proposte presentate sono state 2.034 e quelle ammesse a negoziazione 319.
- Il rateo di successo è del 15,7%. Nelle proposte presentate c'è una forte presenza di coordinatori italiani, per numero, superiore a tutti i Paesi UE.
- Un basso tasso di successo (9%) per numero di coordinatori sulle proposte ammesse al finanziamento colloca invece l'Italia dopo Regno Unito, Francia, Germania e Paesi Bassi nella classifica finale.

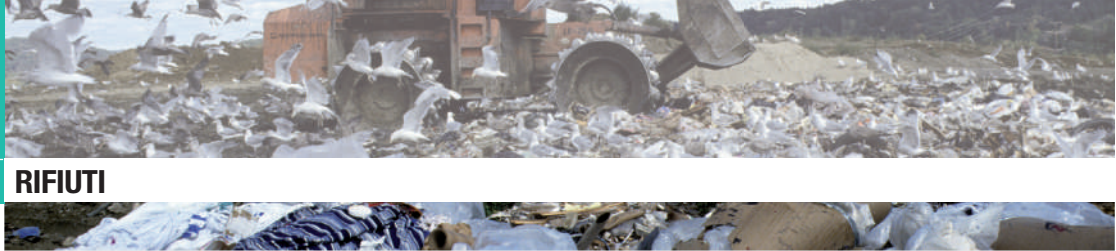
Le Università rappresentano il 66% dei coordinatori vincenti italiani, mentre l'industria italiana non ottiene nessun coordinamento, in certa misura a riprova di quanto riportato nel testo dell'articolo.

La percentuale italiana di finanziamento sul *budget* generale si attesta al 7,59% (circa 78 milioni di euro in negoziazione) e si posiziona dietro il Regno Unito (13,53%), Germania (10,90%), i Paesi Bassi (10,57%), la Francia (9,75%).

Nel 6PQ la percentuale di rientro italiano sul *budget* complessivo del programma è stata dell'8,7%. Il trend è quindi in calo di oltre un punto %.

(Luigi Lombardi, ENEA c/o MiUR - DGIR - Ufficio III,  
dati aggiornati al 1° marzo 2012)





# Perché il riciclo intelligente dei rifiuti del Giappone non si applica in Italia

Un recente studio giapponese propone un sistema di riciclo “intelligente” per valorizzare materiali cartacei e plastiche presenti nei rifiuti indifferenziati, rendendoli appetibili come “materie prime” o come combustibili in impianti industriali. Cuore del sistema è lo “smart recycling center”, impianto polifunzionale di selezione e pretrattamento ed elemento di raccordo tra più centri urbani per ottimizzare logistica e flusso di rifiuti. Il 70% di plastica e carta verrebbe separato, la plastica di alta qualità riciclata in resina, il resto utilizzato come combustibile. Si produrrebbero circa 100 kg di CO<sub>2</sub> in meno per abitante e per anno senza significativo incremento di costi e diminuirebbe il numero di inceneritori necessari. Abbiamo chiesto a un esperto se è possibile applicarlo in Italia

■ Pier Giorgio Landolfo

Lo studio elaborato dall'istituto di ricerca giapponese<sup>[1]</sup> propone un modello di gestione dei rifiuti urbani che è, in linea di principio, molto interessante, sia dal punto di vista economico che ambientale, poiché si pone l'obiettivo di valorizzare quanto più possibile materiali cartacei e plastiche presenti nei rifiuti, a integrazione del riciclo e del recupero di materia attuato attraverso la raccolta differenziata. Lo scenario sviluppato (Figura 1) non può essere tuttavia estrapolato dal sistema di gestione presente in Giappone.

In Giappone, a causa della scarsità di territorio, i principali sistemi di trattamento e smaltimento dei rifiuti sono tuttora l'incenerimento e la gassificazione dei rifiuti urbani, mentre la quantità smaltita in discarica è, a differenza di quanto accade in Italia, irrisoria: tutto quello che non si riesce a riciclare viene infatti trattato nelle predette tipologie di impianti. Il sistema di raccolta dei rifiuti urbani attuato in Giappone è molto simile alla raccolta differenziata del tipo “porta a porta” presente, ma non diffusamente attuata, nel nostro paese;

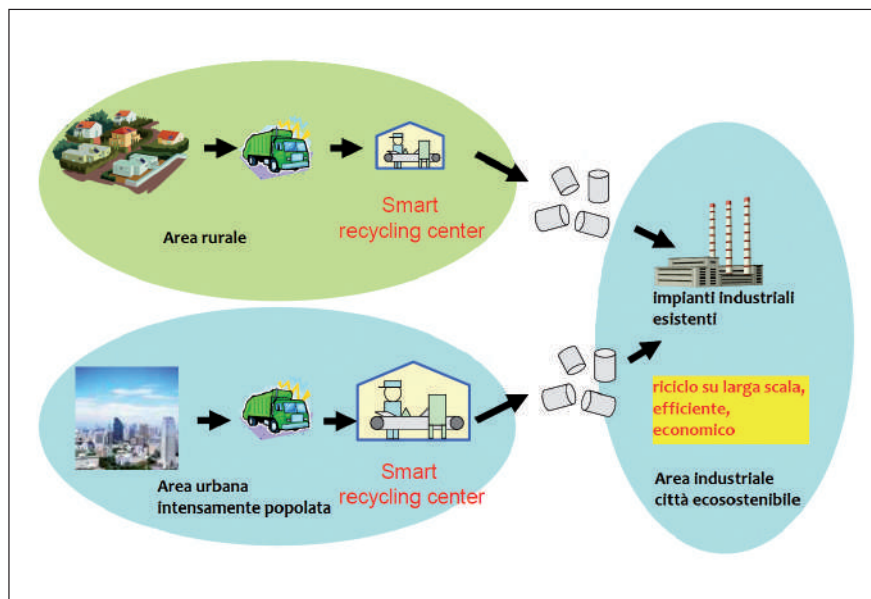
generalmente non sono presenti cassonetti sul territorio e gli utenti separano a monte i rifiuti essenzialmente in tre flussi: rifiuti che si possono bruciare, rifiuti che non si possono bruciare e rifiuti da riciclare. In sostanza, il flusso dei materiali che dovrà essere smaltito con l'incenerimento viene già predisposto a monte.

In questo contesto lo studio elabora uno scenario in cui il flusso dei rifiuti “che si possono bruciare” viene pretrattato, ai fini di una migliore valorizzazione. Bisogna evidenziare anche che dalla fine degli anni 90 il Giappone ha avviato nuove politiche per incrementare il riciclaggio dei rifiuti, in particolare il riciclaggio degli imballaggi (maggio 2000), che lo caratterizzano come uno dei paesi al mondo dove si ricicla di più, e punta a ridurre la produzione dei rifiuti urbani al 2015 del 20% rispetto a quelli prodotti nel 2000.

Nel sistema di gestione dei rifiuti in Italia, la discarica, pur nella sua evoluzione, rimane il sistema di smaltimento predominante; il 46% dei rifiuti urbani è finito in discarica nel 2010 (il 68% nel 2001).

Il Decreto Ronchi (D.Lgs. 22/97), il suo continuo aggiornamento (D.Lgs. 152/06) e il recepimento delle ultime direttive europee (2008/98/CE) stanno trasformando la gestione dei rifiuti in Italia, pur con la sua perdurante diversificazione tra Nord, Centro e Sud, in un sistema di

■ Piergiorgio Landolfo  
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali



**FIGURA 1** Funzionamento del sistema di riciclo "intelligente"

Fonte: "Planning and evaluation of a recycling system for the sophistication of eco town", Minoru Fujii, National Institute for Environmental Studies, Japan, Asia-Pacific Workshop on Integrated Solid Waste Management, 19-20 April 2012

gestione integrato che fa sempre meno ricorso allo smaltimento in discarica ed è sempre più sensibile alle problematiche ambientali e al riciclo e recupero di materia. La raccolta differenziata in Italia, pur essendo ancora lontana dagli obiettivi indicati dalla normativa (65% al 2012), è passata dal 17% del 2001 ad oltre il 35% del 2010. In questo processo, mentre si è sempre più affermato sul territorio, e si può considerare maturo, il sistema CONAI per gestire il riciclo delle frazioni seche selezionate (imballaggi primari) dei rifiuti urbani tramite una rete di "piattaforme" che si prendono carico del materiale raccolto e ne garantiscono l'avvio al riciclo, l'incenerimento con recupero energetico fatica invece ad affermarsi, essenzialmente per motivi di consenso sociale. Negli ultimi anni si riscontrano costanti segni di ripresa della termovalorizzazione dei rifiuti urbani, che è passata dal 9,8% del 2001 al 16% del 2010 a seguito sia degli sviluppi tecnologici nel settore che dell'evoluzione della normativa europea in campo ambientale. In Italia il mercato del combustibile derivato da rifiuti (CDR), benché promosso da tempo, non è mai decollato. La situazione attuale fa sì che la stragrande maggioranza del CDR, prodotto principalmente a partire da rifiuti urbani, venga per lo più impiegata in impianti dedicati di incenerimento, con poche esperienze di utilizzo nei cementifici o nelle centrali termoelettriche. Nuovo impulso è atteso dalle novità che derivano dal concetto di combustibile solido secondario (CSS), introdotto dal D.Lgs 205/2010. Ai fini dello sviluppo di un loro mercato sono attesi alcuni provvedimenti legi-

slativi da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, che dovrebbero favorire il loro impiego nei cementifici, nonché in altri impianti industriali, dando loro quindi la piena dignità di combustibili e non più di rifiuti, attraverso la qualifica di "end of waste" prevista dalla direttiva 2008/98/CE. Nel settore delle tecnologie e delle metodologie per la gestione sostenibile dei rifiuti, l'ENEA svolge attività di ricerca e sviluppo dai primi anni 90. Le aree privilegiate di intervento riguardano l'ottimizzazione dei cicli di gestione e la valutazione, lo sviluppo, la sperimentazione e la dimostrazione di processi, tecnologie e componenti per la gestione ecocompatibile dei rifiuti. Nel campo della prevenzione, intesa come riduzione alla fonte della produzione di rifiuti e della loro pericolosità, e del riciclo dei rifiuti, le attività di ricerca sviluppo tecnologico si muovono in uno scenario che vede il ricorso alle fonti energetiche rinnovabili e la riduzione delle emissioni climalteranti, e sono indirizzate al miglioramento della qualità dei flussi di materiali recuperati ai fini del loro riutilizzo nel sistema produttivo, alle tecnologie per la gestione della frazione organica e per la produzione di biocombustibili da rifiuti, al recupero di materiali a elevato valore aggiunto e alla valorizzazione energetica. ●

note

- [1] "Planning and evaluation of a recycling system for the sophistication of eco town", Minoru Fujii, National Institute for Environmental Studies, Japan, Asia-Pacific Workshop on Integrated Solid Waste Management, 19-20 April 2012.

# Perché la liquefazione del terreno e quali gli effetti

Dopo il terremoto che ha colpito l'Emilia Romagna, è stato osservato un fenomeno insolito che ha provocato crepe in giardini e cantine e fratture sui muri di molte case, costruite vicino a vecchi alvei di fiumi, da cui è fuoruscito fango o si sono riempite di sabbia. In altri casi si sono formati piccoli vulcani di sabbia che hanno provocato il cedimento di molte abitazioni. Si tratta del fenomeno, poco frequente in Italia, della liquefazione delle sabbie su cui abbiamo chiesto chiarimento agli esperti

■ Giovanni Bongiovanni, Paolo Clemente, Guido Martini, Vladimiro Verrubbi

**L**a sequenza sismica che ha recentemente interessato la Pianura Padana Emiliana ha dato origine a diverse manifestazioni di liquefazione. I fenomeni osservati riguardano sia le manifestazioni su terreno libero (Figura 1) sia su manufatti (Figura 2).

La liquefazione riguarda depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi (depositi granulari non coesivi) sciolti e saturi. In condizioni statiche, ossia di applicazione lenta del carico, la permeabilità di questi materiali consente il deflusso dell'acqua interstiziale, evitando l'insorgenza di pressioni neutre, e il carico viene trasferito direttamente dai granelli di sabbia. Durante un terremoto, invece, il rapido aumento ciclico delle pressioni neutre interstiziali può superare la capacità del materiale di drenare l'acqua e, quindi, di dissipare le sovrappressioni stesse. In altre parole il drenaggio è impedito perché, anche se la permeabilità è elevata, il tempo che l'acqua ha a disposizione è insufficiente per un drenaggio completo. Di conseguenza, si verifica un progressivo aumento delle pressioni neutre e una cospicua riduzione della resistenza a taglio del terreno: se la

pressione neutra eguaglia quella totale, la resistenza a taglio del terreno si annulla. In tali condizioni i manufatti sovrastanti possono subire spostamenti importanti e, in terreno libero e condizioni di morfologia movimentata, si possono verificare scorrimenti di elementi di volume superficiali. Il fenomeno è documentato da numerosi casi: si hanno dei getti di acqua dal sottosuolo a causa delle notevoli pressioni neutre e spostamenti notevoli anche di grossi manufatti.

Studi sperimentali hanno dimostrato che, affinché si verifichi liquefazione, è necessario che si siano determinate condizioni di carattere geotecnico e azioni sismiche con determinate caratteristiche, in termini di durata, intensità, frequenza dominante. Le condizioni geotecniche riguardano la composizione granulometrica, lo stato di addensamento e lo stato tensionale effettivo iniziale della sabbia. Influenza sul fenomeno hanno anche la struttura ed età del deposito e la storia tensionale e di deformazione. Se la porzione di suolo sopra le sabbie soggette a liquefazione lo consente, avviene il fenomeno dell'espulsione di acqua e sabbia dallo strato "liquefatto" attraverso gli strati più superficiali, originando caratteristici coni di sabbia o lungo degli allineamenti (Figura 3).

La figura 4 mostra quanto avvenuto in Giappone a seguito del terremoto di Niigata, di magnitudo  $M=7.5$ ,

■ Giovanni Bongiovanni, Paolo Clemente, Vladimiro Verrubbi  
ENEA, Unità Tecnica Caratterizzazione, Prevenzione e Risanamento Ambientale

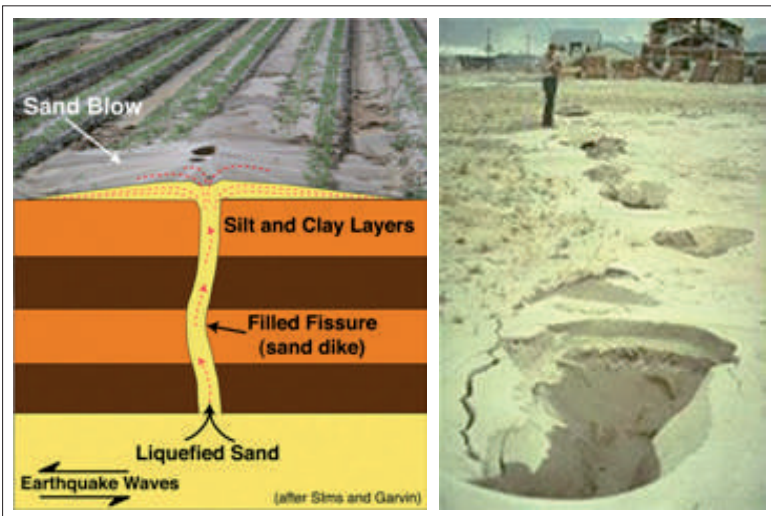
■ Guido Martini  
ENEA, Unità Tecnica Sviluppo di Applicazioni delle Radiazioni



**FIGURA 1** Evidenti segni di liquefazione su terreno libero a seguito del sisma in Emilia  
Fonte: INGV - EMERGEO



**FIGURA 2** Effetti della liquefazione su manufatti a seguito del sisma in Emilia<sup>[5]</sup>



**FIGURA 3** Schematizzazione della risalita di acqua e sabbia<sup>[1]</sup> e sabbia espulsa da terreni liquefatti a Niigata nel 1964<sup>[2]</sup>





**FIGURA 4** Collasso di edifici dovuto a liquefazione a Niigata nel 1964<sup>[2]</sup>



**FIGURA 5** Effetti della liquefazione su un ponte a Niigata nel 1964<sup>[2]</sup>

il 16 giugno 1964: a causa della perdita di resistenza a taglio del suolo si è verificato lo sprofondamento di interi edifici, che si sono letteralmente adagiati su un lato.

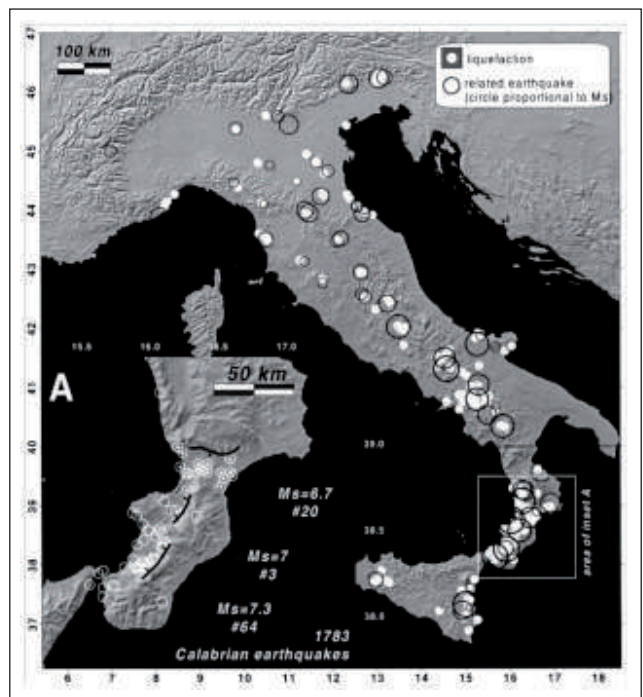
In figura 5 è mostrato il caso di un ponte a campate semplicemente appoggiate, dove per effetto della liquefazione ha ceduto la spalla e, con effetto domino, tutte le campate.

La liquefazione può causare anche l'innesco di frane, come registrato durante l'evento sismico

dell'Alaska del 1964, e il collasso di dighe in terra, come avvenuto a San Fernando, in California, nel 1971 (Figura 6).



**FIGURA 6** Parziale collasso della diga di San Fernando dovuto a liquefazione<sup>[2]</sup>



**FIGURA 7** Fenomeni di liquefazione ed eventi sismici dal 1117 al 1990



**FIGURA 8** Terremoto in Calabria 1783: incisione raffigurante centinaia di conetti di sabbia sulle sponde del fiume Mesima <sup>[3]</sup>

I primi studi su questi fenomeni cosismici mettevano in relazione la liquefazione con forti accelerazioni

simiche e, quindi, con eventi di elevata magnitudo; per questo motivo si riteneva poco probabile nel nostro paese l'insorgenza di fenomeni di liquefazione, per lo meno di grandezza comparabile con quanto osservato all'estero.

In realtà, in Italia il fenomeno è stato osservato in diverse occasioni e il catalogo dei fenomeni storici di liquefazione<sup>[3]</sup> riporta manifestazioni del fenomeno a partire da eventi con  $MS = 4.2$  (Figura 7). In Figura 8 è documentata la formazione di conetti di sabbia durante la sequenza sismica calabra del 1783.

Anche per il terremoto di Ferrara del 1570, per il quale è stata valutata una intensità macrosismica epicentrale VII-VIII MCS, associabile ad una magnitudo pari a 5.5, le fonti documentarie indicano l'insorgenza di liquefazioni del terreno nell'area urbana e nelle aree limitrofe, con l'apertura di fessure dalle quali fuoriuscivano fumi, sabbie bollenti ed una non meglio definita "schiuma nera"<sup>[6]</sup>. ●

#### note

- [1] <http://mptuttle.com/newmadrid3.html>
- [2] <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/main.html>
- [3] Galli P., New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction, *Tectonophysics* 324 (2000) 169–187
- [4] [http://psc.unioneareanord.mo.it/medolla/psc/doc/Rischio\\_Sismico/Tavole\\_Microzonazione\\_Sismica.pdf](http://psc.unioneareanord.mo.it/medolla/psc/doc/Rischio_Sismico/Tavole_Microzonazione_Sismica.pdf)
- [5] Mirandola Earthquake Working Group (DPC, UniChieti, Uni Trieste, Regione Umbria) - Report 1 - (<http://www.protezionecivile.gov.it/cms/it/ran.wp>)
- [6] Guidoboni E., et al. 2007 - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med>



# Domanda e offerta di energia in Italia e nel mondo: situazione attuale e scenari futuri

Quali sono state le dinamiche del sistema energetico internazionale e nazionale negli ultimi anni. Perché in Italia la pur positiva crescita delle fonti rinnovabili si è tradotta in un aumento delle importazioni di tecnologie. Gli obiettivi a lungo termine dell'Unione Europea per un'energia sicura, pulita ed economica e gli scenari di fronte all'Italia. Di seguito riportiamo una sintesi del Rapporto Energia e Ambiente recentemente presentato dall'ENEA

■ ENEA, Unità Centrale Studi e Strategie

## Evoluzione e prospettive della domanda globale di energia

Nel corso del 2011, secondo le analisi del fondo monetario internazionale<sup>1</sup>, l'economia globale è cresciuta del 3,8% seppur rimanendo al di sotto del livello dell'anno precedente (+5%). I principali motori a livello mondiale sono state le economie emergenti e, in particolare, Cina e India sono state quelle che hanno registrato i maggiori tassi di crescita annui, pari rispettivamente al 9,2% e al 7,4%. In questi due paesi si concentra anche, da oltre un decennio, la crescita dei consumi globali di energia, che nel caso specifico del carbone appartengono per quasi la metà alla Cina. Nel 2010 è aumentata anche la domanda mondiale di energia primaria rispetto all'anno precedente (+5%), determinando allo stesso tempo un incremento delle emissioni di gas serra (+5,8%)<sup>2</sup>. Il pe-

trolio ha continuato ad essere la fonte predominante costituendo il 33% della domanda primaria, pari a 12.132 Mtep, seguito dal carbone (27,1%) e dal gas (20,93%). Le fonti rinnovabili, con una crescita media annua dal 1990 pari all'1,8%, sono arrivate a coprire il 13% dell'offerta di energia primaria mentre il nucleare il 6%. Secondo gli scenari dell'International Energy Agency (*World Energy Outlook 2011*), una volta superata la flessione dei consumi legata alla crisi, nel medio termine (fino al 2035) il fabbisogno energetico continuerà ad essere soddisfatto in misura prevalente attraverso i combustibili fossili.

Per quanto attiene all'Europa, nell'ultimo anno si è registrata una crescita del 3,2% della domanda di energia primaria rispetto al 2009. Il Consiglio Europeo, al fine di contrastare il rischio di cambiamenti climatici, ha fissato l'obiettivo di ridurre entro il 2050 le emissioni di

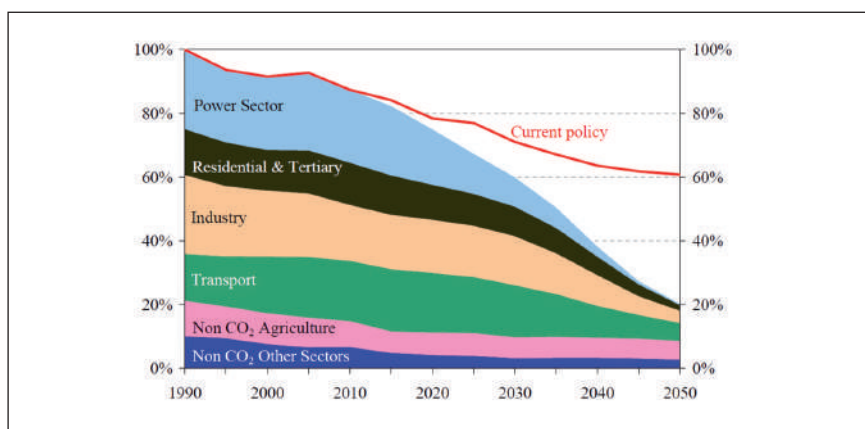
gas serra dell'UE di almeno l'80% rispetto ai livelli del 1990, stabilendo anche delle tappe intermedie di riduzione pari ad almeno il 40% nel 2030 e il 60% nel 2040. Gli obiettivi fissati dal pacchetto clima-energia dell'Unione Europea (chiamato 20-20-20) consentono, tuttavia, di raggiungere solo parzialmente l'obiettivo al 2050. Pertanto, per realizzare un'economia a basse emissioni di carbonio, nei prossimi 40 anni saranno necessari ulteriori investimenti da parte dell'UE, pari all'1,5% del PIL annuo (270 miliardi di euro) in aggiunta all'attuale 19% del PIL già investito, riportando l'Europa ai livelli di investimento pre-crisi. Buona parte di questi sarà compensata sia da una minore fattura energetica per gas e petrolio, permettendo di risparmiare tra i 175 e i 320 miliardi di euro l'anno, sia da una minore sensibilità alle fluttuazioni dei prezzi di petrolio e gas.

## Obiettivi a lungo termine e Roadmap dell'Unione Europea

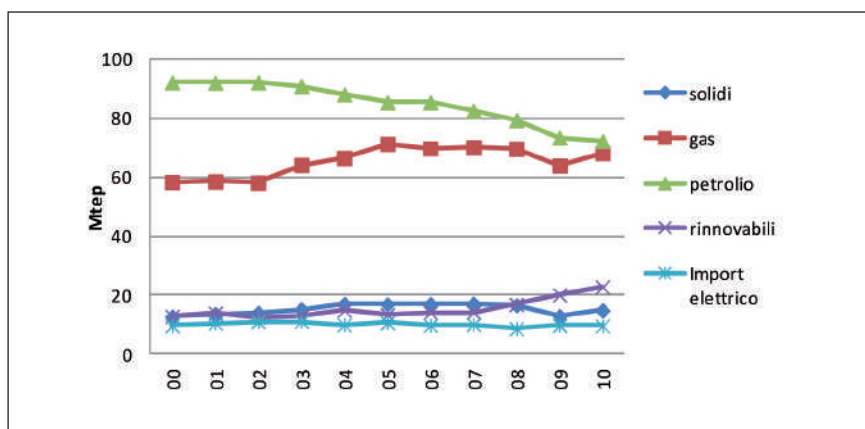
Per contrastare il rischio cambiamenti climatici Il Consiglio europeo ha adottato l'obiettivo dell'UE di ridurre entro il 2050 le emissioni di gas a effetto serra di almeno l'80% rispetto ai livelli del 1990.

Per raggiungere tale obiettivo al

2050 è necessario prevedere alcune tappe intermedie di riduzione: in particolare entro il 2030 le emissioni dei gas a effetto serra dovrebbero essere ridotte del 40% rispetto ai livelli del 1990 ed entro il 2040 del 60%. L'analisi indica anche che per il 2020 l'obiettivo attuale di riduzione delle emissioni del 20% andrebbe rafforzato al 25%.



**FIGURA 1** Riduzione delle emissioni per settore di uso finale per i Paesi EU27 (scenario "Roadmap" rispetto allo scenario "Current policy", valori percentuali)  
Fonte: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 - COM(2011) 112 final



**FIGURA 2** Disponibilità interna lorda di energia per fonte e risorsa – Anni 2000-2010  
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

L'obiettivo ambizioso assunto implica per il 2050 la completa decarbonizzazione della produzione energetica, un processo di efficientamento e di innovazione che potrebbe rafforzare al contempo la competitività dell'Europa e la sicurezza degli approvvigionamenti.

Le modalità principali prospettate per un sistema energetico a zero emissioni riguardano lo sviluppo di tecnologie: per l'efficienza energetica, con particolare riferimento agli usi finali; per le fonti rinnovabili; per la cattura e lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> dagli impianti di generazione elettrica; per il nucleare, che l'Unione non prescrive agli Stati membri, ma che continua a ritenere una alternativa sicura e sostenibile rispetto alle fonti tradizionali.

## Evoluzione della domanda e dell'offerta di energia in Italia

Nel 2010 la domanda di energia primaria in Italia ha visto una crescita del 4,1% rispetto al 2009, trainata dalla seppur lieve ripresa economica (1,3%).

Si inverte il trend degli ultimi quattro anni, anche se i consumi del 2010 restano inferiori del 5% rispetto al 2005. Riguardo alle fonti si conferma la decrescita del ricorso al petrolio a vantaggio del gas e il significativo aumento delle fonti rinnovabili.

Nel 2010 il peso della fattura energetica del nostro Paese è stato pari a oltre 50 milioni di euro (+27,1% rispetto al 2009) e la sua incidenza sul valore nominale del PIL pari al 3,4%. Le più recenti stime dell'Unione Petrolifera relative al

2011 collocano la fattura energetica italiana su valori che oltrepassano i 60 miliardi di euro.

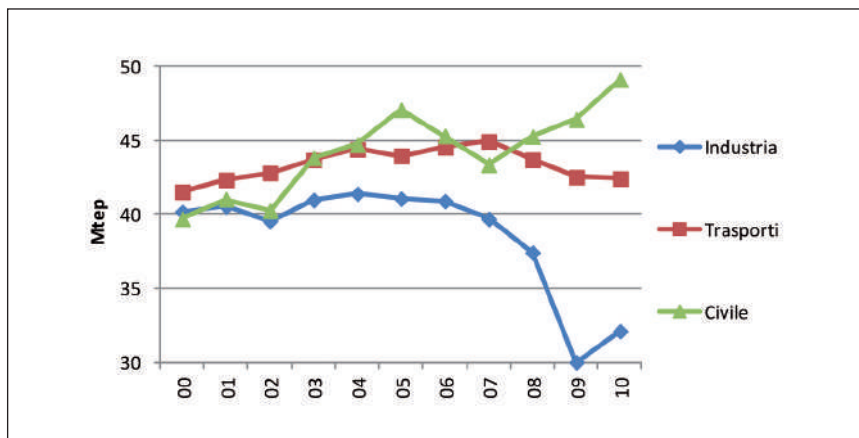
La ripartizione degli impieghi finali per settore evidenzia il peso crescente del settore civile (dal 30,3% del 2007 al 35,4% del 2010), mentre il settore industriale, la cui quota è in netto calo negli ultimi cinque anni (-5%), copre il 23,2% dei consumi finali.

Le politiche del governo italiano negli ultimi anni hanno continuato a perseguire gli obiettivi della sicurezza degli approvvigionamenti, della sostenibilità ambientale e della competitività attraverso il contenimento dei prezzi, nel più vasto contesto del nuovo quadro d'azione europea.

In particolare sono state adottate misure tese a completare il processo di liberalizzazione del settore elettrico e del gas, a promuovere l'efficienza energetica (Piano nazionale per l'efficienza energetica) e a sviluppare l'uso delle fonti rinnovabili (Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili), per consentire la necessaria diversificazione delle fonti energetiche.

### Gli scenari dell'ENEA per l'Italia

L'ENEA ha analizzato la possibile evoluzione del sistema energetico nazionale secondo tre scenari: **Riferimento** assume il quadro delle politiche e misure in vigore al dicembre 2009 e descrive l'evoluzione del sistema in linea con il trend attuale; **Politiche Correnti** descrive gli effetti delle politiche



**FIGURA 3** Impieghi finali di energia per settore – Anni 2000-2010  
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

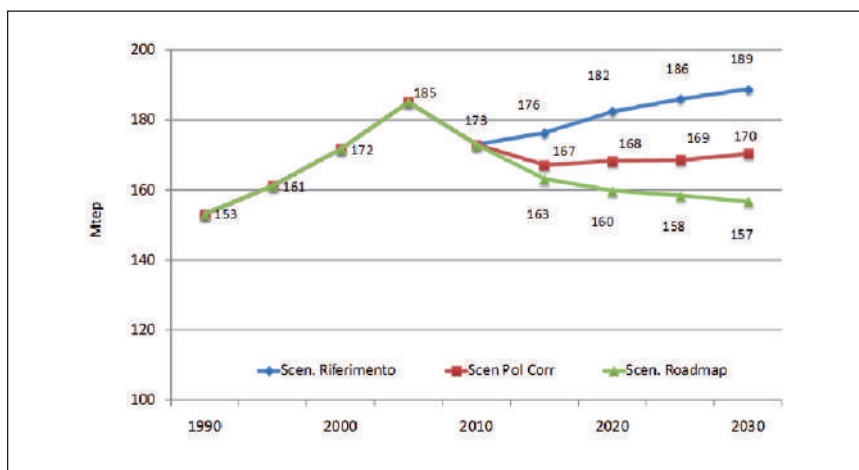
energetiche in atto; **Roadmap** indica lo sforzo aggiuntivo necessario per ridurre le emissioni serra in linea con la Roadmap 2050 dall'UE.

L'azione combinata di misure, politiche ed investimenti previsti già nello Scenario a Politiche Correnti determina una riduzione della domanda come effetto delle politi-

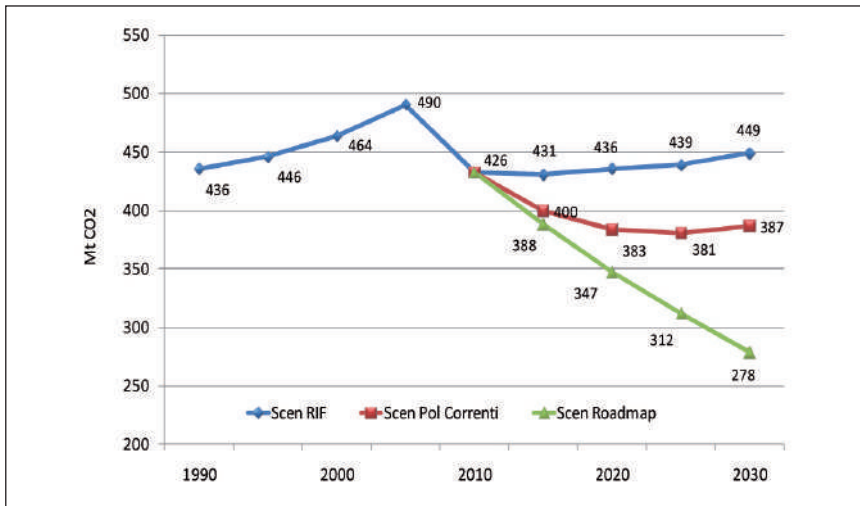
che di efficientamento e di un mix energetico più diversificato, con una conseguente riduzione delle emissioni serra.

Anche se per effetto della crisi economica, nel 2009 l'Italia si è notevolmente avvicinata al target di emissioni indicato dal Protocollo di Kyoto.

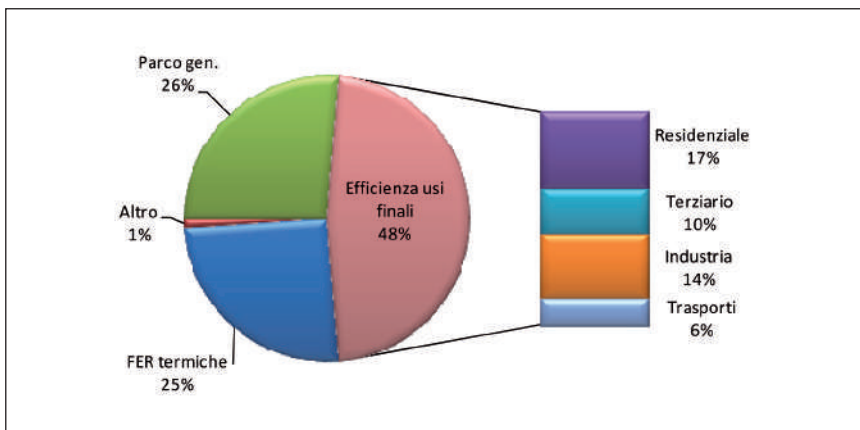
Lo **Scenario di Riferimento** mo-



**FIGURA 4** Evoluzione del fabbisogno di energia primaria (Mtep)  
Fonte: elaborazione ENEA su dati storici IEA



**FIGURA 5** Evoluzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> negli Scenari ENEA (Mt)  
Fonte: dati storici UNFCCC ed elaborazioni ENEA



**FIGURA 6** Ruolo dell'efficienza energetica nella riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nel 2020 nello Scenario Roadmap, rispetto allo Scenario di Riferimento per tipo di interventi (%)  
Fonte: elaborazione ENEA

stra come questa tendenza sia da considerarsi temporanea e che, in assenza di politiche e misure in grado di indurre cambiamenti di tipo strutturale nel sistema energetico, le emissioni riprendono ad aumentare già nel breve periodo. Lo **Scenario a Politiche Correnti**

presenta un'evoluzione più sostenibile, con un trend emissivo in decrescita per almeno i prossimi 15 anni, ma che non è comunque sufficiente a garantire uno sviluppo climaticamente sostenibile.

Lo **Scenario Roadmap**, che segue le stesse traiettorie di riduzione

delle emissioni dello scenario UE, ipotizza un abbattimento delle emissioni conseguibile con una accelerazione più spinta delle tecnologie per l'efficienza energetica per le rinnovabili e per la cattura e confinamento della CO<sub>2</sub>, sia nel settore elettrico che industriale.

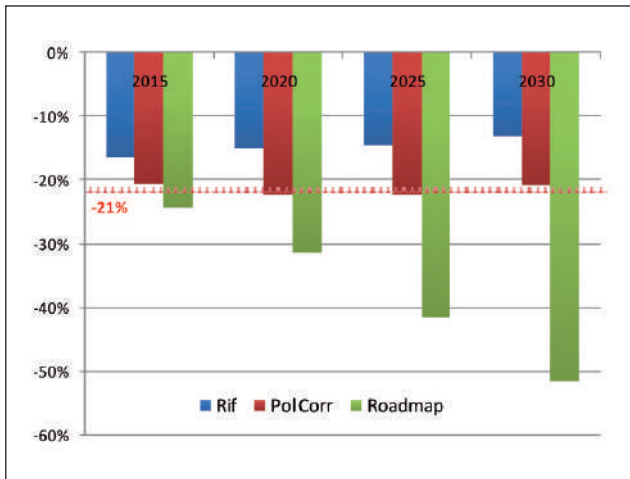
Nello Scenario Roadmap, quasi la metà della riduzione di CO<sub>2</sub> nel breve periodo proviene da interventi di efficienza energetica nei settori d'uso finale dell'energia.

Il settore Civile (che comprende Residenziale e Terziario) rappresenta, in particolare, il principale segmento di intervento, sia per il suo crescente peso nel totale dei consumi energetici, sia per la varietà di opzioni tecnologiche già oggi disponibili in tutti i servizi energetici richiesti nel settore (climatizzazione estiva ed invernale, illuminazione, elettrodomestici), sia per la vita media relativamente breve dei dispositivi.

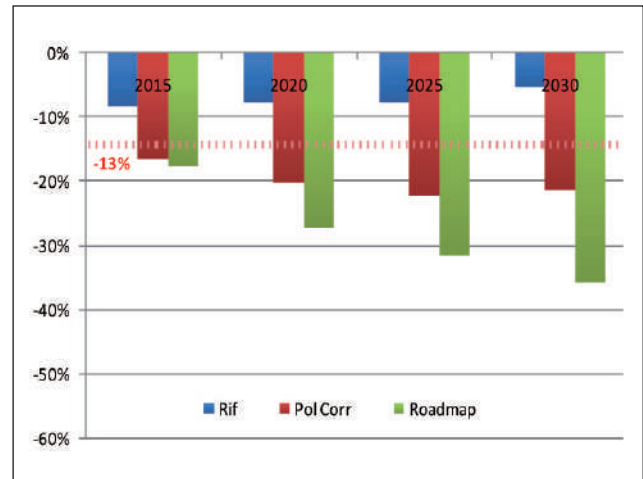
Nello *Scenario di Riferimento* la crescita delle emissioni non consente di perseguire gli obiettivi al 2020 sia nei settori ETS (per l'Italia -21% rispetto ai valori 2005) che nei settori non ETS (-13% rispetto ai valori 2005).

Nello *Scenario a Politiche Correnti*, l'azione congiunta delle misure per l'efficienza energetica e per la diffusione delle tecnologie per le fonti di energia rinnovabile permette di raggiungere gli impegni di riduzione delle emissioni.

Molto più impegnativo si presenta, invece, lo sforzo necessario per raggiungere gli obiettivi previsti nella traiettoria della Roadmap UE 2050 (Scenario Roadmap).



**FIGURA 7** Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto ai valori del 2005 nei settori ETS (%)  
Fonte: elaborazione ENEA



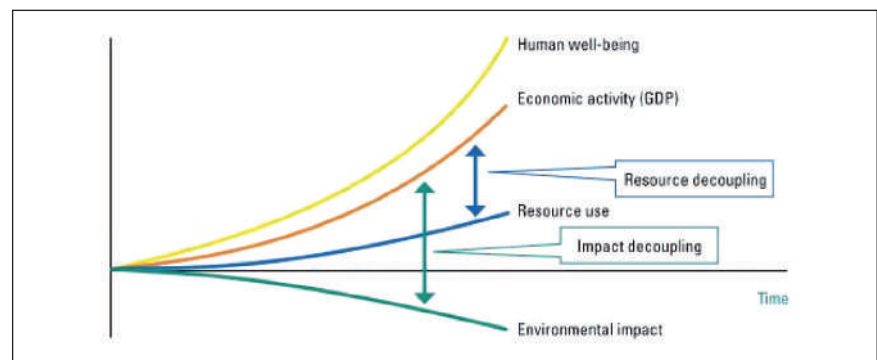
**FIGURA 8** Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto ai valori del 2005 nei settori non ETS (%)  
Fonte: elaborazione ENEA

### Green economy e low-carbon society nel percorso dello sviluppo sostenibile

Il concetto di sviluppo sostenibile è ritenuto il paradigma di riferimento per la definizione delle politiche dei singoli Stati e per la stipula degli accordi internazionali, sempre più rivolti al contenimento delle crisi globali (economica, finanziaria, climatica) in atto. In tale contesto la *green economy* è vista come un'opportunità per uscire dalla crisi economica internazionale superando i limiti dell'attuale modello di sviluppo. Essa, infatti, rappresenta il quadro coeso nell'ambito del quale predisporre interventi integrati per soddisfare l'obiettivo dello sviluppo sostenibile nella sua riconosciuta declinazione ambientale, economica e sociale. In tale percorso, la *low-carbon society* può essere considerata una tappa intermedia, nella quale anche i comportamenti degli attori economici possono

concorrere significativamente a ridurre sia l'impatto ambientale che il consumo delle risorse. Le decisioni in ambito energetico per la realizzazione degli obiettivi di sostenibilità rappresentano un aspetto centrale della *green economy*. L'energia, infatti, è alla base dell'economia globale e l'uso delle fonti fossili, peraltro in aumento con

la crescita delle economie emergenti, costituisce una delle cause di maggiore pressione ambientale. In quest'ottica è altresì importante considerare lo stretto legame tra energia, ambiente ed economia al fine di definire strategie che integrino costantemente questi tre aspetti nelle policies finalizzate allo sviluppo sostenibile, tendendo verso l'ideale di



**FIGURA 9** Trend ideale di disaccoppiamento tra uso delle risorse/impatto ambientale e crescita economica  
Fonte: UNEP (2011), "Decoupling Nature Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth"

massimo disaccoppiamento tra crescita economica e impatto ambientale e tra crescita economica e sfruttamento delle risorse (figura 9).

Nell'Unione Europea, dall'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto nel 2005 e grazie all'implementazione di politiche per la sostenibilità (pacchetto 20-20-20), si è registrata una crescente quota di energia prodotta da rinnovabili rispetto ai consumi finali lordi, contribuendo in maniera significativa alla riduzione dell'intensità carbonica e al disaccoppiamento tra la crescita economica e l'impatto ambientale. Nel 2010 tale quota è stata del 12,4% e corrisponde a più della metà dell'obiettivo stabilito per il 2020.

Nel corso del quinquennio 2005-2010 la produzione di energia da rinnovabili, nonostante la crisi internazionale, ha conosciuto uno sviluppo straordinario a livello mondiale. Gli investimenti mondiali in tecnologie per le rinnovabili, infatti, sono arrivati nel 2010 a 211 miliardi di dollari, pari a un incremento del 32% rispetto all'anno prima ed a

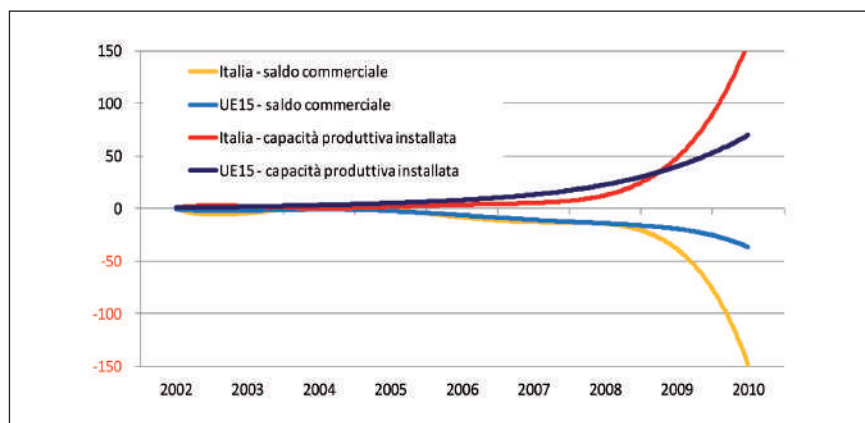
circa dieci volte il livello del 2004, anno nel quale è iniziato il boom.

Nello stesso quinquennio, le tecnologie per l'energia fotovoltaica ed eolica hanno registrato un tasso di incremento medio annuo degli scambi commerciali pari a circa 5 volte quello complessivo dei settori manifatturieri. Tuttavia negli ultimi anni il processo di adeguamento dell'offerta interna di tecnologie nell'UE, in particolare nel settore fotovoltaico, è risultato insufficiente a soddisfare una domanda che tra il 2005 e il 2010 si è più che decuplicata. Ciò ha causato un costante aumento delle importazioni in tutti i Paesi membri, seppur con differenze significative tra le singole economie, facendo sì che la quota delle importazioni nel 2010 arrivasse a coprire il 62% del totale mondiale del settore.

In tale contesto, la situazione italiana risulta particolarmente critica. Nonostante in Italia lo sviluppo delle rinnovabili abbia seguito tendenze simili a quelle registrate mediamente in Europa, inclusa la politica d'incentivazione, il nostro Paese

si è mostrato piuttosto deficitario nell'impegno in ricerca (pubblica) e nella capacità di stimolare e sostenere nuove filiere industriali. Nel fotovoltaico, l'andamento del deficit commerciale dell'Italia è stato caratterizzato dallo straordinario aumento delle importazioni, ed è risultato sempre più divergente da quello relativo alla media dell'UE15 (figura 10). Si è raggiunto, infatti, nel 2010 un deficit superiore a 11 miliardi di dollari correnti (circa quattro volte e mezzo il valore del 2009), di cui un quarto è da attribuirsi all'interscambio con la Germania.

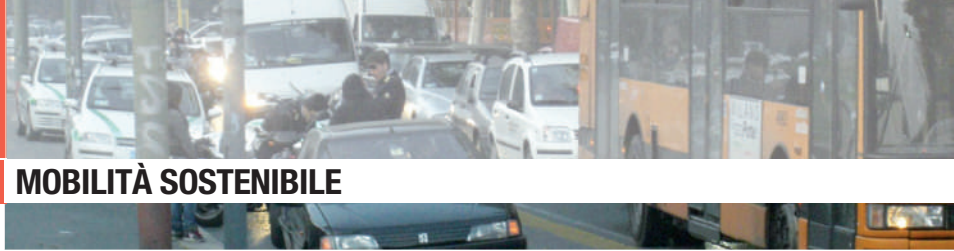
L'inasprirsi del vincolo estero, a seguito dell'aggravarsi delle situazioni di deficit commerciale, è limitativo per la capacità di crescita dell'economia e, di conseguenza, dell'occupazione al suo interno. L'Italia mostra ancora una significativa debolezza nelle condizioni che possono dar vita ad una autonomia energetica su base tecnologica (quale è quella legata all'uso di rinnovabili), e cioè gli investimenti pubblici in ricerca e una struttura tecnologicamente avanzata del proprio sistema industriale. Il perseguimento di una politica energetica di sviluppo delle rinnovabili in Italia dovrà perciò basarsi oltre che su una maggiore spesa pubblica in R&S anche su politiche industriali volte a orientare la specializzazione produttiva del Paese verso settori a maggiore intensità tecnologica, così come avvenuto nelle principali economie europee.



**FIGURA 10** L'Italia e il vincolo estero generato dallo sviluppo del fotovoltaico (indice 2002 = 0)  
Fonte: elaborazione dell'Osservatorio ENEA sulla Competitività Tecnologica dell'Italia su dati OECD-ITCS e EurObserv'ER

- note
1. FMI, World Economic Outlook, Aggiornamento gennaio 2012.
  2. Valori stimati da PBL (Netherlands Environmental Assessment Agency) e JRC (European Commission's Joint Research Centre).





# Nuove opportunità tecnologiche per la mobilità sostenibile

Per superare le criticità della mobilità urbana (congestione, inquinamento, incidenti, consumi energetici) occorre puntare sul potenziamento del trasporto pubblico e sull'innovazione tecnologica dei veicoli. I tempi di realizzazione, anche per problemi economici e infrastrutturali, sono però lunghi. Invece, già nel breve-medio periodo le tecnologie dell'informazione e delle telecomunicazioni possono dare un contributo significativo a una migliore gestione della mobilità pubblica e privata

■ Gabriella Messina, Gaetano Valenti, Maria Pia Valentini

## Quadro di riferimento

La mobilità urbana è senza dubbio un tema rilevante per qualsiasi politica di miglioramento della competitività delle città, dell'efficienza energetica e della qualità della vita degli abitanti.

L'attuale modello di mobilità, fortemente incentrato sull'utilizzo dell'auto privata, è causa di notevoli criticità con conseguenti costi sociali enormi in termini di inquinamento, incidentalità, consumo energetico, congestione della rete viaria, occupazione di suolo pubblico da parte delle autovetture.

Anche se la negativa congiuntura economica in atto e l'impennata del prezzo dei carburanti, hanno bloccato il trend pluridecennale di continuo e rapido aumento del traffico veicolare privato, le infrastrutture

viarie sono arrivate ad un livello di saturazione inaccettabile e il loro adeguamento risulta difficile non solo per questioni economiche, ma anche per mancanza di spazi. L'impossibilità di soddisfare le esigenze di mobilità solamente attraverso interventi infrastrutturali impone di ricercare approcci alternativi in grado di ottimizzare l'uso di tutte le modalità di trasporto e di organizzare una migliore complementarietà (co-modalità) dei diversi modi di trasporto collettivo e individuale.

Come dimostrato da alcune eccellenze estere, un maggiore ricorso al trasporto pubblico (TP) è senza dubbio la principale opzione disponibile per risolvere la criticità della mobilità urbana sia sotto il profilo energetico-ambientale sia per quanto riguarda il problema della congestione viaria. Tuttavia il ritardo nello sviluppo infrastrutturale e gestionale del settore in Italia e la contrazione delle risorse pubbliche a causa dei noti problemi di bilancio e di crescita economica

suggerisce, almeno nel breve-medio periodo, la ricerca di soluzioni diverse, sebbene meno radicali e definitive.

In situazioni come queste l'attenzione si rivolge, in particolare, alle opportunità offerte dal progresso tecnologico. Giusto in questi ultimi anni la ricerca sperimentale e industriale ha messo a disposizione della collettività due diverse tipologie di prodotti innovativi che rispondono proprio alle esigenze di contenimento degli impatti ambientali e sociali della mobilità urbana: una nuova generazione di veicoli elettrici (parzialmente o totalmente) in grado di competere sotto il profilo prestazionale con i veicoli convenzionali alimentati con combustibili fossili e una serie di sistemi basati sulle tecnologie dell'informazione e delle telecomunicazioni capaci di supportare le attività di gestione e controllo della mobilità privata e il servizio di trasporto pubblico – i cosiddetti Intelligent Transportation Systems (ITS).

■ Gabriella Messina, Gaetano Valenti,  
Maria Pia Valentini  
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

| Classe di sistemi   | Livello di impatto                       |  |                           |
|---|--|--|---------------------------|
|   | Basso                                    | Medio  | Alto                      |
| Sistemi per la navigazione e l'informazione in viaggio    | Navigatori I Generazione                 | Navigatori II e III Generazione                                    | Navigatori IV Generazione |
| Sistemi di controllo semaforico                           | Piani fissi coordinati                   | Selezione di piano   | Adattativi                |
| Sistemi di controllo traffico extraurbano/autostradale    | Informazione e indirizzamento collettivo | Section control/dynamic speed limit<br>Ramp metering               | Hard shoulder running     |
| Sistemi per la gestione di flotte pubbliche               |  | Bigliettazione elettronica integrata<br>Informazione utenza TPL    | Gestione flotte TPL       |
| Sistemi per influenzare il comportamento dei viaggiatori  |  | Eco-driving  |                           |
| Sistemi per la gestione della domanda privata             | Controllo accessi ZTL                    |  |                           |
|   | Electronic polling                       |  |                           |
|   | Pollution pricing                        |  |                           |
| Sistemi per la gestione di flotte merci e della logistica | Gestione flotte (merci pericolose)       | Gestione flotte (veicoli commerciali)<br>Gestione logistica urbana |                           |
| Enforcement   | Autovelox                                | Safety Tutor   |                           |

**TABELLA 1** Potenziale di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> dei principali sistemi ITS  
Fonte: elaborazione su dati TTS

Tralasciando il tema della mobilità elettrica, che merita un approfondimento a parte, in questo articolo ci si vuole concentrare sulle opportunità offerte dagli ITS.

Le esperienze finora condotte nei paesi dell'UE, negli USA ed in Giappone dimostrano che l'introduzione delle tecnologie ITS ha contribuito significativamente a migliorare l'efficienza, la sicurezza, l'impatto ambientale e la produttività complessiva del sistema di trasporto. La Commissione Europea ha valutato che le soluzioni ITS finora realizzate a livello europeo hanno consentito riduzioni dei tempi di percorrenza (15-20%), dei consumi energetici (12%) e delle emissioni di inquinanti (10%). Studi compiuti a livello internazionale stimano impatti ancora maggiori: riduzioni fino al 40% delle code, del 25% dei tempi totali di viaggio, del 10%

nei consumi di carburanti, del 22% nell'emissione di inquinanti.

In *tabella 1* si riporta l'elenco delle tipologie ITS ed un'indicazione quali-quantitativa della riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> ottenibile, per la quale sono state adottate le seguenti definizioni: impatto "basso" < 3%, impatto "medio" 3÷10%, impatto "alto" > 10%<sup>[1]</sup>.

### Prospettive e proposte innovative

Diversi sono oggi i supporti tecnologici che concorrono alla realizzazione degli ITS; essi vanno dalla telefonia cellulare alla localizzazione satellitare, dalla radiodiffusione e comunicazione a corto raggio ad Internet, dai sensori per il rilevamento del traffico e i processori di immagini ai dispositivi di pagamento elettronico, dai dispositivi

di regolazione, fino alle tecnologie di visualizzazione e alla cartografia digitale GIS.

Gli ITS possono avvalersi di un contesto sempre più favorevole al loro ulteriore sviluppo, grazie alla possibilità di disporre di dati sempre più attendibili e capillari sullo stato di funzionamento della rete stradale nonché di una conoscenza, continuamente aggiornata, dei comportamenti dell'utenza del sistema di trasporto. La ricerca sui sistemi di trasporto si sta sempre più orientando verso lo studio di strumenti e procedure in grado di elaborare i dati sulla mobilità provenienti dalle diverse fonti oggi disponibili (Data Fusion) così da supportare i decisori delle amministrazioni pubbliche e i gestori di infrastrutture e servizi di trasporto. Al contempo, i servizi di infomobilità assumono un ruolo fondamentale per orientare i

comportamenti degli utenti verso una maggiore sostenibilità della mobilità urbana.

Da un punto di vista architeturale, la nuova frontiera delle applicazioni ITS è rappresentata dai cosiddetti sistemi cooperativi per la trasmissione di dati e informazioni in tempo reale basati sulle comunicazioni da veicolo a veicolo, tra veicolo e infrastruttura. Questi sistemi offrono la possibilità di migliorare considerevolmente gli attuali processi di monitoraggio e controllo del traffico, nonché di assistenza alla guida con enormi benefici sull'efficienza complessiva dei sistemi di trasporto urbani, sulla sicurezza di tutti gli utenti della strada e sul comfort della guida.

In questo favorevole contesto di evoluzione tecnologica, la prospettiva delle *smart cities* rappresenta un'importante opportunità per la concreta applicazione integrata degli ITS per la mobilità sostenibile. L'enorme mole di dati in tempo reale sul traffico che verranno resi disponibili dalle tecnologie di monitoraggio e dalle reti di telecomunicazioni massicciamente presenti nelle "smart cities" consentiranno di svolgere una serie di funzioni a distanza, di scambiare dati ed informazioni fra i gestori e gli utenti dei servizi.

Ciò consentirà, fra l'altro, la stima puntuale dello stato del traffico e dei suoi impatti energetico-ambientali, l'identificazione automatica di situazioni critiche e la previsione a breve termine delle prestazioni del traffico sulle reti stradali. Inoltre, attraverso l'archiviazione e la storizzazione dei dati si disporrà di

una più approfondita conoscenza dei comportamenti della domanda e delle risposte del sistema dell'offerta, base imprescindibile per la messa a punto e la valutazione ex ante ed ex-post delle politiche e misure di medio e lungo termine. Nell'ambito del progetto PEGASUS (Progetto per la gestione della mobilità attraverso sistemi infotelematici per l'ambiente urbano, per la sicurezza dei passeggeri, veicoli e merci) del programma "Industria 2015", l'ENEA è attualmente impegnata su attività di ricerca finalizzate alla realizzazione di nuovi modelli e applicazioni software per la previsione sull'evoluzione del traffico a breve termine, per la valutazione delle prestazioni di guida dei conducenti in termini di efficienza energetica e per la stima georeferenziata dei consumi di carburante e delle emissioni inquinanti prodotte dai veicoli. L'aspetto innovativo delle applicazioni ENEA risiede nella possibilità di utilizza-

re dati GPS e di viaggio, trasmessi da una flotta di circa 900.000 veicoli privati sull'intero territorio nazionale monitorati dalla Octotelematics Srl.

### Gestione dinamica del traffico e monitoraggio dei consumi e delle emissioni

La conoscenza continua e completa dello stato del traffico e, in particolare, della sua evoluzione nell'immediato futuro, cioè con orizzonti di tempo da 15 a 60 minuti, è un presupposto fondamentale per il corretto ed efficace funzionamento dei sistemi di regolazione del traffico e dei servizi di infomobilità, finalizzati al pieno sfruttamento della capacità delle infrastrutture stradali disponibili, con una conseguente diminuzione dei tempi di viaggio, degli ingorghi, dei consumi energetici e aumento della sicurezza. Fondamentale è l'integrazione e la



**FIGURA 1** Un output grafico del modello ECOTRIP realizzato dall'ENEA

gestione in tempo reale di dati provenienti da diversi sistemi di monitoraggio distribuiti sul territorio: dati rilevati da una rete diffusa di sensori fissi di misura del traffico: comuni spire o sistemi innovativi posizionati sui pali per l'illuminazione stradale e/o degli impianti semaforici, dati provenienti da flotte di veicoli equipaggiati con unità di bordo.

Relativamente a questa ultima tecnologia, l'evoluzione dei sistemi telematici a bordo delle autovetture rende possibile, oltre al miglioramento degli attuali processi di gestione del traffico e lo sviluppo di nuovi ed avanzati servizi per il cittadino (es. infomobilità e teleassistenza), anche l'applicazione di metodologie di calcolo più sofisticate e accurate per la stima puntuale dei consumi e delle emissioni di inquinanti ambientali prodotte dai veicoli durante i loro spostamenti su strada.

I consumi e le emissioni possono, infatti, essere calcolati a partire dai dati reali dei percorsi effettuati e dalle effettive condizioni di marcia, in particolar modo, dal tipo di guida, dalle caratteristiche della strada e dalle condizioni della circolazione.

In tale ambito l'ENEA ha recentemente sviluppato un sistema software che, sulla base dei dati forniti da un campione di veicoli, equipaggiati con unità di bordo, stima consumi di carburante ed emissioni dei principali inquinanti. Tale sistema si configura come strumento di monitoraggio dell'impatto energetico-ambientale del traffico veicolare per le Amministrazioni pub-

bliche, gli Enti locali, ma può anche essere uno strumento operativo utile ai gestori di flotte aziendali per una gestione più efficiente del loro parco auto.

### Sistema innovativo di supporto alla pianificazione della mobilità sostenibile

Requisito principale del sistema, in progetto all'ENEA, è di consentire, attraverso un'infrastruttura tecnologica innovativa ed aperta, la condivisione e l'integrazione di dati ed informazioni resi disponibili da tutti i sistemi che a vario titolo monitorano parti del sistema globale della mobilità, pubblica e privata, compresi i sistemi di rilevamento della qualità dell'aria.

Il sistema elabora ed aggiorna i dati per il calcolo di una serie di indicatori di sostenibilità che costituisce lo strumento diagnostico sulla base del quale il processo di pianificazione identifica obiettivi e target quantitativi, e verifica progressivamente l'efficacia delle strategie e delle linee d'azione attivate per conseguire gli obiettivi di sostenibilità.

La serie di indicatori di sostenibilità copre le tre macrocategorie: economica, sociale e ambientale.

La sostenibilità economica si misura attraverso la riduzione dei fenomeni di congestione e dei costi operativi dei veicoli pubblici e privati, delle infrastrutture, dei servizi per il traffico ecc. La sostenibilità sociale si valuta con un aumento dell'accessibilità e del diritto alla mobilità per tutti, con una maggio-

re sicurezza del trasporto e della circolazione stradale. Infine, una maggiore sostenibilità ambientale si ottiene dall'abbattimento delle emissioni e dei rumori, del consumo di materie prime e di risorse attraverso una maggiore efficienza energetica.

L'insieme di tali indicatori può essere vista come strumento sia per identificare e analizzare in modo sistematico i cambiamenti, le tendenze e i problemi prioritari di una determinata realtà territoriale sia per permettere la comparazione tra realtà diverse, fornendo punti di riferimento per comprendere meglio la propria situazione e sollecitando una competizione virtuosa tra le diverse comunità locali.

In quest'ottica, ogni cittadino può farsi un'idea dell'efficacia delle politiche messe in campo dalle sue istituzioni; ogni Ente locale può valutare gli effetti delle misure messe in atto e confrontare i risultati che ha raggiunto con quelli degli altri Enti locali; ogni struttura di ricerca può condurre valutazioni e studi indipendenti.

Infine, i dati raccolti e processati dal sistema possono essere di estrema utilità per i modelli di simulazione del traffico che sono oggi strumenti insostituibili per elaborare, valutare e gestire scenari di mobilità sempre più complessi. ●

#### biblio

- [1] TTS Italia (2010), "L'Impatto degli ITS per la riduzione della CO<sub>2</sub>"
- [2] G. Valenti, S. Mitrovich (2009), "Tecnologie ITS per i Sistemi di Trasporto"

# Doing science in dire straits: the role of internationalization to boost R&D

This paper gives a view on the future research plans and funding opportunities between Europe, Japan, and Italy, as a member State of the Union, but also as a country with a strong tradition of bilateral collaborations with Japan. The policies chosen to support research and technological innovation are discussed in the light of the global economical crisis and the natural events of the earthquake and tsunami that struck Japan in 2011. The policy decisions taken in Japan and Italy, as well as the future research program of the EU, show evidence that investing in research is broadly considered a priority. Yet, there are many uncertainties to the future implementation of research programs in a period of economic crisis and strategic uncertainties for dramatically important issues, such as, e.g., the energy sources, that may eventually result in a conservative approach, rather than in investing in long-term initiatives as research. The paper concludes with some considerations on the importance of the internationalization, to manage the way out of the crisis and achieve research and technological development

■ *Domenico De Martinis, Chiara Clementel, Marina Leonardi*

**R**esearch and technological development (R&D) are essential factors to pursue in any country worldwide, either for a developing country that needs to improve the know-how of the population and create new tools for industry and market growth, or for the highly developed ones that need to maintain international competitiveness and are facing the

challenge of sustainability. Even countries and areas traditionally benefiting from natural sources for their wealth are in the modern age recognizing the importance of having a strong scientific and technological background. Developing “giants” such as the so called BRICS countries (Brazil, Russia, India, China, South Africa) do not only have an important academic tradition, but are strongly boosting their research capabilities, leading in some cases to the so called “displacement effect”, as produced by the exponential increase of China and other scientifically emerging

countries such as India and Brazil on the main European producers<sup>1</sup>, namely Germany, France and UK. The derived innovation resulting from the research effort is therefore broadly considered essential to guarantee, or improve the quality of life, increase security of sources (e.g., energy, food), achieve sustainability, and ensure education and employment of the populations. *There is no governance or policy program that would deny the importance of R&D, yet when it goes to (public) funding and (national) budget allocation, practice may prove to be different from theory.*

■ **Domenico De Martinis**  
ENEA, Technical Unit for Nuclear Fusion  
■ **Chiara Clementel, Marina Leonardi**  
ENEA, Relations Central Unit,  
International Relations Service

Usually R&D implies long-term planning of resources and harvesting of results, and the deriving innovation and technological transfer to industry may lag behind. Therefore, although the results generated are not only long-term but may produce spillovers with short- and medium-term effects on industrial innovation, when it comes to budget allocation, the potential risks of investing in research are often prevailing the potential benefits. This is especially happening in those years of economic crisis; high expectations for the creation of a green economy and the investment expected to be done worldwide – e.g., in the innovative creation of smart grids and the smooth conversion to the use of renewable energies – has been hampered not only by the lack of funding but also by the political uncertainties in oil-producing countries (the “Arab Spring”), and also in the strong emotional impact of the Fukushima Daiichi nuclear disaster following the Tōhoku earthquake and tsunami on 11<sup>th</sup> March 2011.

As a consequence, when it comes to a situation of emergency and uncertainties, like it happened especially in 2011, policy chooses to redirect sources to safe investments and solid technologies, putting aside long-term planning.

It is within this background scenario that we consulted in a dialogue Italian and Japanese scientific institutions together with the Italian Ministry of Foreign Affairs and the European Commission delegation in Japan, to discuss existing scien-

tific collaborations between Italy/Europe and Japan, and compare ideas and sources for future challenges.

The dialogue enabled an analysis of different disciplines (energy, earthquake engineering, new materials, ICT, cultural heritage, life sciences) and of the approaches to science funding proper to Italy and Japan.

### The bilateral Japan-Italy Science & Technology: state of the art

Italy and Japan established a strong and high level of collaboration over the years. As a matter of fact, Italy has a science and technology agreement with Japan dating back to 1988, and the 10<sup>th</sup> Executive Program was signed in Tokyo on March 29<sup>th</sup> 2010<sup>2</sup>. The Italian Ministry of Foreign Affairs (MAE) assigned 16 mobility grants and 27 relevant scientific projects in 2010-2011.

The Italian National Research Council (CNR), one of the major Italian stakeholder in R&D, has a collaboration with the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), established in 2007, and the scientific output from this collaboration can be “weighted” in 14.400 peer reviewed joint publications and 1780 joint patents.

ENEA is an important partner in science with Japan too, being recipient of grants, e.g., in the area of biotechnologies<sup>3</sup>, renewable<sup>4</sup> and nuclear energies; within the framework of the EURATOM fusion program agreement, the European

Union and Japan launched an R&D program, called Broader Approach (BA)<sup>5</sup>, to sustain and complement the international effort to build the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER). Italy contribution to the EU Fusion programs and to the BA is coordinated by ENEA, also committed to the design, manufacture and testing of components for the superconducting tokamak JT-60SA that will be built in Naka, Japan<sup>6</sup>.

Taken together, these facts and figures indicate that on the Italian side research and the related grants with Japan are still supported despite the economic crisis and the political uncertainties mentioned above. This is resulting in knowledge and innovation on a short-, medium-term period (publications-patents) and long-term period (the broader approach). Notably, in a scenario of shrinking research financing, the commitment of MAE in the science and technology executive programs is forward-looking.

### The Japanese Science & Technology Plan

In Japan, several funding agencies are under the ministries. The Japan Science and Technology agency (JST, [www.jst.go.jp](http://www.jst.go.jp)) and the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS, <http://www.jsps.go.jp>) are under the same umbrella of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). Both are sister funding agencies for basic research under the same ministry, but their objective and

methodology of grant are totally different. In fact, while JSPS takes a “bottom-up approach” which promotes basic research depending on the freedom and originality of researchers, JST takes a “top-down approach”, which pursues the goals and targets strategically set by the government. JSPS promotes various fields from humanities and social sciences to natural sciences and fellowship programs as well, while JST covers a more concentrated research area, basically natural sciences and engineering.

JST expenditures estimated for 2011 accounted for \$ 1.383,7 million USD (roughly 1,1 billion euros), mainly devoted to the creation of advanced technology (51%) but also promotion of dissemination, communication and technological transfer, as well as international

cooperation. This is a fair amount for a single country, if we consider that the EU is allocating for the seven-year-long framework program 7(FP7)<sup>7</sup>, approximately € 50,5 billion, an average of € 7 billion per year to be competitively shared among the 27 States of the Union. It is interesting to note that the budget JST allocated to International cooperation increased almost 40 times in the last 8 years, *i.e.*, from \$ 3,36 million to approximately \$ 38 million USD.

*Besides the budget allocation, it is the policy of research that demonstrates an extraordinary dynamism in Japan's society.* In 2011, the Japanese government approved a plan that shows its intention to focus on firstly reconstruction and revival from disaster, and promoting “green innovation” and “life innova-

tion” (see table 1 for details). Moreover, the Japanese government did set a target to increase the R&D investment to over 4% of GDP. In 2009, the Japanese investment was already 3.62% of GDP, nearly 80% of it coming from the private sector<sup>9</sup>. In the EU27, in 2007 the same indicator resulted to be 1,85% and 40%, respectively<sup>10</sup>.

This financial effort is implemented by providing appropriate tools to exploit the investments. JSPS outlook from 2011 is to reform grants in the aid system, by making them easier to use, increasing opportunities for young scientists, strengthening research, and pioneering new research domains<sup>11</sup>. Very innovative is the highly flexible grant usage that would enable a research group to shift funding to new unanticipated findings, accelerating

#### BASIC POLICY

Japan will strategically promote S&T innovation aiming at rebuilding after the earthquake, achieving renewal, and sustainable growth and societal development into the future

#### RECONSTRUCTION AND REVIVAL FROM THE DISASTER

- i) Rebuilding and revival of industries in affected areas
- ii) Restoration and renewal of social infrastructure
- iii) Realization of safe living environments in affected areas

#### PROMOTING GREEN INNOVATION

- i) Realization of a stable energy supply and low-carbon energy sources
- ii) Realization of more efficient and smarter energy use
- iii) Development of low-carbon social infrastructure

#### PROMOTING LIFE INNOVATION

- i) Development of revolutionary methods of prevention
- ii) Development of new early diagnostic methods
- iii) Realization of safe and highly effective medical treatment
- iv) Improvements of Quality of life (QOL) for the sick, elderly and disabled

**TABLE 1** Key topics of reconstruction, Green Innovation and Life Innovation as defined by the Japanese Government. These topics will be promoted strategically and strongly in Japan in coming 5 years.

towards research lines of interest and leaving those that are likely to be closed-end. This is expectedly an approach that would vitalize research activity and, most important in this historical moment, would enable a more efficient and effective use of limited research budget. Research policy also considers the internationalization of Japanese research; starting in 2012, two new “core-to-core” programs will be implemented to create world-class research hubs and fostering new generations of new scientists. The programs, providing co-funding from the non-Japanese counterpart, are dedicated to internationally advanced research networks and the creation of an Asian and African science platform, respectively. JSPS also implements a “Strategic Young Researcher Overseas Visits Program for Accelerating Brain Circulation”. Such program seeks to advance science in Japan and vitalize international brain circulation by supporting overseas visits for young researchers to be engaged in international joint research initiatives. The scientist flow between Japan and Italy has been constant in the last five years, with an exchange of 490 Italians to Japan and 415 Japanese to Italy, that is 98 person/year to Japan and 83 in the opposite direction. This is a small number compared to the rest of Europe, as in the same time window 6,786 scientists from the EU27 moved to Japan and 8,197 in the opposite direction. That means that the average flow in other EU27 countries is much higher, presumably to the most technological and

industrialized ones, but even when the person/year is averaged over all member States.

### The bilateral Japan-EU S&T collaboration perspectives

Since the beginning of its research-dedicated “Framework Programme” (FP), the European Union has been fostering innovation, has created opportunities for young scientists and supported international collaboration. The FP budget has been increasing constantly up to € 7 billion per year of the ongoing one (FP7). Program activities have been extended in new scientific domains and different types of grants have been utilized, both for consortia and individual research proposals. The EU did achieve important collaborations with Japan; one example is the EU-Japan Broader Approach (BA) already mentioned. Moreover, on March 2011, in the middle of the “Fukushima crisis”, the EU-Japan science and technology (S&T) agreement<sup>12</sup> entered into force. With that S&T agreement, EU and Japan express their wish to collaborate more effectively in the field of Science and Technology. The implementation of this agreement will result in new fields of collaboration, co-funded by EU and Japan; energy research (photovoltaic), aeronautics, materials (rare earths, superconductivity), ICT, healthy aging are in the pipeline.

### Conclusions

From the initiatives and programs described, it appears that the po-

tential and the political will for scientific collaboration between Japan and Italy is significant, even in a period of economic crisis and strategic uncertainties for the dramatically important issue of energy sources; *the crisis at Fukushima had effects not only on Japan's overall energy policy, but affected the governments energy choices globally*<sup>13,14</sup>. Moreover, the umbrella of the EU research framework program allows to go beyond bilateral collaborations and achieve significant R&D in harmony with all member States, enabling a better bridging with Japan. Achieving International cooperation in Science and Technologies is of the utmost importance, as not only does it save funds but, by merging sources, it accelerates the creation of foresight technologies, influences global standardisation and prepares for more robust and efficient industrial alliances to the benefit of the end users, the citizens. Yet, despite these encouraging perspectives, the difficult situation cannot be ignored or underestimated: budget cuts in most of the EU member States made the grant program of the second half of the FP7 the most attractive source of funding for many research groups, with the consequence that even the large budget dedicated by the EU now appears undersized for the needs of the scientific community. *Co-funding and sharing resources appear to be a good solution to continue research and guarantee human resources flow and creation of a future generation of scientists, but the budget availability to these ac-*





tivities is dramatically decreasing worldwide in the last few years. In the forthcoming EU program HORIZON 2020<sup>15</sup> the budget still increases, reaching the outstanding figure of € 80 billion, but this program, dedicated to research and innovation, should not be considered the only source of financing for the EU member States, that should put their national programs side by side to harmonize and complement the EU policy. Entire industrial sectors worldwide must often manage and survive economic crises maintaining

international competitiveness and, at the same time, facing the challenge of sustainability. *Recent cases in Asia, Eastern Europe, and South America offer examples of best practices*, as economic weaknesses are afforded by means of organizational capabilities that may help firms to manage their way out of the incumbent crises. Research and innovation (both system and process innovation) should play an important, but not exclusive role. Some authors<sup>16</sup> affirm that market orientation has an adverse effect, in contrast,

strategic flexibility has a positive influence on firm performance after a crisis, which is enhanced by competitive intensity. Market orientation, strategic flexibility and RTDI (Research, Technological Development and Innovation) complement each other in their efficacy to help firms manage varying environmental conditions, which is a common problem for Italy and Japan economies in this very difficult opening 2012. From bilateral and multilateral cooperation and common efforts, some possible solutions might arise. ●

**Acknowledgments**

The authors wish to thank all those that contributed to the paper by providing their opinion and perspectives: Sumiko Osugi, scientific attaché of the Japanese Embassy in Italy; Alberto Mengoni, scientific attaché of the Italian Embassy in Japan; Barbara Rhode, head of the Science and Technology Section of the EU delegation in Japan, Isabella Mazzioti Di Celso, Directorate General for Country promotion-Economy, Culture, Science - Italian Ministry of Foreign Affairs; Lucilla Alagna; Italian National Research Council; Hisaki Kato, International Program Department, Japan Society for the Promotion of Science (JSPS); Geng Tu, Japan Science and Technology Agency (JST)

**References**

1. Daraio, C., Moed, H.F., (2011) "Is Italian science declining?". *Research Policy*, 40 (10), 1380-1392
2. Japanese International Cooperation on Science and Technology <http://www.mofa.go.jp/policy/other/bluebook/1988/1988-2-4.htm>
3. Life sciences - progetto MAE di grande rilevanza per il triennio 2010-2013: "Sfide globali per la salute. *Biofarmaceutici da pianta*" Bilaterale Italia-Giappone
4. NGCPV: A new generation of concentrator photovoltaic cells, modules and systems. Joint Technology Development Project EU-Japan, (<http://www.ngcpv.org>)
5. Euratom Nuclear Research – Fusion. The Broader Approach. [http://ec.europa.eu/research/energy/euratom/fusion/coop/broader/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/euratom/fusion/coop/broader/index_en.htm)
6. Cocoluto, G., Cucchiario, A. "A broader approach on the thermonuclear fusion development path". <http://www.enea.it/it/internazionali/enea-in-japan-2011/energy/cocoluto.pdf>
7. 7th Framework Programme of the European Union. [http://ec.europa.eu/research/fp7/understanding/fp7inbrief/structure\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/fp7/understanding/fp7inbrief/structure_en.html)
8. The 4th Japanese Science and Technology Basic Plan is available at: <http://www8.cao.go.jp/cstp/english/index.html>
9. The Survey of Research and Development by Statistics Bureau, MIC(Ministry of Internal Affairs and Communications). [http://www.stat.go.jp/data/kagaku/2010/pdf/22ke\\_gai.pdf](http://www.stat.go.jp/data/kagaku/2010/pdf/22ke_gai.pdf) (Japanese only)
10. EUROSTAT newsrelease: "R&D expenditure in the EU27 stable at 1.85% of GDP in 2007". [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_PUBLIC/9-08092009-AP/EN/9-08092009-AP-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/9-08092009-AP/EN/9-08092009-AP-EN.PDF)
11. The Japan Society for the Promotion of Science outline: <http://www.jsps.go.jp/english/e-zunoujuncan2/outline.html>
12. On the EU-Japan S&T agreement signed on November 2009: [http://www.deljpn.ec.europa.eu/modules/media/news/2011/110427.html?ml\\_lang=en](http://www.deljpn.ec.europa.eu/modules/media/news/2011/110427.html?ml_lang=en)
13. The New York Times special on Nuclear Energy: <http://topics.nytimes.com/top/news/business/energy-environment/atomic-energy/index.html?scp=1-spot&sq=nuclear&st=cse>
14. BBC news Nuclear Power: a Country Guide: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4713398.stm>
15. On the incoming research and technology programme of the European Union "Horizon 2020": [http://ec.europa.eu/research/horizon2020/pdf/press/horizon\\_2020\\_budget\\_constant\\_2011.pdf](http://ec.europa.eu/research/horizon2020/pdf/press/horizon_2020_budget_constant_2011.pdf)
16. Rajdeep G., Patriya T., (2001). "Building Organizational Capabilities for Managing Economic Crisis: The Role of Market Orientation and Strategic Flexibility" *The Journal of Marketing*, Vol. 65, No. 2, pp. 67-80

# The renewable energy industry in Germany

A glance at industry promotion policies in selected energy sectors

■ Thomas Grigoleit, Daniel Lenkeit

## Germany's renewable energy policy

The central theme of Germany's energy policy embraces three goals: security of supply, economic efficiency and environmental and climate friendly energy. Germany also supports an energy concept that focuses on a structural change in the energy supply. It is a long-term energy strategy from now until 2050 with ambitious goals to address the challenge of sustainable energy provision. In order to achieve the envisioned change, German legislation has placed a focus on increasing the use of renewable energies and improving energy efficiency. Europe's largest economy also signed a climate package with eager goals to cut emissions and expand renewable energies by 2020. Taking priority, is an 80 to 95 percent reduction of greenhouse gas emission levels (compared to 1990 levels) and an 80 percent renewable energy share of the power mix, of which a large part will be wind generated (including on- and off-shore production). With an impressive 20 percent renewable energy power mix share today, Germany is already well on the way to meeting the 2020 target of a 35 percent renewable energy share. A central piece of Germany's energy legislation is the *Renewable Energy Sources Act (EEG)* which was first created in 2000. The EEG has been tremendously successful in widely expanding the integration of renewable energies into Germany's energy mix, all the while strengthening the country's global leadership in the market of eco-friendly technologies.

### How the EEG works

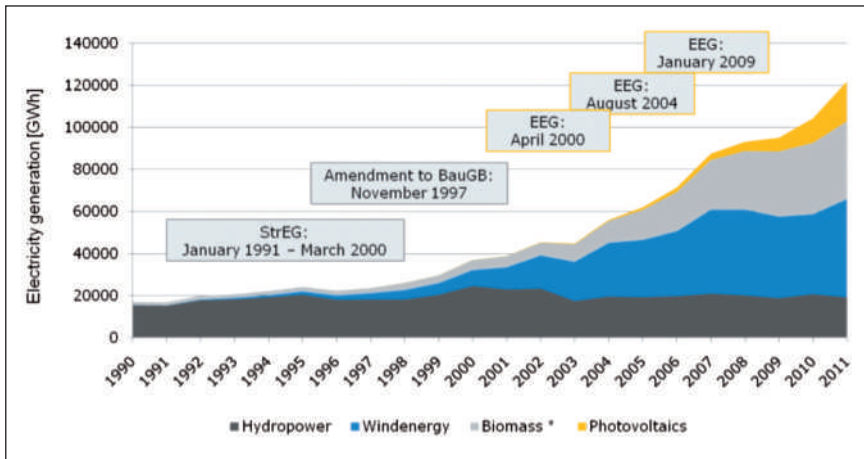
The legislation requires grid operators to purchase a certain amount of electric power from renewable

energy sources first before they feed in electric power generated from non-renewable sources. Hence, investments in renewable energy projects are protected through the guaranteed feed-in tariff (fixed for 20 years), while at the same time periodically decreasing tariffs (through a yearly degression) require plant builders to systematically innovate and reduce costs. The ensured favorable return on investment creates a high installation volume, pushing the market for green technologies and innovation further. A non-bureaucratic initiating process as well as a transparent administration helps to make the EEG highly efficient.

Among other initiatives to promote the use of renewable energies in Germany was the adoption of the *Biofuels Quota Act* in 2006 and the *Renewable Energy Heat Act (EEWärmeG)* in 2009. Heating takes up more than half of Germany's energy consumption and the percentage of heat produced by renewable energies is still in the single digits. The goal of the *Renewable Energy Heat Act* is to increase this percentage to 14 by 2020. The legislation requires the integration of heat production from renewable sources in new construction or cogeneration and as a consequence, using energy efficiency measures as substitutes.

With Germany's energy concept and policies, particularly the EEG, the country creates attractive in-

■ Thomas Grigoleit, Daniel Lenkeit  
Germany Trade and Invest



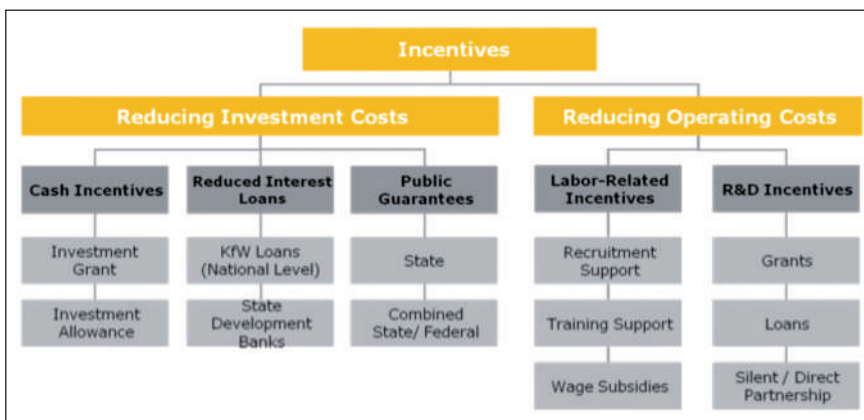
**FIGURE 1** Development of power generation from renewable energy sources in Germany 1990-2011  
 \*Solid, liquid, gaseous biomass, biogenic share of waste, landfill and sewage gas.  
 Source: BMU-KI III 1 according to Working Group on Renewable Energies-Statistics (AGEE-Stat)

vestment opportunities and markets for green technologies. As a result, Germany is the world leader in renewable energies, moving towards a nearly 18 percent renewable energy share of total energy consumption by 2020 and 60 percent by 2050. Currently, 20 percent of electric power consumption is provided by renewable energies, a market with an overall turnover of more than EUR 25 billion. Moreover, nearly the same amount has been invested in renewable energy plants.

Remaining challenges are the integration of electricity, generated by decentralized green energy plants, into the power grid as well as the issue of energy storage. Efficient storage technologies play a pivotal role in a sustainable energy supply based on re-

wable energies. A number of studies forecast a significant renewable energy surplus from 2025 onward. Harnessing this renewable energy surplus allows seasonally adjusted wind and solar energy lulls to be addressed.

With regard to Germany's renewable energy market, the long-term objectives are: pushing ahead on the expansion of renewable energies, improving cost efficiency, driving market-, grid- and system integration and preserving the basic principles of the EEG (feed-in compensation and priority feed-in). The target path has already been laid out and the goal of having a 35 percent share of renewable energies for electric power consumption by 2020 (2030=50%; 2040=65%; 2050=80%) seems highly achievable.



**FIGURE 2** Types of incentives in Germany

### Investment promotion policy

Germany offers different incentive packages to reimburse the expenditures of investment projects. For instance, Greenfield investment projects are supported via different channels (figure 2).

In the field of renewable energy, innovation plays a critical role to constantly improve present technology. In Germany especially, with the EEG promoting the expansion of renewable energies while aspiring to achieve lower costs and a growing share of the total energy market, innovation has to be a force behind the success of the market. Consequently, research and development (R&D) programs are vital for many companies involved in the green technology sector.

Germany provides a range of R&D incentives at the national level. From all R&D funding schemes, programs with technological focus play the most important role. The annual grant volume measures approximately EUR 4 billion. The rate of grants given is in the range of 50 percent of total project costs but can be even higher when SME's are involved or cooperative projects are planned.

Also, the German government's High-Tech Strategy 2020 offers generous grants for R&D projects in different sectors. Among the five lead markets, Climate and Energy takes a prime position. Additionally, on a regional level, R&D incentives exist in various forms and sizes in each of the 16 federal states. For more detailed and hands on information (such as a project checklist regarding incentives availability, etc.), Germany Trade and Invest provides investor support services and information about investment opportunities.

### Germany's wind and photovoltaic industries – markets & industrial promotion

#### Photovoltaic

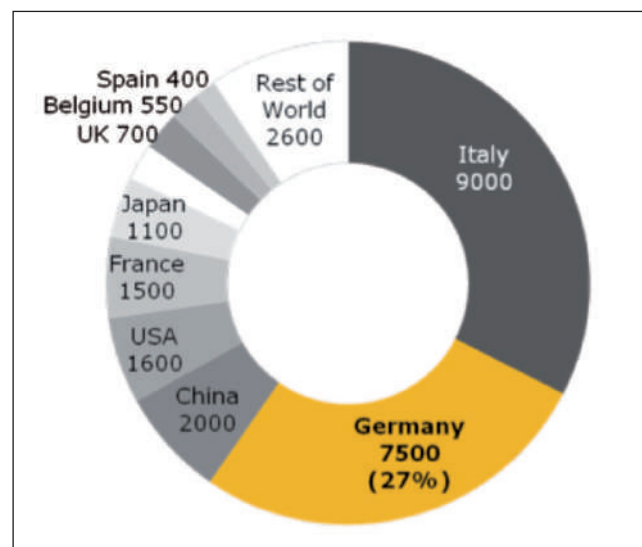
Germany and Italy are the world's largest photovoltaic (PV) markets and Europe, accounting for 74 percent of the global market. In total capacity, Germany is the global leader with close to 25 GW installed.

Annual PV installations [MWp] in Europe will greatly

exceed other markets for years to come and the German market is predicted to dominate. An important milestone for the German PV Market was reaching Grid-Parity (with domestic consumer prices) in 2011, prompting the Federal Ministry for Environment (BMU) to express their hope that PV can develop within a few years from the most expensive- to one of the cheapest types of power generation from renewable energies.

In addition to the industry promotion through the EEG, the powerful R&D scene of Germany also guarantees that its PV industry attains a key position in the world. There are more than 50 state-of-the-art research institutes as well as university faculties researching PVs. Collaborating with first-class PV research ensures a sustainable edge for many companies producing in Germany. According to EuPD research, more than EUR 300 million was invested in PV R&D by the industry in 2010 and the German Patent and Trademark Office registered 290 German patents in solar technologies in 2010 alone.

The cluster effect adds to the strong dynamics of the German PV market as well. Of course, a close proximity to leading PV equipment companies accelerates not only production ramp-up but also access to PV



**FIGURE 3** New photovoltaic installations 2011 (in MWp)  
Source: EPIA, 2012

### About Germany Trade and Invest

Germany Trade & Invest (GTAI) is the foreign trade and inward investment agency of the Federal Republic of Germany. The organization advises foreign companies looking to expand their business activities in the German market. It provides information on foreign trade to German companies that seek to enter into foreign markets. All inquiries relating to Germany as a business and investment location are treated confidentially. All investment services are available at no charge.

GTAI's areas of activity for companies abroad (foreign investors) include:

- Identification of attractive markets and companies
- Economic framework in Germany
- Site specific information
- Industry specific information
- Direct contact with potential investors abroad
- Investor consultancy services
- Project management support



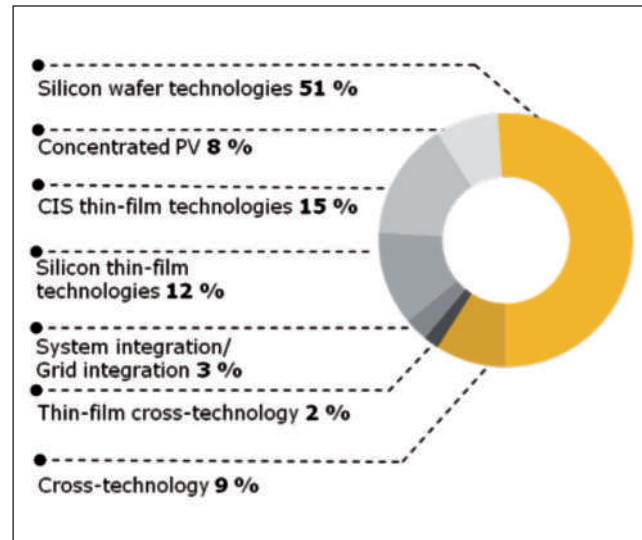
Thomas Grigoleit – Director Renewable Energies & Resources  
thomas.grigoleit@gtai.com

Daniel Lenkeit – Manager Market Intelligence Germany  
daniel.lenkeit@gtai.com

know-how. Germany hosts the world's largest PV cluster for companies in wafer-based technologies and companies in thin-film and other technologies. Industry networks like Solar Valley Mitteldeutschland, Berlin Solar Network, Silicon Saxony, Organic Electronics Saxony, and Forum Organic-Electronics help bundle shared interests and strengths.

Making sure to further evolve the PV industry, Germany offers strong R&D incentives. The Federal Ministry of Education and Research (BMBF) as well as the BMU are aiding Photovoltaic R&D projects through funding. On a regional level there is a diverse array of incentive programs adding to a strong investment environment.

As for the specific promotion of innovation areas, the BMU funding spreads as showed in figure 4.



**FIGURE 4** Photovoltaic: innovation areas funded by Federal Ministry for Environment (BMU)  
Source: BMU 2011

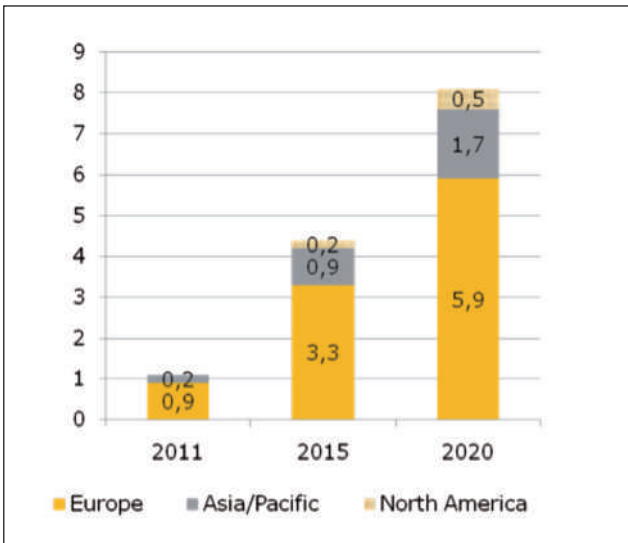
### Wind

Germany's wind energy market amounts to 30 percent of Europe's installed capacity (12 percent of global capacity), making it the prime wind energy market on the continent. By the end of 2011, total installed capacity accounted for more than 29 GW. According to the German Wind Energy Association (BWE), it could reach 55 GW by as early as 2020. With 40 percent of all renewable energy sources, wind is already the dominant driver of renewable electric power generation and will be the motor for future growth.

The major part of the installed capacity is located onshore, whereas future expansion is expected to be driven strongly by offshore wind energy. Europe is and will remain the most important offshore market in the future with many projects in the northern part of the country and the Baltic Sea (figure 5).

Germany is leading the current offshore wind project pipeline with around 8.5 GW of approved projects (figure 6).

Business opportunities and advantages in the German wind energy market are plentiful. This is partly because the German government is highly committed to wind energy. Further growth is promised through



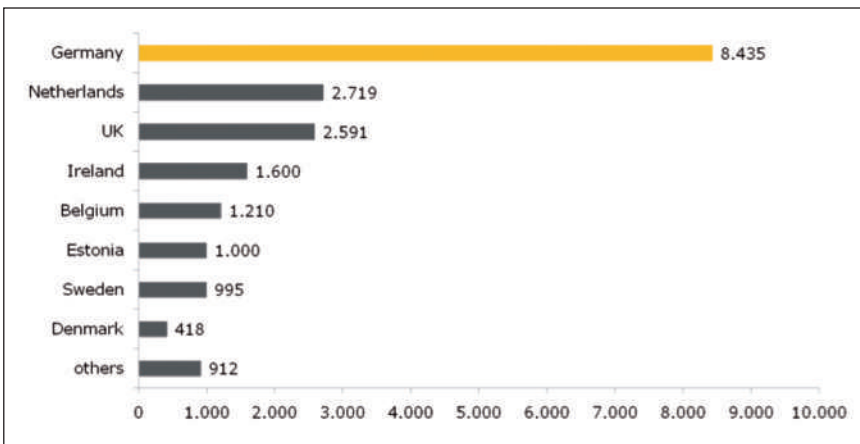
**FIGURE 5** Estimate of yearly installed offshore wind capacity (in GW)  
 Source: Roland Berger 2011: wind Turbine Manufacturing – a case for consolidation

massive investment in offshore and repowering. The so-called “Repowering” concept refers to updating onshore wind turbines to become more efficient as technologies advance. The EEG provides bonuses of 0.5 cents (€) for wind energy facility repowering per kWh respectively. This adds an additional development potential in Germany due to “Repowering”. The requirement of transmission system operators

to provide grid connections at sea for offshore wind farms is part of the federal promotion policy. At the same time, it remains a major challenge. Initiatives like the KfW “Offshore wind energy” program that offers EUR 5 billion for financing of offshore wind farms and abundant incentives for R&D make for an attractive investment environment in Germany.

A new business opportunity arose just recently under the EEG revision that entered into force in January 2012. Sellers of renewable electric power can decide on a monthly basis whether to feed their electric power into the grid and receive the feed-in tariff or market their electric power themselves. Choosing direct marketing, producers have the chance to claim a market premium (the difference between the EEG feed-in tariff and monthly average price at the energy exchange) and a management fee in addition to their sales revenue. The management fee covers costs of forecasting and feed-in management.

Furthermore, Germany has the world’s strongest wind energy manufacturing cluster. Close cooperation between Germany’s R&D institutes and equipment manufacturers helps maintain an internationally unparalleled competitive edge. Correspondingly, many offshore wind industry networks are located along the coastline in Northern Germany. Supported by seaports along the German coastline that are preparing to fulfill infrastructure demands to cater to the wind industry, they add another element for Germany to remain a world leader in installations.



**FIGURE 6** Approved offshore wind projects in Europe until mid 2011 (in MW)  
 Source: WAB 2011

- **Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU)**  
[www.bmu.de/english](http://www.bmu.de/english)  
Renewable Energies  
[www.erneuerbare-energien.de/english](http://www.erneuerbare-energien.de/english)  
Renewable Energy Sources Act (EEG) 2012  
[www.erneuerbare-energien.de/english/renewable\\_energy/acts\\_and\\_ordinances/eeg/eeg\\_2012/doc/47883.php](http://www.erneuerbare-energien.de/english/renewable_energy/acts_and_ordinances/eeg/eeg_2012/doc/47883.php)  
Act on the Promotion of Renewable Energies in the Heat Sector (Heat Act, EEWärmeG)  
[www.erneuerbare-energien.de/doc/42351.php](http://www.erneuerbare-energien.de/doc/42351.php)
- **Federal Ministry of Education and Research (BMBF)**  
[www.bmbf.de/en/](http://www.bmbf.de/en/)  
The High-Tech Strategy for Germany  
[www.hightech-strategie.de/en/index.php](http://www.hightech-strategie.de/en/index.php)  
Climate research  
[www.bmbf.de/en/8493.php](http://www.bmbf.de/en/8493.php)
- **Germany Trade and Invest**  
[www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/invest.html](http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/invest.html)  
Energy & Environmental Technologies  
[www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Industries/energy-environmental-technologies.html](http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Industries/energy-environmental-technologies.html)  
Energy Storage & Fuel Cell Industry  
[www.gtai.com/energystorage](http://www.gtai.com/energystorage)  
Investment guide/consulting  
[www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/investment-guide.html](http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/investment-guide.html)
- **Wind Energy Agency (WAB)**  
[www.wab.net/](http://www.wab.net/)
- **European Photovoltaic Industry Association**  
[www.epia.org](http://www.epia.org)



# Il ruolo dell'agricoltura nel dibattito internazionale sullo sviluppo sostenibile

Nell'anno del vertice di Rio+20, uno dei principali temi del dibattito internazionale sullo sviluppo sostenibile è quello della sicurezza alimentare per tutti i popoli del mondo. Uno strumento in grado di garantire ciò è costituito dalla diffusione di pratiche agricole più sostenibili tra le comunità rurali, finalizzate a favorire sia l'accesso alle risorse alimentari che a promuovere la crescita economica locale e il miglioramento delle condizioni di vita. In quest'ottica dovrà essere rivista e perfezionata la governance su questo argomento da parte delle principali istituzioni internazionali

■ Anna Luise

Vent'anni dopo il decisivo Vertice della Terra (Rio de Janeiro, 1992), i Paesi che fanno riferimento alle Nazioni Unite, i loro leader mondiali, insieme con migliaia di partecipanti provenienti da governi, dal settore privato, da organizzazioni non governative e altri gruppi d'interesse, si incontrano di nuovo a Rio de Janeiro dal 20 al 22 giugno 2012 per fare il punto sulla reale ed effettiva realizzazione dei principi allora enunciati e per ridefinire e rinnovare significati, contenuti e impegni politici.

Tra le questioni chiave e le aree prioritarie del documento che i Capi di Stato e di Governo dovranno sottoscrivere, la sicurezza alimentare riveste un ruolo di primo piano e richiama immediatamente ad un concetto di agricoltura che fa della sostenibilità un riferimento imprescindibile<sup>1</sup>.

Secondo la Società Americana di Agronomia, l'agricoltura sostenibile (anche detta eco-compatibile o integrata) è quella che fornisce cibo e fibre per i bisogni umani, è economicamente valida, migliora le risorse naturali dell'azienda agraria e la qualità complessiva dell'ambiente nonché la qualità della vita per gli agricoltori e l'intera società<sup>2</sup>. Obiettivi ambiziosi, così come ambiziosi sono gli obiettivi

dello sviluppo sostenibile, che però sono ancora (lontani dall'essere) solo parzialmente inseriti nei piani, nelle politiche e nei programmi a livello nazionale. La mancata coerenza dei principi internazionali a livello nazionale rappresenta, infatti, il limite insormontabile contro cui si scontra ogni buon proposito.

Analizzando l'ultima versione della bozza del documento finale, dunque, nei paragrafi che fanno riferimento all'agricoltura sostenibile, alla sicurezza alimentare e nutrizione, viene in primo luogo riaffermato il diritto che tutti abbiano accesso a cibo nutriente in modo sufficiente e sicuro, seguendo un'alimentazione adeguata, in base al diritto fondamentale di ogni individuo alla libertà dalla fame. Tutti sono chiamati a collaborare e a sostenere le comunità più deboli ed i Paesi più bisognosi. La maggioranza delle comunità in cui si concentrano i poveri del mondo e dove l'accesso al cibo è ben

■ Anna Luise  
ISPRA



lungi dall'essere garantito, ha carattere rurale. La necessità di rivitalizzare lo sviluppo agricolo e rurale con modelli economicamente, socialmente e ambientalmente sostenibili si coniuga con l'obiettivo di aumentare la produttività agricola, migliorare le condizioni di vita delle comunità rurali, promuovere la crescita economica e conseguire la sicurezza alimentare. Si propone quindi di promuovere l'accesso ai mercati, al credito e ad altri servizi finanziari, proteggendo inoltre le donne, i popoli indigeni e quelli che vivono in situazioni vulnerabili. Il documento mira ad assicurare anche la parità di accesso alle risorse produttive, come i terreni e le tecnologie, accompagnando tali azioni con un'adeguata istruzione e formazione, oltre a garantire l'accesso ad acqua potabile sicura, a servizi igienico-sanitari adeguati, a fonti moderne di energia e all'uso di pratiche sostenibili nel settore agricolo.

L'aumento della produzione e della produttività agricola sostenibile dovrebbero essere sostenuti anche attraverso il rafforzamento dei meccanismi di supporto internazionali, in particolare per i paesi in via di sviluppo. Questo dovrebbe, a sua volta, favorire un certo aumento degli investimenti pubblici e privati nel campo dell'agricoltura sostenibile e dello sviluppo rurale, espandere l'accesso al microcredito e alla micro finanza, promuovere il trasferimento di tecnologie agricole (con particolare attenzione all'irrigazione efficiente, al riutilizzo delle acque reflue trattate, alla raccolta e conservazione delle acque, alle capacità di stoccaggio e alle relative tecnologie per ridurre le perdite post-raccolto), favorire lo sviluppo di cooperative agricole forti e, infine, rafforzare le infrastrutture e i collegamenti urbano-rurali.

Un'agricoltura sostenibile e l'associata produzione alimentare, in cui sono incluse colture, zootecnia, silvicoltura, pesca e acquacoltura, che si pongono l'obiettivo della sicurezza alimentare, dell'eradicazione della povertà e della fame devono basarsi sull'uso sostenibile delle risorse naturali attraverso metodi e tecniche appropriate. Quest'ultime devono essere il frutto di una ricerca scientifica, finalizzata al mantenimento dei servizi eco sistemici, che tenga conto del prezioso apporto delle conoscenze

tradizionali e locali, con un approccio che privilegi la scelta della soluzione migliore per ogni singola realtà specifica. Ecco, quindi, un invito ai governi nazionali a utilizzare lo stesso punto di vista per una produzione agricola basata sulla scienza e la sua integrazione con le conoscenze tradizionali, con l'obiettivo di aumentare la produttività e la resilienza del settore agricolo al cambiamento climatico e alle catastrofi naturali, nonché di ridurre l'inquinamento ad essa associato. Si tratta, quindi, di sostenere il progresso di ricerca e sviluppo per la messa a disposizione di tecnologie agricole sostenibili, tenendo conto anche delle specifiche esigenze dei piccoli produttori agricoli e dell'agricoltura di sussistenza.

Entrando poi nell'enunciazione degli interventi in aree specifiche, vengono richiamati sistemi sostenibili di produzione di bestiame anche attraverso il miglioramento dei pascoli e dei sistemi di irrigazione, l'uso di sistemi di gestione sostenibile dell'acqua, lo sradicamento e la prevenzione della diffusione di malattie degli animali. La stessa attenzione viene data al mantenimento di ecosistemi marini sani e alla diffusione di sistemi per la pesca e l'acquacoltura sostenibili, vista la loro grande importanza per la sussistenza di milioni di persone. I governi vengono sollecitati affinché adottino politiche e programmi per il miglioramento e la diversificazione delle varietà vegetali e dei sistemi di sementi, così come per la conservazione e l'uso sostenibile delle risorse fitogenetiche per l'alimentazione. I governi dovrebbero, inoltre, favorire l'istituzione di sistemi agricoli e pratiche di gestione sostenibili, con una rinnovata attenzione verso il ruolo dei sistemi di approvvigionamento di sementi tradizionali dei popoli indigeni, delle comunità locali, dei piccoli proprietari terrieri e degli agricoltori familiari, pratiche ritenute positive anche per la conservazione delle biodiversità.

In linea con l'obiettivo di Rio+20 di migliorare la *governance* dello sviluppo sostenibile attraverso il perfezionamento delle istituzioni globali di riferimento, viene richiamato il ruolo del Comitato sulla Sicurezza Alimentare (CFS)<sup>3</sup>, anche relativamente ai principi di "Responsible Agricultural Investment"

(PRAI), quello delle linee guida volontarie emesse dal CFS sulla *governance* responsabile di permanenza in terra, e quello della pesca e delle foreste nel contesto della sicurezza alimentare nazionale. Allo stesso modo viene richiamato il ruolo e l'importanza del Gruppo Consultivo sulla Ricerca Agricola Internazionale (CGIAR)<sup>4</sup> nel campo della ricerca, della promozione di tecnologie e della diffusione delle informazioni e delle conoscenze.

Non viene certamente dimenticato il ruolo del mercato nella gestione delle variazioni nei prezzi sia delle materie prime sia dei prodotti, variazioni repentine e insostenibili che mettono in crisi soprattutto i piccoli produttori agricoli. Anche in questo caso, appare centrale il ruolo della diffusione dei dati, informazioni tempestive ed affidabili. Si auspica un mercato che possa essere un sistema aperto, basato su regole certe, non discriminatorio ed equo, affidando all'Organizzazione mondiale del commercio un ruolo centrale nell'adozione di misure di promozione di adeguate politiche commerciali.

A fianco ed oltre le affermazioni e le proposte contenute nel documento, l'Unione Europea ha suggerito l'inserimento, se non di target quantitativi, almeno di obiettivi da raggiungere entro il 2020 verso cui i governi nazionali e le istituzioni internazionali dovrebbero muoversi, seppure in questo momento siano ancora lontani dall'essere approvati e quindi inseriti nel testo finale. In sintesi, rispetto ai principi enunciati, l'Unione Europea ha proposto gli obiettivi di:

- aumentare l'accesso dei piccoli agricoltori, specialmente delle donne, nelle zone rurali, ai terreni agricoli, ai mercati e alla finanza, alla formazione, al rafforzamento delle capacità, delle conoscenze e delle pratiche innovative;
- aumentare gli investimenti pubblici e privati nell'agricoltura sostenibile e nelle filiere agroalimentari, garantendone l'integrazione nelle pertinenti strategie nazionali e settoriali; ridurre in maniera significativa le perdite post-raccolto e la quantità dei rifiuti costituiti da cibo commestibile lungo tutto il ciclo alimentare;
- raggiungere un aumento della produttività agricola mondiale, basata sull'agricoltura sostenibile,

al fine di conseguire la sicurezza alimentare e la tutela e il mantenimento della biodiversità e dei servizi ecosistemici.

Si tratta certamente di un tentativo per rendere il testo molto più concreto, offrendo peraltro una guida per lo sviluppo di quelle politiche più specifiche che solo i governi nazionali possono mettere in atto, sollecitandoli a fare propri i punti di vista condivisi a livello globale.

Anche il corposo documento preparato dagli esperti del Panel di Alto Livello sulla sostenibilità a livello globale<sup>5</sup>, fortemente voluto da Ban Ki Moon in parallelo al negoziato politico dei Paesi, assegna all'agricoltura un ruolo chiave nella gestione delle risorse, nella prospettiva di rendere possibile una nuova vera e propria *rivoluzione verde* nel 21esimo secolo.

Innanzitutto, si parte dalla considerazione che negli ultimi cinquant'anni abbiamo già assistito ad una rivoluzione verde che si è posta essenzialmente l'obiettivo di aumentare la produzione, agendo attraverso tecniche agronomiche spesso molto spinte e talvolta violente, non rispettose dell'equilibrio ecologico e con orizzonti di breve termine.

Sono stati certo raggiunti importanti risultati nei confronti della lotta ad una possibile "fame di massa" ma di certo è aumentata fortemente la pressione sulle risorse (si può metter in nota: acqua, con un utilizzo a livello globale intorno al 70% di acqua dolce, e suolo, desertificato anche dall'uso spinto di prodotti chimici e dal sovrasfruttamento) e l'uso dei combustibili fossili per l'elevato grado di meccanizzazione, fino a rendere tale rivoluzione, con grande evidenza, insostenibile ambientalmente ed anche molto vulnerabile dal punto di vista economico, stante l'aumento rapido dei prezzi del petrolio.

Riconosciuto come necessario l'aumento della produttività agricola, l'imperativo della sostenibilità del ventunesimo secolo rende indispensabile la riduzione sostanziale dell'intensità dell'uso delle risorse e dei danni alle diverse componenti degli ecosistemi, proponendo tecniche e metodi che le proteggano e mettano in primo piano la salvaguardia della biodiversità.

Gli esperti del Panel parlano di una nuova rivoluzio-



ne agricola che si concentra sulla intensificazione sostenibile (pratiche con bassi input esterni, emissioni e rifiuti), sulla diversificazione delle colture e sulla loro resilienza al cambiamento climatico. Essi propongono anche l'uso delle nuove biotecnologie "verdi" per il ruolo importante che possono svolgere nel consentire agli agricoltori di adattarsi ai cambiamenti climatici, migliorare la resistenza ai parassiti, ripristinare la fertilità del suolo e contribuire alla diversificazione dell'economia rurale.

L'agricoltura sostenibile potrebbe anche essere volano di benessere economico e sociale, producendo vantaggi ambientali consistenti e condivisi se tali processi potessero essere avviati nei paesi in via di sviluppo, opportunamente sostenuti dalle istituzioni finanziarie internazionali. Anche qui, il richiamo ai piccoli agricoltori, all'agricoltura di sussistenza, è continuo e forte, con la necessità di garantire loro l'accesso alle risorse, ai mercati, alle opportune forme di credito, di gestione del rischio e di finanza, alla conoscenza, ai sistemi di comunicazione ed alla messa a disposizione dei risultati della ricerca scientifica e tecnologica.

La questione dei finanziamenti è considerata ovviamente centrale: anche se gli investimenti dovranno provenire da risorse proprie dei paesi, saranno comunque necessarie risorse aggiuntive provenienti da aiuti pubblici allo sviluppo per sostenere investimenti del settore privato ed i partenariati pubblico-privato. Gli esperti del Panel denunciano inoltre l'espandersi dei fenomeni di "land grabbing", ovvero grandi investimenti da parte di alcuni Paesi che acquisiscono larghe aree di territorio nei paesi in via di sviluppo sottraendoli all'agricoltura ed all'economia locali. Le stime parlano di circa 80 milioni di ettari di terra (e l'acqua che scorre sopra e sotto di essi) che sono stati acquisiti in nuove offerte di investimento internazionali dal 2000, di cui più della metà nell'Africa sub-sahariana.

Anche il Panel attribuisce un rilevante ruolo di sostegno e di coordinamento alle istituzioni internazionali come la FAO, il CGIAR e l'IFAD, per la loro capacità di indirizzare la ricerca scientifica, la diffusione delle conoscenze e persino i processi politici nazionali.

E tra le sue raccomandazioni, quelle relative ad indicare strade sostenibili per l'agricoltura sono numerose.

Innanzitutto, si parte dall'invito ai governi e alle organizzazioni internazionali di lavorare per creare una nuova rivoluzione verde (una "ever-green revolution") per il ventunesimo secolo che miri al raddoppio delle capacità produttive e alla drastica riduzione dell'uso delle risorse con l'aiuto di una ricerca avanzata messa rapidamente a disposizione dei suoi utilizzatori finali, evitando così ulteriori perdite di biodiversità, la distruzione di suolo fertile, lo spreco, la contaminazione e la perdita di risorse idriche. Ai governi, a parere degli esperti, bisogna chiedere di investire per una terra sostenibile tenendo conto della tutela dei diritti e del sostentamento dei più poveri.

Per concludere, ciò che comunque appare indispensabile è raggiungere una consapevolezza veramente *globale dello sviluppo sostenibile* e del ruolo centrale, finora poco riconosciuto, dell'agricoltura nel garantire l'equilibrio tra l'uso delle risorse naturali e la soddisfazione dei bisogni dell'uomo. Un equilibrio che tenga conto di una larga serie di fattori di pressione e delle connessioni tra loro. A titolo esemplificativo, tra i suddetti fattori vi sono i cambiamenti climatici globali, la perdita di biodiversità, la progressione della desertificazione, le fonti energetiche necessarie, le disponibilità di cibo e di tecnologie, la disponibilità e l'uso di risorse idriche, la salute e la qualità della vita in tutti suoi aspetti, così come le esigenze di sviluppo economico e sociale, con un accento anche sull'occupazione.

L'Europa sta rispondendo con l'elaborazione di una Politica Comune per l'Agricoltura che sia capace di "creare un settore agricolo europeo orientato al mercato e competitivo, che contribuisca a migliorare le condizioni di vita e le opportunità di lavoro nelle aree rurali, che si ispiri a buone pratiche ambientali e che punti alla conservazione degli habitat naturali, della biodiversità e del paesaggio"<sup>6</sup>. Dal 2003, la Politica Agricola Comune ha infatti adottato gli strumenti opportuni, primo fra tutti il regime della condizionalità, per promuovere progetti e azioni a favore dell'ambiente e della gestione del territorio,

ai quali le autorità nazionali e regionali devono attribuire consistenti percentuali delle risorse economiche a loro disposizione, premiando quei progetti che abbiano tra i loro obiettivi la tutela del paesaggio, della conservazione del suolo, della biodiversità e della ricchezza dell'ambiente naturale.

L'Italia segue a ruota, obbligata dalle regole europee ad un'agricoltura non solo rispettosa ma anche a tutela dell'ambiente. Un esempio rilevante è, senza dubbio, la presa in carico da parte del settore agricolo della problematica dei cambiamenti climatici con la produzione da parte del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali di un corposo ed elaborato "Libro Bianco sui Cambiamenti Climatici", dove le istituzioni di ricerca hanno organizzato le informazioni e proposto linee strategiche<sup>7</sup>.

In sintesi, quello che ci aspettiamo, e che ci auguriamo, è che la Conferenza di Rio dia un'indicazione forte per una nuova rivoluzione verde che faccia dell'equità e della qualità i suoi fondamenti: equità per poter ottenere una produzione di cibo di qualità accessibile a tutti, ovunque e sempre, e qualità per promuovere una sostenibilità anche economica alle attività agricole ed alle connesse filiere dell'agroalimentare. Le premesse per piani, programmi e azioni sono state poste nei testi citati e analizzati ma solo i governi nazionali possono dare loro gambe e fiato. Le strutture internazionali e sovranazionali (dalle Nazioni Unite all'Unione Europea) stanno quindi cercando di creare una cornice opportuna per politiche che solo gli Stati nazionali possono adottare a livello di operatività effettiva. ●

## note

1. Il testo è ancora in via di negoziazione e quindi non disponibile.
2. Definizione tratta dal sito: <http://www.sostenibile.org/aContenuti/agricoltura/agricoltura.html>
3. Il Comitato è nato a seguito del Regolamento (CE) del 28 gennaio 2002, n. 178, del Parlamento europeo e del Consiglio in materia di valutazione del rischio della catena alimentare (G.U. Serie Generale n. 231 del 4 ottobre 2007) e le sue funzioni sono determinate dal Decreto 26 luglio 2007. Ha sede presso il Ministero della Salute ed è composto da 18 membri, individuati tra esperti di comprovata esperienza scientifica ed elevata professionalità nelle materie attinenti la valutazione del rischio nella catena alimentare.
4. Il Gruppo è una partnership globale che unisce le organizzazioni impegnate nella ricerca per lo sviluppo sostenibile con i finanziatori (governi dei Paesi in via di sviluppo e paesi industrializzati, fondazioni, organizzazioni internazionali e regionali).
5. United Nations Secretary-General's High-level Panel on Global Sustainability (2012). *Resilient People, Resilient Planet: A future worth choosing*. New York: United Nations.
6. Le linee di evoluzione della Politica Agricola Comune sono analizzate nella relativa pagina della Commissione Europea: [http://europa.eu/pol/agr/index\\_it.htm](http://europa.eu/pol/agr/index_it.htm)
7. Il rapporto è stato presentato lo scorso 20 settembre a Roma dalla Rete Rurale ed è scaricabile: <http://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/5800>



# High temperature superconductivity: challenges and perspectives for electric power applications

Applications of High Temperature Superconductors (HTS) in large-scale electric devices strongly depends on the capability of making them in form of high-current wires or tapes. The advantage of using HTS materials relies on the possibility of increasing the operating temperatures above the liquid helium required for low-temperature superconductors, with relevant benefits in terms of costs, cryogenic and technological simplifications. This would bring superconductor technology closer to the ultimate desire of moving beyond the medical and scientific applications and coming into the power grid. Despite many physical and material conflicting requirements that deeply complicate the manufacturing of HTS materials as a practical conductor, technologies for the production of wires and tapes have been developed and successfully tested in demonstrations of transmission cables, motors and other electric devices. Now the challenge is the contraction of costs through both material science and manufacturing process tasks

■ *Giuseppe Celentano, Andrea Augieri*

## Superconduttività ad alta temperatura: sfide e prospettive per le applicazioni elettriche

Le applicazioni dei materiali superconduttori ad alta temperatura critica (HTS) in dispositivi elettrotecnici di potenza dipendono dalla capacità di ottenere fili o nastri superconduttori per il trasporto di elevate correnti elettriche. Il vantaggio dei materiali HTS risiede nella possibilità di aumentare la temperatura di esercizio al di sopra di quella dell'elio liquido, necessaria per i superconduttori a bassa temperatura, con notevoli vantaggi in termini di costi e di semplificazioni tecnologiche. Questo porterebbe la tecnologia dei superconduttori più vicina all'obiettivo finale di ampliare le proprie possibilità di applicazione, oggi limitate ai settori medicale e scientifico, e di inserirsi in quello della rete energetica. A dispetto dei vincoli che complicano la realizzazione di fili e nastri HTS, le tecnologie di produzione sviluppate stanno dando dimostrazione di successo in prototipi come cavi di trasmissione, motori ed altri dispositivi. Adesso, la sfida è la contrazione dei costi che si può ottenere affrontando sia aspetti legati alla scienza dei materiali sia al processo di produzione

**A**s soon as Prof. Heike Kamerlingh Onnes discovered superconductivity he realized the revo-

lutionary implications of such materials. Cooling a superconductor below a specific temperature called critical temperature,  $T_c$ , the electrical resistance suddenly jumps to a value immeasurably low. Since the electric resistance  $R$  is responsible of the heat generated when a current,  $I$ , flows in a metal ( $E = RI^2$ ), this implies that, unlike normal metals, a superconductor

■ *Giuseppe Celentano, Andrea Augieri*  
 ENEA, Technical Unit for Nuclear Fusion

can sustain electric current without any associated losses. The potentiality of this phenomenon for electric applications was promptly evident to him. The discovery of superconductivity is dated 8<sup>th</sup> April 1911 and occurred while measuring the sharp drop in the resistivity of a Mercury wire to “...practically zero...” upon cooling below 4.2 K (the  $T_c$  of mercury)<sup>[1]</sup>. Two years later, Kamerlingh Onnes envisioned the design of very powerful magnets exceeding by far the maximum intensity achievable with the conventional technology, based on normal metal iron or copper. Persistent electric current was indeed measured in a superconducting closed loop – in that case Lead ( $T_c = 7.2$  K) wire was used – indicating the absence of resistance, but large magnetic fields were never achieved. He attributed this lack to technical problems to be easily solved. The actual nature of this problem rather than technical was physical and was “solved” in 1961, when it was demonstrated that superconductors can sustain high current in high magnetic fields. Along this 50-year period, more insight on the physics and the magnetic properties of superconductivity was achieved. It became clearer that superconductivity was not simply a state of perfect electric conduction, but a new thermodynamic state with peculiar electric and magnetic properties. Upon cooling below  $T_c$  under an external magnetic field condition, the magnetic flux is expelled from the superconductor just as that within the bulk  $B = 0$ , *i.e.*, a state of perfect diamagnetism is established. This is called *Meissner-Ochsenfeld effect* from the name of Walter Meissner and Robert Ochsenfeld, who firstly observed this phenomenon in 1932. As for temperature, the normal state is restored for field strength higher than a critical value,  $H_c$ . The values of  $H_c$ , characteristics of each superconductor, are strictly dependent on the temperature being maximum at  $T = 0$  K and zero at  $T = T_c$ . The current flowing without losses in a superconductor presents also a critical value,  $J_c$  (it is preferred to refer to the current density), and its value is strictly related to the magnetic field strength and temperature. These three critical parameters define a critical surface in the  $(T, H, J)$ -space delimiting the region in which the superconducting state exists. An example of a typical critical surface is shown in Figure 1a.

Considering the different magnetic behavior, superconductors can be classified in Type I or Type II. In the first case, a full diamagnetic state is established, consequently currents can flow only on the surface and superconductivity is destroyed by weak fields ( $H_c$  is about tens of mT). On the other hand, Type II superconductors exhibit a more complex behavior, their main features being the existence of two critical fields defined as lower,  $H_{c1}$ , and upper,  $H_{c2}$ , whose values are typically tens of Tesla. Full diamagnetic state is established only for  $H < H_{c1}$ , while for  $H_{c1} < H < H_{c2}$  a partial diamagnetic state emerges, called *mixed state*, characterized by the formation of quantized magnetic vortices, or *fluxons*. In this state, a superconductor is capable of carrying bulk currents. For  $H > H_{c2}$  the normal state is restored. Simple elements such as Mercury, Tin, Indium or Lead (the highest  $T_c = 7.2$  K) belong to Type I superconductors, while Nb, alloys and binary or more complex compounds to Type II (highest  $T_c = 23$  K for  $Ga_3V$ ). In 1961, Kunzler, et al.<sup>[2]</sup>, measured  $J_c > 10^5$  A/cm<sup>2</sup> at 8.8 T in a  $Nb_3Sn$  wire (Type II superconductor with  $T_c = 18$  K), showing for the first time that superconductors were really suitable for high field applications. Since then, superconductors have found wide application in magnet manufacturing. Today superconductor-based technologies find applications in the high-energy physics sector for relevant experiments and new generation of particle accelerators (Large Hadron Collider at CERN) or in plasma physics for the development of experimental controlled thermonuclear fusion machine (ITER). However, the most relevant commercial business of superconductors is the manufacturing of magnets for magnetic resonance imaging (MRI) and nuclear magnetic resonance (NMR). After a century, the prediction of Kamerlingh Onnes for high field magnets has been largely met.

All these applications are based on two superconductors that can be routinely produced into form of wires with very viable and consolidated technologies: Nb-Ti ( $T_c = 9$  K) and the already mentioned  $Nb_3Sn$  ( $T_c = 18$  K). It is also worth mentioning  $MgB_2$  ( $T_c = 39$  K), discovered only ten years ago but a mature conductor technology has been developed and is now ready for magnet applications. The main drawback in their use

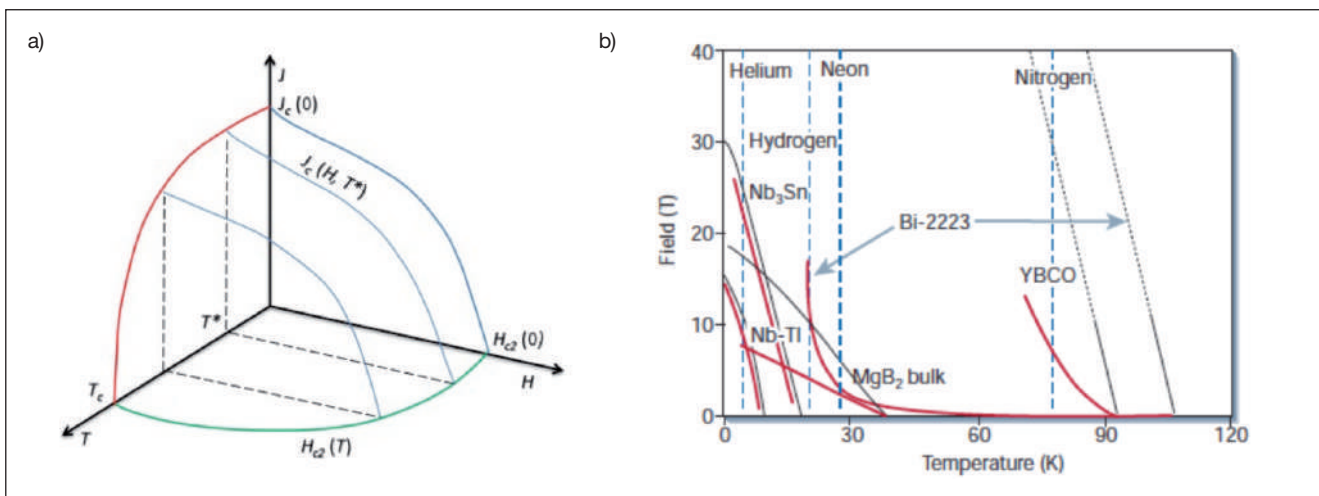
is related to the refrigeration issue. Several applications were proposed for different electrotechnical devices, but the advantages related to the introduction of superconductors were always compensated by the additional technological complication related to the use of liquid helium (LHe) as coolant, and by the additional costs. For these reasons Nb-based technology has been relegated to the high energy physics and medical sectors, where no competition with copper based technology existed. This poses severe limits in the perspectives of superconductor technology diffusion at market level.

With the discovery of superconductivity in the family of cuprates by J. Bednorz and A. Muller, occurred in 1986, a new era begun. These materials are called High critical Temperature Superconductors (HTS), as opposed to Low Temperature Superconductors (LTS) [3]. Soon after, superconductivity was discovered in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  and its rare earths variant (ReBCO, Re = Y and rare earths), having  $T_c$  in the range 90-95 K above the boiling point of nitrogen (77 K under normal pressure conditions, reduced to 65 K in vacuum). This

means that liquid nitrogen (LN2), instead of helium could be used as coolant implying dramatic advantages in terms of cryogenic complexity and costs (0.1 € per litre of LN2 instead of about 10 € for LHe). To date, even though hundreds of HTS with progressively higher  $T_c$  have been discovered (world record > 180 K), ReBCO represents the best candidate for the development of superconductor technology operating at LN2 temperature ranges and that could compete with the conventional copper technology. This review is focused on REBCO superconductors and on the technology for the realization into tape conductor form, i.e. *coated conductors* or 2G HTS tapes. The margin of improvement and perspectives for applications will be also discussed. The role and contribution of the ENEA Superconductivity Laboratory in this field will also be reported.

## HTS materials and wire processing

Even before the discovery of HTS materials, it was clear that the manufacturing of conductors capable of su-

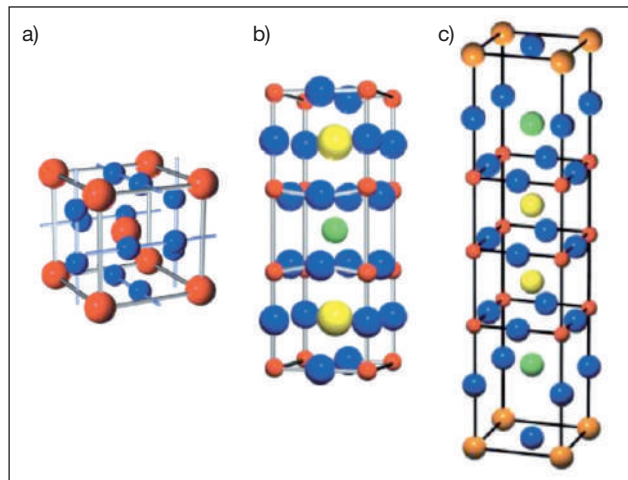


**FIGURE 1** a) Sketch of a typical Type II (see text) superconductor phase diagram. The blue, green and red curves represent the critical parameter  $J_c(H, T=0)$ ,  $H_{c2}(T)$  and  $J_c(H=0, T)$  dependences. The boundary of the region in which superconductivity is established is called critical surface. As far as superconductors are used in motors, magnets or power transmission lines the most relevant parameter is  $J_c$  and its dependence on  $H$  and  $T$ .  $J_c(H, T)$  is a decreasing function of both  $H$  and  $T$ . The  $J_c(H)$  dependences at given temperatures  $T \neq 0$  K are also shown as light blue curves lying on the critical surface. b) Phase diagram in the  $H$ - $T$  plane for some of the most relevant “practical” superconductors. For each of them both the  $H_{c2}(T)$  and irreversibility line  $H'(T)$  are reported: black and red curves, respectively. For HTS BiSCCO and YBCO the critical fields along  $c$ -axis are only shown for clarity (see text for more details)

staining high electric current implies much more than just superconductor. However the strategy of making a superconductor useful, *i.e.*, in form of wire, was well assessed and defined: taking a material, developing a reliable technology for the production in form of filaments and embedding them in a copper matrix, in order to obtain a composite with proper thermal and electrical stability and mechanical properties as well. With HTS materials the situation is more complicated due to the peculiarities of cuprates: anisotropy and grain boundary.

In Figure 2, the crystalline unit cell of  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  as representative of LTS is shown together with the one of ReBCO. In addition, the structure of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10-x}$  (BiSCCO) HTS compound, having  $T_c = 110$  K, is also reported. As it can be seen while  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  exhibits the cubic A15 crystal structure, cuprates have a more complex layered perovskite structures. This structural nature has dramatic effects on superconducting properties. Lossless currents, or *supercurrents*, flow more easily along the  $\text{CuO}_2$  layers so that the  $J_c$  in this plane (denoted as  $a$ - $b$ , being  $a$  and  $b$  the corresponding crystallographic axes) exceeds the  $J_c$  in the direction perpendicular to the  $\text{CuO}_2$  planes ( $c$ -axis). Similar anisotropic nature is also observed in the magnetic behavior characterized by the presence of two critical fields ( $H_{c2}^{a-b}$  and  $H_{c2}^c$ , along  $a$ - $b$  plane and  $c$ -axis, respectively). The ratio  $y = H_{c2}^{a-b}/H_{c2}^c$ , taken as the measure of the material anisotropy, is 5-8 for ReBCO and 50-200 for BiSCCO. By contrast  $y = 1$  for  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ . Even though  $H_{c2}$  are very large (values exceeding 100 T at  $T=0$  K are predicted for both ReBCO and BiSCCO), for HTS materials  $J_c$  does not vanish at  $H_{c2}$ , as it happens in LTS (see  $J_c(H)$  curves reported in Figure 1a), but for a much lower field  $H^*$ , called irreversibility field. As a result cuprates can carry currents without dissipation in a smaller part of the  $H$ - $T$  plane limited by  $H^*(T)$  instead of  $H_{c2}(T)$ .

In Figure 1b the phase diagram in the  $H$ - $T$  plane for several application relevant superconductors are reported. As can be seen, even though BiSCCO has higher  $T_c$ , the  $H^*$  line is well below the one of ReBCO. This is strictly related to the larger anisotropy of BiSCCO. At 77 K  $H^* \approx 0.3$  T prevents from employing BiSCCO in any significant magnetic field condition. Conversely

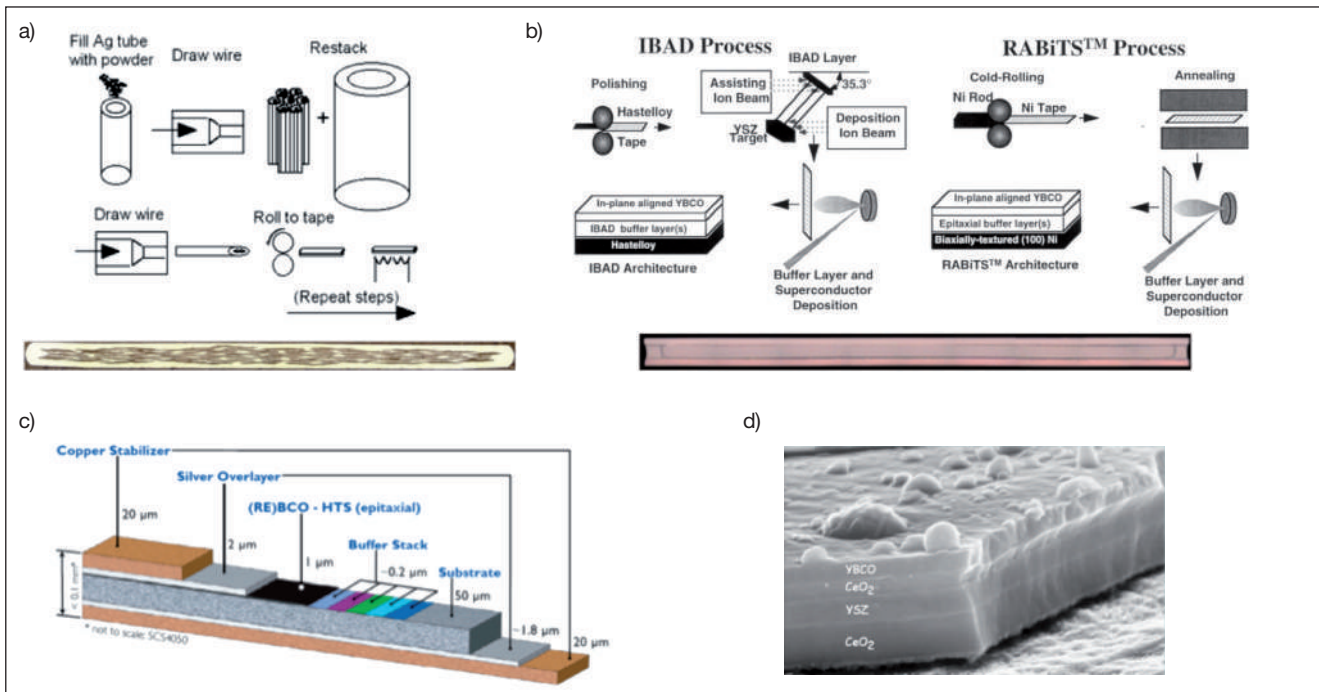


**FIGURE 2** Comparison among the crystal unit cells of different superconductors (not in scale): a)  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ , cubic A15 structure; b)  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  orthorhombic perovskite; c)  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10-x}$  tetragonal perovskite

for ReBCO, due to the moderate anisotropic nature, the irreversibility line remains closer to  $H_{c2}$  so that, even at the LN2 temperature range, it can sustain supercurrents at relatively high fields  $H^*(77\text{ K}) \approx 7$  T. That is why ReBCO represents the only candidate for the development of superconductor technology operating in magnetic field at LN2 temperature. However, both ReBCO and BiSCCO make the region of very high fields accessible as temperature is reduced, exceeding by far the limit of LTS at 4.2 K.

One of the most disappointing feature of cuprates is the strong depression of  $J_c$  across a grain boundary between two misoriented crystallites. The supercurrent exponentially drops with the misorientation angle (no matter if crystal axes are twisted or tilted with each other) being reduced to one tenth of the original  $J_c$  as soon as angles are about  $10^\circ$  and two or three orders of magnitude at  $45^\circ$ <sup>[4]</sup>. This represents a big complication for the development of conductors, considering that conductors are polycrystalline. If typical grain size of  $10\ \mu\text{m}$  is assumed, 1 km long wires with 1 mm diameter consist of about  $10^{10}$  grain boundaries. Since some of them partially reduce  $J_c$  while others act as a full block, the net current carried by the wires is completely suppressed due to the meandering through the network of

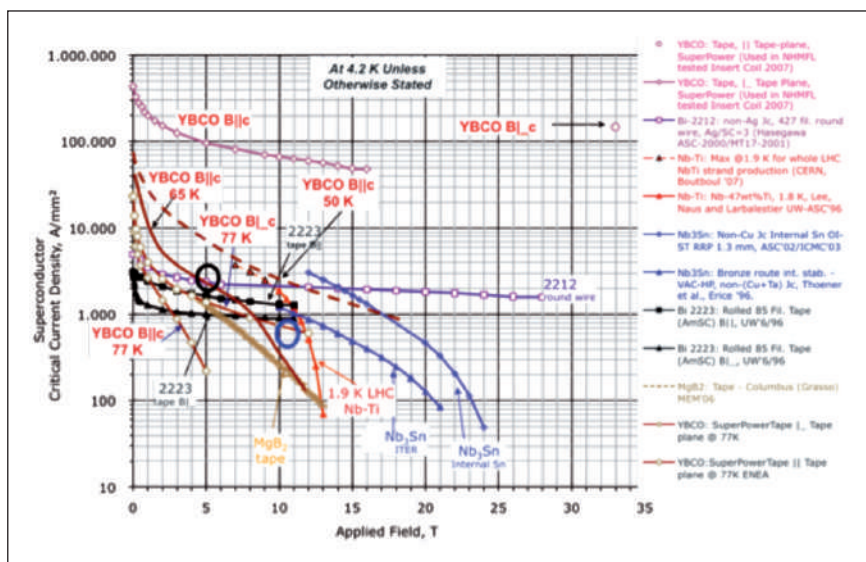




**FIGURE 3** Production process for BiSCCO (a) and ReBCO (b, c, and d) tapes. **a)** Oxide Powder-in-Tube (O-PIT): precursor powders are put in a Ag tube and drawn, the obtained filaments are stacked and put in a larger Ag tube and drawn once again. The tape is ultimately obtained after rolling and thermal treatment for the conversion of precursors in the superconducting phase; **a-bottom** cross section of the multifilamentary tape. Embedded in the Ag matrix, the deformed BiSCCO filaments are distinguishable (gray spots). Typical sizes are: width 4.4 mm and thickness 0.2-0.3 mm. **b)** Sketch of coated conductor manufacturing methods. In case of polycrystalline randomly oriented tape such as Hastelloy, Inconell or stainless steel, the texture is forced on buffer layer by a Ion Beam Assisted Deposition (IBAD) process. Oxides such as MgO,  $Y_2O_3$ -stabilized  $ZrO_2$  (YSZ) and  $Gd_2Zr_2O_7$  can develop by IBAD process a suitable texture for successive epitaxial growth. In general more than one layer is required before YBCO deposition. In **3c**, the structure of a typical IBAD coated conductor tape is reported (from Super Power Inc.). In the second approach, only metals such as Ni, Cu and their alloy are used because they can be biaxially textured after a thermomechanical process consisting of rolling an annealing at a proper temperature (RABiTS, Rolling Assisted Biaxially Textured Substrate). In this case the substrate texture is transferred to YBCO film through the buffer layer architecture by epitaxial growth. A typical multilayered structure (developed at ENEA) including buffer layer and YBCO is reported in **3d**. **b-bottom** cross section of a typical coated conductor tape (344-amperium from American Superconductors Co.). Typical sizes are: width 4.4 mm and thickness 0.1-0.2 mm. The ReBCO film on the substrate surface is not appreciable (1  $\mu$ m)

grain boundaries. As a result, the extreme sensitivity to grain misorientation coupled with anisotropy determines a precise requirement: texture must be controlled (texture, in material science, means the distribution of the crystallographic orientation of a sample). The challenge for textured HTS conductors has been addressed and solved for both BiSCCO and ReBCO. In the former case a suitable technology for the production of multifilamentary tapes was successfully developed. These tapes, consisting in BiSCCO filaments embedded in Ag sheath, are manufactured by the powder-in-tube

metallurgical process which is essentially the same technology already used for  $Nb_3Sn$  and  $MgB_2$ . Following this process, whose main steps are reported in Figure 3a, BiSCCO grains result uniaxially textured with the *c*-axis parallel to the tape surface. Commercial tapes in km piece lengths by several manufacturers are currently available<sup>[5]</sup>. The tape, 4.4 mm wide and 0.2-0.3 mm thick, can sustain at 77 K in zero applied magnetic field critical currents in the range 100-200 A depending on the wire type. The resulting overall critical current density (engineering critical current density,  $J_e$ ), calcu-



**FIGURE 4**  $J_c(H)$  curves measured on commercial superconductor wires and tapes. Black and blue circles represent the ITER Poloidal and Toroidal magnets operation conditions

lated on the whole tape cross section including both superconductor and normal materials, is 100-250 A/mm<sup>2</sup>, that means even 100 times as much as the copper typical current carrying capability (2-4 A/mm<sup>2</sup>). Apart from the intrinsic limit for application in magnetic field at 77 K, the main drawback of the BiSCCO-based technology (usually mentioned as first generation HTS tape technology (1G)) is the cost. In fact the cost per unit length normalized to performances of BiSCCO tape ranges within 60-100 €/kA·m depending on the wire type and operation conditions are still five times as much as copper cable (10-20 €/kA·m). This gap cannot be further reduced considering that is mainly due to the material cost related to the extensive use of Ag, representing about 70-80% of the whole tape.

On the contrary, on ReBCO are placed expectations for HTS tapes competitive with copper prices. The more recent ReBCO tape technology, called *second generation* (2G) or *coated conductor*, is based on a completely different process, in which Ag is replaced by much cheaper Ni. These tapes consist of a flexible metallic tape, typically Ni or Ni based-alloys, coated by ReBCO film by means of thin film deposition methods<sup>[6]</sup>. Employing thin-film deposition techniques for ReBCO conductor manufacturing may, at a first glance, appear as a complication factor in view of the development

of an industrial scalable manufacturing process. However, this is justified by considering that film texture can be reliably controlled through epitaxial process and that best ReBCO  $J_c$  can be achieved in the epitaxial films. By thin-film deposition, biaxial alignment is achieved, *i.e.*, ReBCO film grains result aligned not only with the c-axis perpendicular to the tape surface but also a-axes are aligned to each other on the tape surface. Between metallic tape and ReBCO film a multilayer oxide film structure (buffer layer) is required because of chemical and structural optimization reasons. The tape architecture is completed by outer stabilization copper layer. Tape manufacturing processes are based on two different approaches depending on the different crystalline nature of the metallic tape used as substrate for the stack of buffer layers and YBCO (see Figure 3b, c and d for details).

The main advantages of 2G over 1G technology are its better mechanical properties and better critical current performances. The use of Ni tape, instead of softer Ag sheath employed in 1G tapes, guarantees higher tensile stress and bending strain behaviors more suitable for applications. In Figure 4 the electrical performances of coated conductors are reported and compared with the other superconductor wires. The high  $J_c$  achieved in coated conductors are ascri-

### Mixed state and critical currents

The *mixed state* of Type-II superconductors is the region of the  $H$ - $T$  phase diagram which is delimited by lower,  $H_{c1}(T)$ , and upper,  $H_{c2}(T)$ , critical field values. In this region the field partially penetrates inside the material as *fluxons*. Fluxons, or vortices, are composed by a normal core region of diameter  $2\xi$  ( $\xi$  is called the coherence length,  $\sim 1$  nm in YBCO) surrounded by annular screening currents decaying over  $\lambda$  ( $\lambda$  is the magnetic field penetration depth,  $\sim 100$  nm in YBCO). Within the vortex core the magnetic field penetrates in the form of a quantum of magnetic flux  $\Phi_0 = 2.07 \cdot 10^{-11}$  T·cm<sup>2</sup>.

The imperfect diamagnetism of the mixed state can be detrimental for any application of Type-II superconductors. Any electrical current applied to the superconductors, in fact, exerts a driving force on fluxons through the Lorentz force,  $F_L$ , which causes vortices to move with a viscosity limited velocity. The vortex movement generates an electric field whose component parallel to the electric current gives rise to ohmic dissipation. Hence, flux flow gives rise to dissipation even though the superconductive state is still present.

The only way to avoid dissipation in the *mixed state* is to prevent vortices from moving. From energetic considerations, it can be shown that any nanometer-sized defect acts as sites where fluxons penetrate and remain pinned, with a force called *pinning force*,  $F_p$ .

As long as the Lorentz force exerted on fluxons by the bias current is lower than the pinning force, the vortex movement is prevented and the dissipation-free state is restored. When the Lorentz force exceeds the pinning force, the flux flow starts and dissipation occurs. The value of the current corresponding to the depinning of vortices is called **critical current** or *depinning current*  $J_c$ .

In the mixed state, two regions can be identified: the first one, at lower temperature and magnetic field values, where vortices are pinned and current can flow without dissipation up to the critical value  $J_c(T, H)$ ; the second one, for higher  $T$  and  $H$  values, where fluxons are depinned by just the thermal energy and the current flow is always associated to dissipation. The curve in the  $H$ - $T$  phase diagram which identifies these two regions is called the **irreversibility line**,  $H^*$ .

*Critical current* and *irreversibility line* are the most important parameters for type-II superconductors applications. It is worth noting that they are not characteristic of the superconductive material but rather they depend on flux pinning, which is strongly related to the number, density and nature of defects created inside the superconductive matrix. Hence, a shift of the irreversibility line towards higher magnetic field values and the achievement of higher critical current values can be obtained by improving the pinning efficiency. It is for this reason that many efforts are done in order to understand the *vortex matter*, that is the study of vortex-vortex and vortex-defect interactions which give rise to a very complex and fascinating phenomenology.

bed to the very accurate degree of grains alignment and texture control along the tape. The misorientation angles among the crystalline directions of the grains are kept well below the safe limit of 4-8° in both perpendicular and plane directions so that ReBCO films reach similar performances of epitaxial films on single crystal substrates. Despite of the very reduced fill factor (fraction of the superconductor on the overall cross section) typically 1-2%, coated conductors achieve very high  $J_e$  assuming similar value of Nb-Ti at 4.2 K. These performances are the result of a very impressive material science “tour de force” operated in the last 10-15 years by many academics, institutes (among which ENEA) and industries for the control and the accommodation of the severe requirements derived from the complex nature of this composite conductor and set by applications. Several topics have been addressed as the mitigation of grain boundary effects, the development of proper metallic substrates,

the investigation of epitaxial growth in highly oxidizing condition on metallic surface and their potentiality for long length production, the study on HTS films for  $J_c$  optimization.

### Application perspectives of HTS tapes

In the last few years, coated conductors are being commercially available from several manufacturers from Europe, Asia and USA (Table 1). Nevertheless, today performances do not completely meet the application needs. In Table 2 requirements emerged by utilities and industries consensus are summarized for some of the most relevant applications in the energy sector [7]. The  $J_c$  performances and mechanical properties of commercial tapes in general meet, or are very close to, the application requirements. However, as demonstrated by the maximum, today available tape piece length (200-300 m) and costs (about 400 €/kA·m at 77

| Company                         | Sumitomo Electric Industry-SEI | American Superconductor Co.-AMSC            | Superpower Inc. – SPI | Fujikura Electric Industry | SuNAM         | Bruker        |
|---------------------------------|--------------------------------|---|-----------------------|----------------------------|---------------|---------------|
| Process                         | RABiTS                         | RABiTS                                      | IBAD                  | IBAD                       | RABiTS        | IBAD          |
| Buffer layer deposition         | Physical                       | Physical                                    | Physical              | Physical                   | Physical      | Physical      |
| ReBCO deposition technique      | Physical: PLD                  | Chemical: liquid solution of MOD precursors | Chemical: MOCVD       | Physical: PLD              | Physical: RCE | Physical: PLD |
| Record piece length (km)        |                                | 0.5   | 1.4                   | 1                          | 0.1 (1*)      | 0.1 (1*)      |
| Production capability (km/year) |                                | > 1000                                      | > 300                 |                            | 2000*         |               |

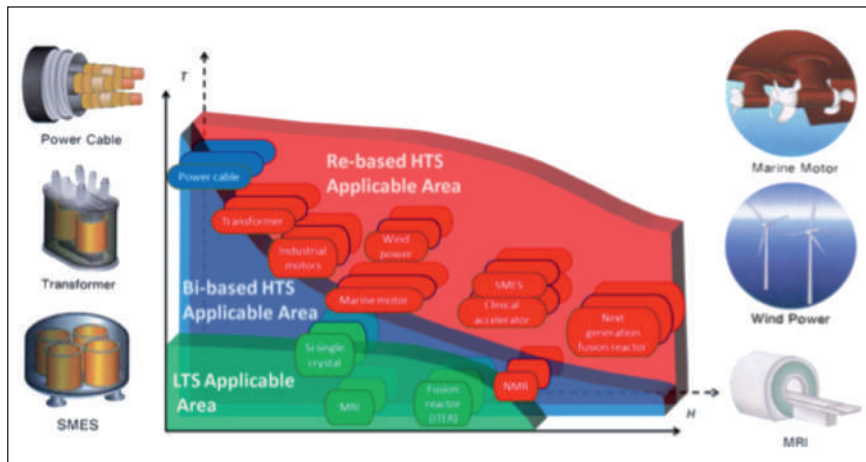
**TABLE 1** List of the main 2G tape suppliers and main tape production features.  
PLD = Pulsed Laser Deposition; MOD = Metal Organic Decomposition; RCE = Reactive Co-Evaporation; \* planned value

| Application              | $J_c$ (Acm <sup>-2</sup> )       | $H$ (Tesla) | $T$ (K) | $I_c$ (A)            | Wire length (m) | Strain (%) | Bending radius (m) | Cost (\$/kA·m) |
|--------------------------|----------------------------------|-------------|---------|----------------------|-----------------|------------|--------------------|----------------|
| Transmission power cable | 10 <sup>5</sup>                  | 0.15        | 67-77   | 200                  | > 500           | 0.4        | 2 (cable)          | 10-50          |
| Synchronous condenser    | 10 <sup>5</sup>                  | 2-3         | 30-77   | 100-500              | > 1000          | 0.2        | 0.1                | 30-70          |
| Fault current limiter    | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 0.1-3       | 70-77   | 300                  | > 1000          | 0.2        | 0.1                | 30-70          |
| Industrial motor         | 10 <sup>5</sup>                  | 4-5         | 30-77   | 100-500              | > 1000          | 0.2-0.3    | 0.1                | 10-25          |
| Generator                | >10 <sup>4</sup>                 | 2-3         | 50-65   | 125 @ $T_{op}$ , 3 T | > 1000          | 0.4-0.5    | 0.1                | 5-10           |
| Transformer              | >10 <sup>6</sup>                 | 0.15        | 70-77   | 100 @ 0.15 T         | > 1000          | 0.3        | 0.05               | 10-25          |

**TABLE 2** Industry consensus wire performance requirements for various utility device applications (source: Navigant Consulting, [7])

K in zero field representing the highest price among superconductor wires), there are still several technological and manufacturing issues to be addressed. The key factors determining the costs/performance ratio for coated conductors are raw materials (among which substrate is the most relevant), production process (in particular coating process and production yield-meters of continuous tape per unit time within specifications) and the current carrying capability, *i.e.*,  $I_c$ . The latter can be addressed by the increase in the ReBCO thickness and/or improving the  $J_c(H)$  dependences. Many efforts are currently focused on the development of 2-5  $\mu\text{m}$  films by suitable deposition techniques. Better  $J_c(H)$  curves are going to be obtained through nano-engineerization of ReBCO films<sup>[8]</sup>. As far as costs are considered, materials represent only a little percentage of the whole tape costs, so the main concerns are related to production process. The level for market penetration has been set to 100 €/kA·m (at 77 K) which

le larger commercial diffusion is expected as copper price is approached. SuperPower Inc. – one of the 2G tape leading companies – expects to reduce the price to commercial levels in 5-10 years by intensive R&D on manufacturing process and on performances<sup>[9]</sup>. In addition, it is general belief that year tape production capability must be greatly increased in order to support application demand (the current production capability – around 10<sup>3</sup> km – would be sufficient for a few MW wind turbine generators<sup>[10]</sup>). For the time being, production processes are very expensive because they are based on complex buffer layer architecture deposited by vacuum techniques. The simplification of the buffer layer architecture (*i.e.*, reduction of the number of layers) and the development of a fully-chemical coating process should have a strong impact on tape costs. In fact, chemical non-vacuum methods are intrinsically more economic than physical techniques (vacuum equipment costs are saved), more versati-



**FIGURE 5** Area of applications for LTS and HTS technologies with expected  $T$ - $H$  operation conditions

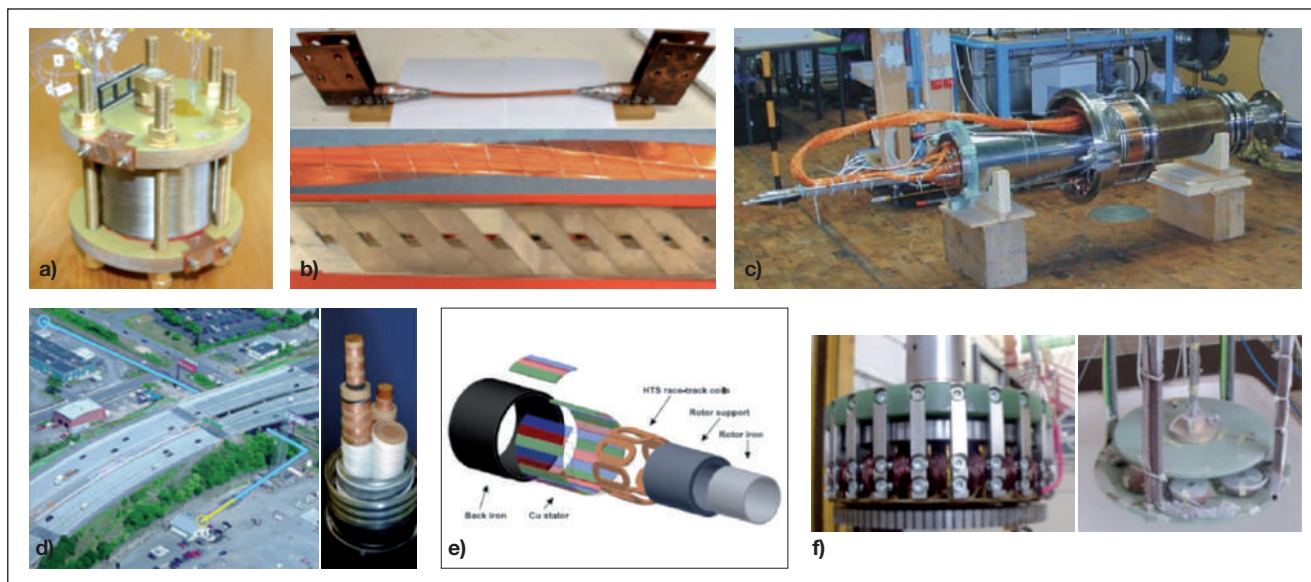
le and more easily scalable to industrial production. These methods are expected to have a decisive role for the development of a copper-competitive HTS wire technology and are currently the subject of several industrial and academic R&D projects.

Due to the limits imposed by costs, it is expected that HTS technology will be firstly applied in performance-driven sectors in which competition is weak (science, research and technological development (RTD), and in military applications). The use of BiSCCO-based current leads for the ITER magnets feeding system is a first demonstration that HTS technology is already finding a market share in this field. In fact, most of the largest magnet systems today already use HTS current leads to reduce the heat load on the cryogenic part so HTS current leads are today commercially available and are expected to extend their applicability in the next future even to smaller systems such as MRI/NMR systems.

Longer-term projects are the development of 2G tape-based high current cable for the feeding system of LHC magnetic system<sup>[11]</sup> and the realization at Fermi Labs of a muon collider by using extremely high intense magnetic field (about 40 T) with an HTS coil. It has to be noticed that 2G tape coils generating 9.81 T at 4.2 K and the 26.6 T in a background field of 19 T have been successfully tested<sup>[12]</sup>, indicating that a proper winding technology can be developed and 2G tapes exhibit suitable mechanical and stability properties

for high field magnets. In addition, first studies for the development of high current cable suitable for fusion magnets are recently started. HTS technology has the potentiality for either increasing the maximum achievable magnetic field strength well above the limit fixed by LTS or alternatively simplifying the reactor design if operation at higher temperature than LHe is considered. Even though this is a very long-term objective, preliminary results on kA-range 2G HTS cable concepts are encouraging.

As for NMR and MRI systems the new trend towards higher magnetic fields is possible because of HTS insert coils. This market is by far the biggest one for superconductor technology, reaching more than €4 billion in 2011, and it is expected to increase steadily in the next 5 years with the contribution of HTS technology<sup>[13]</sup>. However, the most exciting perspective for HTS technology is the possibility to gain some market share in the highly cost-competitive commercial market of energy. In this field HTS superconductors can play a key role in the generation, transmission and improvement of the electric grid quality. In the latter case Fault Current Limiter (FCL) and synchronous condensers can be included. They are considered the applications in which the HTS attributes are most valued. FCL is a self-switching and self-recovering device that offers a new functionality of network operation for controlling short-circuits in electric grids, so it acts as surge protection of power grid. The FCL effectiveness and



**FIGURE 6** a) First solenoid magnet made of 2G superconductor with 82 mm winding diameter and 52 mm winding height operating at the field 26.8 T (in a background field of 19 T) at 4.2 K world record at the time it was tested in 2007 by NHMFL (USA). Operation at 35.5 T has been more recently demonstrated due to the improvements of the tape performances; b) Basic concepts for kA-range @ 77 K HTS cable made with 2G tapes: upper panel) 2.8 kA coaxial cable, middle panel) 1.54 kA twisted stacked tapes, lower panel) 2.6 kA Roebel cable; c) the 70 kA HTS current lead for ITER magnets, produced at the Karlsruhe Institute of Technology (source: <http://www.iter.org/newsline/169/652>); d) Site of the Albany Cable Project on the National Grid electrical network in Albany, NY (Blue = 350 m long 1G HTS Cable, Yellow = 30 m 2G HTS Cable), right panel: Sumitomo 3-in-1 2G HTS power cable configuration; e) typical layout of a HTS generator for multi-MW wind turbines [25] f) prototype of superconducting rotating machines developed by ENEA: (upper image) MgB<sub>2</sub> based radial machine operating at LHe (activity carried out in the framework of ENEA-EDISON-Ansaldo CRIS contract) and (lower image) prototype of axial machine operating in LN<sub>2</sub> made with field excitation armature consisting of 8 YBCO coils arranged in a circular path with radius 12 cm (activity carried out in the framework of SURE:ARTYST)

viability have been widely demonstrated and successful installation of commercial devices in real grid has been shown last year<sup>[14]</sup>. Synchronous condensers are special rotating machines that can provide dynamic power factor control and regulation on transmission and distribution networks. The introduction of HTS rotor coils renders the machine more efficient and it produces many times more reactive power than a similarly-sized commercial machine. Both applications are the most mature technologies in the energy sector ready for commercialization<sup>[15]</sup>.

A field that has recently found new increased interest is the Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES), e.g., for uninterruptable power sources at customer sites (local application) or to stabilize fluctuations of the electric grid (large scale application). SMES systems use superconducting magnets to store

energy in a magnetic field very efficiently (greater than 95%), offering the advantages of instantaneous energy discharge and a theoretically infinite number of recharge cycles. As example of large scale commercial level prototype SMES, it is worth mentioning the collaboration (funded by DOE with \$4.2 M) among engineering company ABB and superconducting 2G wire manufacturer SuperPower, Brookhaven National Laboratory, and the University of Houston for the development of a 1-2 MWh commercial-scale device that is cost-competitive with lead-acid batteries<sup>[16]</sup>. Other national projects for MJ class HTS wire SMES are active in Korea and Japan. A detailed overview on recent SMES projects and perspectives can be found in [17]. Superconducting cables and transformers offer not only reductions of losses, size and weight, but also oil-free operation. These aspects are very significant, e.g.,

in densely populated cities when the electric grid has to be upgraded, or in mobile applications like trains. In Albany (NY, USA), the longest underground HTS power cable connecting 2 grid substations has been installed since 2005, and is still operating. The project, funded by DOE with \$ 13.5 M, has been carried out by 2G wire manufacturer Superpower, Sumitomo Electric Industries as cable maker, Linde for cooling technology and NY National Grid company<sup>[18]</sup>. Even though there are many world-wide active projects in power transmission cable, this application is not considered fully ready to enter the market<sup>[19]</sup>. Further improvements in ancillary technologies such as cryogenic efficiency and cryostat reliability will be decisive for commercialization.

Employing superconductors in electrical motors and generators reduces the excitation losses, increases the magnetic flux density, allows to eliminate ferromagnetic cores and reduces weight<sup>[21]</sup>. Low speed HTS machine are expected to find applications in the next few years as generators, rated up to 10 MW for multi-MW wind turbines, and as ship propulsion motors, rated up to 40 MW. In 2007, the world's highest torque motor at 36.6 MW for US Navy was built with HTS field windings<sup>[21]</sup>. The trend toward larger multi-MW wind turbine and the need to reduce operations, maintenance and installation costs, particularly for

offshore plants, can be satisfied by the application of superconductivity to direct-drive wind-turbine generators<sup>[10]</sup>. The expected potential of superconducting technology for wind turbine is confirmed by some important research projects launched around the world<sup>[22]</sup>.

## Conclusions

In this review, the perspectives of the HTS materials for applications in large scale electrical devices have been reported. Reliable technologies for manufacturing high current tapes based on BiSCCO and ReBCO materials are presented and discussed emphasizing the main relevant features in view of applications. The BiSCCO 1G technology is mainly limited by material costs while on the more recent ReBCO 2G tapes, despite the complex manufacturing process, perspectives are placed in the highly cost-competitive energy sector. In fact, unlike 1G, 2G tapes present large margins for cost reduction by the development of an industrial process more adequate for the mass production and there is still room for improvements in the tape performances. As a consequence, in 5-10 years, the conductor costs/performance ratio is expected to reach a level adequate for market diffusion of HTS technology. ●

### HTS activity in ENEA

The ENEA Superconductivity Laboratory is the largest Italian group working on applied superconductivity and stems from the first Italian team working on superconductivity born in Frascati in 1961.

Research activities related to HTS materials are mainly focused on ReBCO materials and on the development of YBCO based coated conductors and cover several aspects ranging from the fundamental physics to the material science and applications (motors, generators, magnets). The Superconductivity Laboratory developed one of the earliest non magnetic textured substrates (ENEA patent). It was one of the first group studying ternary Ni-, and more recently, Cu- based alloys as substrates for coated conductors. In view of process simplification chemical techniques with liquid solution precursors were studied and successfully transferred to coated conductor production process. Nano-structured YBCO by introduction of BaZrO<sub>3</sub> secondary phase was deposited and studied for optimization of the pinning strength. Recently, the Superconductivity Laboratory has joined two important HTS projects: SURE: ARTYST (coordinated by ENEA) funded by Ministry of University and Research in the framework of FIRB "Futuro in Ricerca", program for the study of solution based chemical deposition techniques and pinning mechanisms, and EUROTAPES, funded by European Union in the framework of the FP7 program in which ENEA is partner of the most important European institutions, academies and private companies operating in the HTS field.

The Superconductivity Laboratory has solid expertise on textured substrate development, deposition of heterostructures on metallic substrates for YBCO coated conductors and flux pinning properties. It hosts a comprehensive Laboratory for textured metallic substrate preparations, for bulk synthesis and for thin film depositions and characterizations by means of micro-structural investigations by AFM/STM, SEM and XRD and superconducting properties by both dc transport and magnetic measurements.

1. H. Kamerlingh Onnes, research notebooks 56 and 57, Kamerlingh Onnes Archive, Boerhaave Museum, Leiden, the Netherlands.
2. J. E. Kunzler, et al. (1961), *Superconductivity in Nb3Sn at high current in a magnetic field of 88 kgauss*, *Phys. Rev. Lett.* Vol. 6 pp. 89-91.
3. G. Bednorz, and A. Muller (1986), Possible superconductivity in the Ba-La-Cu-O system, *Z. Phys. B* Vol. 64 pp. 189-193
4. D. Dimos, et al. (1988), "Orientation Dependence of Grain-Boundary Critical Currents in YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> Bicrystals", *Phys. Rev. Lett.* Vol. 61 pp. 219 - 222
5. More details: Sumitomo Electric Industries (J): <http://global-sei.com/super/index.en.html>; Innova Superconducting Technology – InnoST (China): <http://www.innost.com/>; Bruker Energy & Supercon Technologies – BEST (D): <http://www.bruker-est.com/>;
6. D. Norton, et al. (1996) "Epitaxial YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> on Biaxially Textured Nickel (001): An Approach to Superconducting Tapes with High Critical Current Density", *Science* Vol. 274 pp. 755-757.
7. Navigant Consulting, Burlington, MA, USA [www.navigantconsulting.com](http://www.navigantconsulting.com)
8. J. Mac Manus Driscoll, et al. (2004), "Strongly enhanced current densities in superconducting coated conductors of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> + BaZrO<sub>3</sub>", *Nat. Mater.* Vol. 3 pp. 439-443; V. Galluzzi, et al. (2007), "YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> Films With BaZrO<sub>3</sub> Inclusions for Strong-Pinning in Superconducting Films on Single Crystal Substrate", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* Vol. 17 pp. 3628-3631.
9. V Selvamanickam, Super Power Inc. And University of Houston, presented at Applied Superconductivity Conference 2010, Washington DC 1 – 6 August 2010
10. A. B. Abrahamsen, et al. (2010), "Superconducting wind turbine generators", *Supercond. Sci. Technol.* 23, 034019
11. A. Ballarino (2011), Alternative design concepts for multi-circuit HTS link systems, *IEEE Trans. Appl. Supercond.* Vol. 21 pp. 980-983.
12. see <http://www.magnet.fsu.edu/>
13. data extracted from Conectus, Consortium of companies determined to use superconductivity (<http://www.conectus.org/>).
14. for a comprehensive overview on recent projects: J. Bock, et al. (2011), HTS Fault current limiters-first commercial devices for distribution level grids in Europe, *IEEE Trans. Appl. Supercond.* Vol. 21 pp. 1202-1205
15. see for example: Advanced Magnet Lab <http://www.magnetlab.com/> and American Superconductor <http://www.amsc.com/>
16. <http://www.technologyreview.com/energy/35069/page1/>
17. P. Tixador (2011), SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) present status and future, presented at First Workshop on Energy Management for Large Scale Research Infrastructures, 13-14 October 2011 at Sparta in Lund, Sweden.
18. <http://www.superpower-inc.com/content/hts-transmission-cable>
19. See proceedings of 2010 Applied Superconductivity Conference (*IEEE Trans. Appl. Supercond.* Vol. 21 2011) for reports on projects in Europe, Japan and Korea.
20. J. F. Gieras (2009) "Superconducting electrical machines state of the art", *Przegł d Elektrotechniczny* Vol. 85 pp. 1 - 19
21. P. Barnes, et al. (2005), Review of high power density superconducting generators: present state and prospects for incorporating YBCO windings, *Cryogenics* Vol. 45, p. 670
22. For a comprehensive overview on recent projects: G. Arsuffi, and G. Celentano (2011), IEA Wind turbine development, proceedings of SOWIT – Superconductivity for Off-shore Wind Turbine – October 24 2011 Rome.





# The evaluation of the reference earthquake for the siting of high risk industrial plants

Aim of this paper is to recommend a methodology for the proper assessment of the risk associated with the operation of hazardous industrial plants, largely distributed all around the world, with emphasis on the potential earthquake effects. This type of risk, in-fact, in the Author's opinion is still very poorly understood by society. The industrial Augusta-Priolo Gargallo area has been chosen as an example

■ Leonello Serva, Fiorenzo Fumanti

## La valutazione del rischio di incidente rilevante dovuto a terremoti nella scelta dei siti di impianti industriali

In questo lavoro viene proposta una metodologia per la valutazione del rischio associato al funzionamento di impianti a rischio di incidente rilevante, diffusi in tutto il mondo, con particolare enfasi agli effetti di potenziali terremoti. È opinione degli Autori che tale tipo di rischio sia poco conosciuto dalla società. Come caso di studio è stata scelta l'area industriale di Augusta-Priolo Gargallo

The last strong earthquakes that have affected very populated areas (Kocaeli, Turkey, Aug. 17 1999,  $M_w=7.4$ , Figure 1; Guyarat, India, Jan. 26 2001,  $M_w=7.7$ ; Tohoku, Japan, Mar. 11 2011,  $M_w=9.0$ , Figure 2) have clearly highlighted that high risk plants, such as chemical plants and refineries, can be deeply affected and therefore, as the Nuclear Power Plants (NPPs), can create significant additional risk to human beings, property and the environment.

In this paper we want stress the concept that, because

of what stated above, it is time to apply the siting approach also to these facilities. As for the NPPs, it can be applied also *a posteriori* and, because of that, a priority should be given to the existing very industrialized areas of the world in order to be aware with the level of risk there present and start appropriate actions, if necessary. The case of the Italian Augusta-Priolo Gargallo (Syracuse, Sicily) area is here examined.

**Methodology**  
(summarised and customised from the IAEA Technical Guide Series No. SSG-9)

Siting is the process of selecting a suitable location for any type of facilities, based on the appropriate assessment and definition of the design parameters in order to protect the facility from environmental hazards and to

■ Leonello Serva  
Past Coordinator of the Working Group ISPRA for the technical support to IPPC/AIA Commission of MATTM. Member of Scientific Committee of ISSC of IAEA

■ Fiorenzo Fumanti  
ISPRA - Geological Survey of Italy

minimize the impact of the plant to the environment.

Safety is in fact the achievement of:

- proper operating conditions,
- prevention of accidents or
- mitigation of accident consequences,

resulting in protection of workers, the public and the environment from undue toxic hazards.

As said above, siting is the demonstration of the accep-



**FIGURE 1** Tupras Refinery, Korfez, Izmit Bay (Turkey). August 17, 1999, M=7.4 earthquake  
Source: Gayle Johnson, 2002



**FIGURE 2** Fire boats fighting against a blaze at the Cosmo Oil facility in Ichihara City, Chiba Prefecture near Tokyo March 12, 2011  
Source: REUTERS/Kyodo, In Focus by Alan Taylor, The Atlantic

tability of the site on the basis of established criteria and derivation of the site-related design bases for the facility. The proper team to perform the job is composed by experts in power engineering, chemical engineering, ecology, demography, emergency planning civil engineering, soil mechanics, geology, seismology, hydrology, meteorology.

Therefore siting results in the analysis of:

- effects of the region on the plant – i.e., external events occurring in the region, which could be of natural or man-induced origin,
- effects of the plant on the region – i.e., characteristics of the site and its environment which could influence the transfer of released contaminants to persons and to the environment,
- population characteristics of the region (i.e., density, distribution and others) in relation to the possibility of implementing emergency measures.

Possible natural phenomena and human induced situations and activities in the region shall be identified and evaluated according to their significance for the safe operation of the facility. Pre-historical, historical and instrumentally recorded information and records of the occurrences of such events shall be collected and evaluated. Appropriate methods shall be used for establishing the hazards associated with major external phenomena.

The size of the region shall be large enough to include all features and areas that could be of significance in the determination of the following hazards: Seismicity and surface faulting, Subsurface material, Vulcanism, Flooding, Extreme meteorological phenomena, Human induced events, Dispersion in air and water, Population distribution, Emergency planning, Land use, Availability of cooling water, Others.

### Seismic hazard and the case of Augusta-Priolo Gargallo

Usually the plants with high risk of accident are aggregated in industrial complexes where several activities are carried out. Particularly representative of the problems related to the high concentration of industrial activities and their interaction with natural phenomena is the Augusta-Priolo Gargallo territory, historical-

ly affected by violent earthquakes and high-intensity tsunami events (Table 2). At present, the area presents more plants with high accident risk (three refineries, two petrochemical plants, one gas storage plant, one explosive deposit, one thermoelectric plant with heavy refinery residues combustion, three mineral oil deposits, one gas production plant and a consortium plant for wastewater treatment) and other industrial or energy settlements.

The hazards related to earthquake are:

- the ones linked to the Vibratory Ground Motion (VGM) in term of acceleration, velocity and displacement of the earth surface (Class (1) features that can substantially influence the severity of the design basis earthquakes;
- the ones linked to the associate phenomena of the quake, like the potential: surface faulting (the permanent offsetting or tearing of the ground surface by differential movement across a fault during an earthquake); tsunami (if the area is on the coastline), areal uplifting/subsidence; ground collapse; liquefaction and landsliding (Class (2) features that can have direct influence also on the acceptability of the site.

**Class (1) features**

Class (1) features define the parameters of the ground motion of the design-basis earthquakes. To reach this goal, it is necessary to compile a speci-



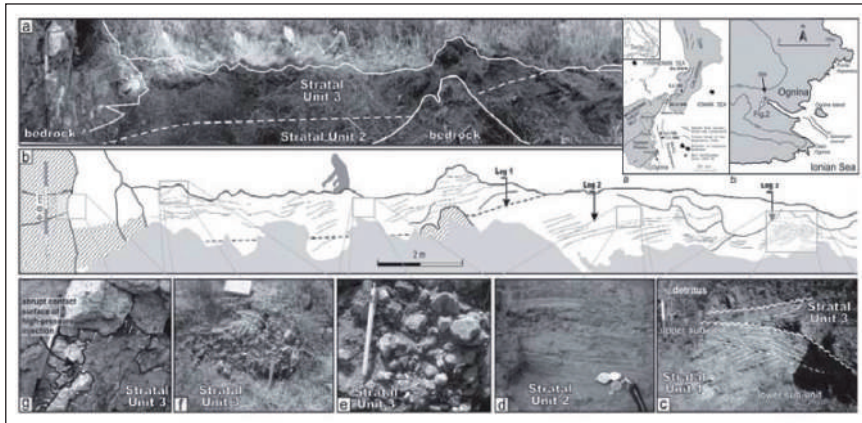
**FIGURE 3** Seismogenic tectonic structures of interest for the definition of the VGM at Augusta-Priolo Gargallo  
Source: APAT, 2004

fic and complete database for the construction of a seismotectonic model from which the potential earthquakes affecting the site can be derived. These earthquakes are then used to define the nature of earthquakes used as a basis for design of the facility. Thus, it is essential to obtain an integrated geological and seismological database. The elements of this database should be studied in greatest detail in the

| Seismogenic source              | Minimum distance between site and seismogenic source | Estimated hypocentral depth | Maximum Magnitude | Geometry of the source     | Tectonic Style |
|---------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------|
| Malta Escarpment-W Catania Gulf | 21 km  | 10-15 km<br>20-25 km        | 7.2<br>7.4        | 340° (strike)<br>60° (dip) | Extensional    |
| Malta Escarpment-E Catania Gulf | 37 km  | 10-15 km<br>20-25 km        | 7.2<br>7.4        | 340° (strike)<br>60° (dip) | Extensional    |
| Lentini Graben                  | 18 km  | 10-15 km<br>20-25 km        | 6.2<br>6.4        | 250° (strike)<br>60° (dip) | Extensional    |
| Climiti Mount                   | 8 km   | 10-15 km<br>20-25 km        | 5.7<br>5.9        | 320° (strike)<br>60° (dip) | Extensional    |
| Avola - Noto                    | 30 km  | 10-15 km<br>20-25 km        | 6.0<br>6.2        | 30° (strike)<br>60° (dip)  | Extensional    |

**TABLE 1** Characteristics of the seismogenic sources of Figure 3





**FIGURE 5** Geological evidence of paleotsunami in the Augusta-Priolo Gargallo area (Ognina section, events)  
 Source: Scicchitano et al., 2008

zard in the Augusta-Priolo Gargallo, it is first important the definition of this feature, that is: a fault is considered capable if it shows evidence of past movement (significant deformation and/or dislocation) of a recurring nature within such a period that it is reasonable to infer that further movement can occur at, or near the surface. In highly active areas, where both earthquakes and geological observations consistently reveal short earthquake recurrence intervals, periods of the order of tens of thousands of years

may be appropriate for the assessment of capable faults. In less active areas, it is likely that much longer periods may be required. When faulting is known or suspected, investigations should include detailed geological-geomorphological mapping, topographical analyses, geophysical (including geodesy, if necessary) surveys, trenching, boreholes, determining ages of faulted sediments or rocks, local seismological investigations and any other appropriate techniques, to ascertain when the last movement occurred.



**FIGURE 6** Scattered boulders deposited on the Priolo coastal area after the 1169 and 1693 Tsunami events  
 Source: Scicchitano et al., 2007

| Id_Code | Year | Month | Day | Subregion          | Reliability | Cause | Earthquake Intensity | Earthquake Magnitude | Tsunami Intensity |
|---------|------|-------|-----|--------------------|-------------|-------|----------------------|----------------------|-------------------|
| 3       | 1169 | 2     | 4   | Sicilia Orientale  | 4           | ER    | 10                   | 6.6                  | 4                 |
| 4       | 1329 | 6     | 28  | Sicilia Orientale  | 2           | VA    |                      |                      | 3                 |
| 14      | 1693 | 1     | 9   | Sicilia Orientale  | 2           | ER    | 8.5                  | 6                    | 2                 |
| 15      | 1693 | 1     | 11  | Sicilia Orientale  | 4           | ER    | 11                   | 7.4                  | 5                 |
| 26      | 1783 | 2     | 5   | Calabria tirrenica | 4           | EA    | 11                   | 6.9                  | 4                 |
| 27      | 1783 | 2     | 6   | Stretto Messina    | 4           | EL    | 8.5                  | 5.9                  | 6                 |
| 38      | 1818 | 2     | 20  | Sicilia Orientale  | 4           | EA    | 9                    | 6                    | 2                 |
| 54      | 1908 | 12    | 28  | Stretto Messina    | 4           | ER    | 11                   | 7.2                  | 6                 |
| 66      | 1990 | 12    | 13  | Sicilia Orientale  | 4           | ER    | 7                    | 5.7                  | 2                 |

Reliability: 0 very improbable; 1 improbable; 2 questionable; 3 probable; 4 definite.

Cause: EA earthquake associated; VA volcano associated; ER submarine earthquake.

Intensity of tsunamis: 1 very light; 2 light; 3 rather strong; 4 strong; 5 very strong; 6 disastrous (Sieberg-Ambraseys Tsunami Intensity Scale)

**TABLE 2** Tsunami occurred in the Ionian coast of south-eastern Sicily during the last millennium according to the catalogue of Tinti et al. (2004)

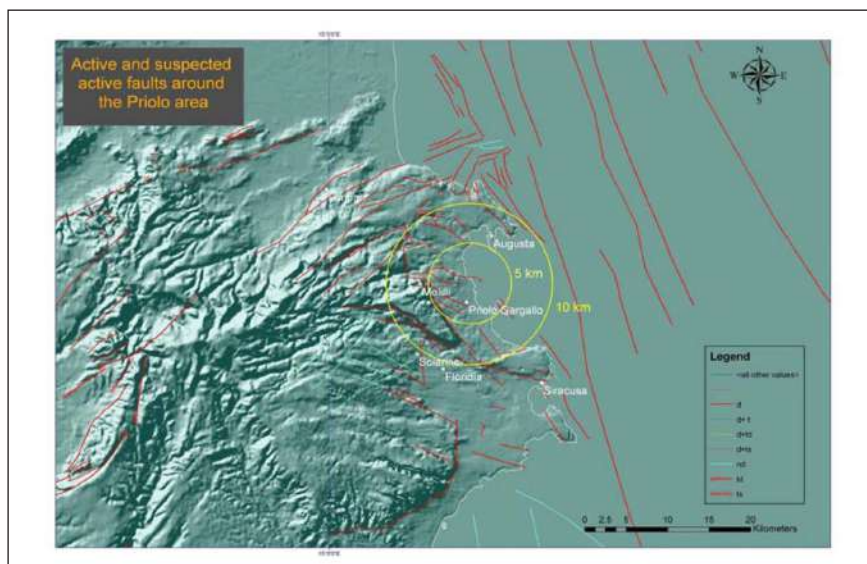
In Figure 7 the potential capable faults located in the near vicinity of the Priolo Gargallo site are reported. Two technical solutions to face this problem are represented in Figure 8 and 9 (see the details in the figures).

#### A final hypothesis

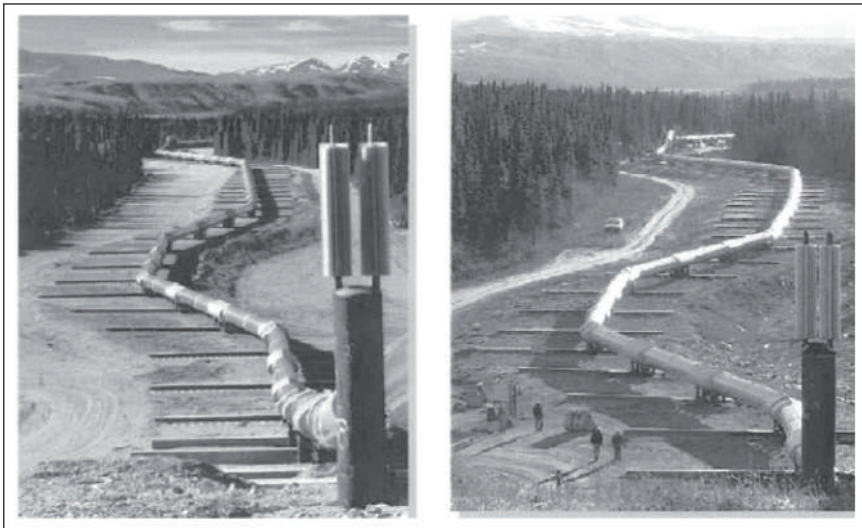
The details required on the database (quality, quantity and type of geological, geophysical, seismologi-

cal and engineering data) should be strictly linked to the level of risk/environmental impact of the high risk plant under analysis. In Figure 10 a comparison between these facilities, the civil constructions and the NPPs is reported.

It is evident that there are no high risk plants having the same level of risk of an NPP, however an industrial area containing different types of plants,



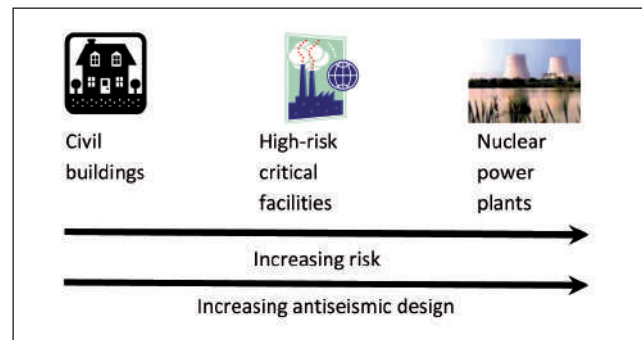
**FIGURE 7** Capable and suspected capable fault around the Priolo Gargallo area  
Source: ISPRA, ITHACA Project



**FIGURE 8** Trans-Alaska Pipeline - Before and after the 2002 earthquake. At the Denali Fault crossing, the pipeline is supported on 33 steel box beams and concrete beams. These beams were sized and arranged to accommodate a fault slip. Note movement and bowed segment after fault displacement, which acts to compress the pipeline crossing segment  
 Source: modified after <http://gallery.usgs.gov>



**FIGURE 9** Megara to Korinthos High Pressure Natural Gas Pipeline. Encasing of pipeline at active faults crossings  
 Source: <http://users.ntua.gr/gbouck/proj-photos/megara.html>



**FIGURE 10** Level of risk of High Risk Plants

including some dealing with very toxic substances (Tables 3 and 4), in the Author opinion, should be treated only a little less than an NPP; the Augusta-Priolo Gargallo area and others in the Italian territory should be treated very similar to an NPP. For some aspects, also a single plant dealing with very toxic material located in an intensively populated area (e.g., downtown) and a large dam should be treated in a similar way.

More in general we can say that the methodology should be similar to the NPPs when we are dealing with a system of plants for which an accident

can cause relevant risks on man and/or the natural environment in terms of areal extension and level of contamination. A similar concept is also expressed by Gurpinar, 1997. In such a case, as for the nuclear, we should define, as design earthquake SL2 the maximum potential earthquake, i.e., the ten thousand years return period earthquake. The engineering treatment of this earthquake can be significantly different from the one defined in the nuclear, and this theme is not treated here. Class 2 features should be analyzed with the same details of the nuclear.



It is evident that it is a highly cost approach. However, the benefit is also high in case such event occurs during the plant lifetime. In any case, I believe that the owners of these plants could work in a weighted synergy (in terms of cost/risk reduction benefit) for the solution of the problem, and public institutions, at national and local scales, should help the owners of such plants, by providing not only guidance but also data and expertise; in this regard the Italian System of the Environmental Agencies (ISPRA-ARPA-APPA) can play a significant role.

In the meantime the detail is minor if we are dealing with hazardous plants (Table 3 or the ones treating material reported in Table 4 that are taken from the “Seveso2” Law) not located in a large industrial area and, more in general, for plants having minor risk but requiring an emergency plan. In this case, the 500-1000 years return period earthquake, as SL2, could be adequate. An approach of this type is reported in Barone et al., 1998. Still minor should be the geological and seismological database for an oil pipeline, a strategic communication center, a sludge plant. It is important, however, to point out that also in this case the data coming from the rich Italian historical seismic catalogues could not be sufficient for the solution to the problems. In particular, the geological stability of the site under static and dynamic loads should always be proved and the existing catalogues are still incomplete for several areas of the Italian territory, as proved by

|                 |   |
|-----------------|---|
| For Man         | Large VLPG storage plants               |
|                 | Large Chlorine storages                 |
|                 | Phosgene storages and process users     |
| For Environment | Large diesel oil or fuel oil tank farms |

**TABLE 3** Most hazardous industrial plants



| Dangerous substances  | Qualifying quantity (tonnes)<br>for the application of the Law |       |
|---|--|-------|
| Ammonium nitrate  | 350  | 2500  |
| Ammonium nitrate  | 1250   | 5000  |
| Arsenic pentoxide, arsenic (V) acid and/or salts  | 1  | 2     |
| Arsenic trioxide, arsenious (III) acid and/or salts   | -  | 0,1   |
| Bromine   | 20   | 100   |
| Chlorine  | 10   | 25    |
| Nickel compounds in inhalable powder form<br>(nickel monoxide, nickel dioxide, nickel sulphide, trinickel disulphide, dinickel trioxide)  | -  | 1     |
| Ethyleneimine   | 10   | 20    |
| Fluorine  | 10   | 20    |
| Formaldehyde (concentration ( 90 %)   | 5  | 50    |
| Hydrogen  | 5  | 50    |
| Hydrogen chloride (liquefied gas)   | 25   | 250   |
| Lead alkyls   | 5  | 50    |
| Liquefied extremely flammable gases (including LPG) and natural gas   | 50   | 200   |
| Acetylene   | 5  | 50    |
| Ethylene oxide  | 5  | 50    |
| Propylene oxide   | 5  | 50    |
| Methanol  | 500  | 5000  |
| 4, 4-Methylenebis (2-chloraniline) and/or salts, in powder form   | -  | 0.01  |
| Methylisocyanate  | -  | 0.15  |
| Oxygen  | 200  | 2000  |
| Toluene diisocyanate  | 10   | 100   |
| Carbonyl dichloride (phosgene)  | 0,3  | 0.75  |
| Arsenic trihydride (arsine)   | 0,2  | 1     |
| Phosphorus trihydride (phosphine)   | 0,2  | 1     |
| Sulphur dichloride  | 1  | 1     |
| Sulphur trioxide  | 15   | 75    |
| Polychlorodibenzofurans and polychlorodibenzodioxins (including TCDD),<br>calculated in TCDD equivalent   | -  | 0.001 |
| The following CARCINOGENS: 4-Aminobiphenyl and/or its salts, Benzidine and/or salts,<br>Bis(chloromethyl) ether, Chloromethyl methyl ether, Dimethylcarbamoyl chloride,<br>Dimethylnitrosamine, Hexamethylphosphoric triamide, 2-Naphtylamine and/or salts,<br>and 1,3 Propanesultone 4-nitrodiphenyl | 0.001  | 0.001 |
| Automotive petrol and other petroleum spirits   | 5000   | 50000 |

**TABLE 4** Dangerous substances according to the “Seveso2” Law

the ongoing paleoseismological techniques (Michetti et al., 2000).

It is important to point out here that also other non industrial structures, like bridges, communication facilities, galleries, can play a significant role in the risk reduction, especially in emergency phases. It is well known, in fact, that these structures in a young geological framework, such as Italy, can be crossed by active (capable) fault (Azzaro et al., 1998) and because of that, I believe that also these structures should be considered as the third categories of industrial plants. Regarding these long structures, the limit of the acritical application of the Gutenberg-Richter relationship as described by Mochan et al., 1997 should be emphasized and so should the great importance of the realistic definition of the differential motion of bridges and lifelines, since it enables

to take into account wave passage, loss of coherency and site effects, making the deterministic seismosynthesis (e.g. Panza et al., 2001) particularly suitable for our purposes.

On the other hand, the quantity and quality of data could be much higher than required for NPPs, this is the case of sites for high level radioactive waste. In such case, in particular, the stability of the site should be demonstrated for periods of tens or hundreds thousands of years.

At this point it is important to point it out that siting can be done also if the plant is already existing. In such a case, it permits to define engineering solutions to increase its safety. This work, in the nuclear, has been and is presently done successfully and without a significant economical cost, for many Eastern European plants. ●

references

- R. Azzaro, L. Ferrel, A.M. Michetti, L. Serva, E. Vittori, *Environmental hazard of capable faulting: the case of the Pernicana fault (Mt. Etna, Sicily)*. Natural Hazards. U. K., vol. 17, pp.147-162, 1998.
- APAT, *La messa in sicurezza dell'area industriale di Priolo-Augusta rispetto ai rischi da terremoto e maremoto*. Rapporti APAT, vol. 41, 28 pp, 2004
- D. Barone, G. Macchi, G. Petrangeli (Coord.), A. Pugliese, A. Ricchiuti, T. Sanò, *Comitato Termotecnico Italiano, Sottocomitato 7: Gruppo "Tecnologie di Sicurezza". Proposte di Linee guida per la verifica sismica di impianti a rischio di incidente rilevante esistenti*. Unpublished, 1998.
- P.E. Gayle Johnson, *Refinery Damage and Emergency Response in the 1999 Izmit, Turkey Earthquake*. California state land commission, *Prevention First symposium proceedings 2002*. [http://www.slc.ca.gov/Division\\_Pages/MFD/Prevention\\_First/Documents/2002/Paper%20by%20Gayle%20Johnson.pdf](http://www.slc.ca.gov/Division_Pages/MFD/Prevention_First/Documents/2002/Paper%20by%20Gayle%20Johnson.pdf)
- A. Gurpinar, *A review of seismic safety considerations in the life cycle of critical facilities*. Journal of Earthquake Engineering, Vol.1, pp. 57-76, 1997
- IAEA, *Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations Specific Safety Guide*. Series No. SSG-9, 2010.
- IAEA, *Site survey and Site Selection for Nuclear Installations*. DS433, Safety Series 50-SG-S9, 1984.
- A.M. Michetti, Blumetti A.M., Esposito E., Ferrel L., Guerrieri L., Porfido S., Serva L. e Vittori E., *Earthquake Ground Effects and Seismic Hazard Assessment in Italy: Examples from the Matese and Iripnia areas, Southern Apennines*. In: "Active Fault Research for the New Millennium", Proceedings of the Hokudan Symposium and School on Active Faulting, pp. 279-284, 2000.
- G. Molchan, T. Kronrod, G.F. Panza, *Multi scale seismicity for seismic risk*. BSSA, Vol. 87, no 5, pp. 1220-1229, 1997.
- G.F. Panza, F. Romanelli, F. Vaccari, *Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and application to the seismic zonation*. Advances in Geophysics, vol. 43, pp. 1-95, 2001.
- L. Serva, *An analysis of the major regulatory guides for NPP seismic design (a guideline for high risk facilities)*. Energia Nucleare, Anno 10, n. 2, maggio-agosto 1993, pp. 77-96, 1993.
- L. Serva, A.M. Blumetti, L. Guerrieri, A.M. Michetti, *The Apenninic intramountain basin: the results of repeated strong earthquakes over a geological time interval*. Atti del Convegno: *Evoluzione geologica e geodinamica dell'Appennino* - In memoria del Prof. Giampaolo Pialli. Foligno, 16-18 febbraio 2000.
- G. Scicchitano, C. Monaco, L. Tortrici, *Large boulder deposits by tsunami waves along the Ionian coast of south-eastern Sicily (Italy)*, Marine Geology, vol. 238, pp. 75-91, 2007.
- G. Scicchitano, Costa B., Di Stefano A., Longhitano S.G., Monaco C., *Tsunami deposits in the Siracusa coastal area (south-eastern Sicily)*. Rendiconti della Società Geologica Italiana, 6, pp. 37-41, 2008.
- A. Smedile, De Martini P.M., Barbano M.S., Gerardi F., Pantosti D., Pirrotta C., Cosentino M., Del Carlo P. & Guarnieri P., *Identification of paleotsunami deposits in the Augusta Bay area (eastern Sicily, Italy): paleoseismological implication*. XXVI Convegno GNGTS. Extended Abstract Vol., pp. 207-211, 2007.
- S. Tinti, Maramai, A., Graziani, L., *The new catalogue of Italian tsunamis*. Nat. Hazards 33, pp. 439-465, 2004.

# Ionizing radiation metrology in cancer radiation therapy

The function of metrology, the science of measurement, is fundamental to the correctness of the therapeutic dose delivered to the patients and to the improvement of the cure rate. The standardization of the clinical dosimetry worldwide is achieved through the development of adequate standard instruments and of traceable dosimetry chains, which act as unbroken link between primary and clinical measurement. The paper deals with the main recent scientific achievements of the National Institute for Ionizing Radiation Metrology of ENEA (ENEA-INMRI) in external beam radiotherapy dosimetry, in dosimetry for brachytherapy and in nuclear medicine. The ENEA-INMRI activities undertaken in the framework of recent European Research Projects, jointly carried out with other National Metrology Institutes in Europe, are briefly outlined. The development of the ENEA-INMRI national standards and the establishment of new metrological chains are part of the international effort towards the optimization of radiation therapy treatments. The ENEA-INMRI achievements described in the paper show to what extent the Italian ionizing radiation metrology is contributing to the worldwide fight against cancer

■ *Maurizio Bovi, Marco Capogni, Claudio Caporali, Marco D'Arienzo, Pierino De Felice, Antonio Stefano Guerra, Maria Pimpinella, Massimo Pinto, Maria Pia Toni*

## La metrologia delle radiazioni ionizzanti nella radioterapia dei tumori

La metrologia delle radiazioni ionizzanti svolge un ruolo importante nel garantire l'accuratezza della misura della dose in ogni fase delle procedure radioterapiche messe in atto per il trattamento dei tumori. La funzione della metrologia, la scienza della misurazione, risulta fondamentale per la correttezza della dose terapeutica somministrata ai pazienti e il miglioramento delle percentuali di guarigione. La standardizzazione della dosimetria clinica su scala mondiale si ottiene attraverso lo sviluppo di adeguati strumenti campione e di catene dosimetriche riferibili, che fungano da legame ininterrotto tra la misurazione a livello primario e quella a livello clinico. L'articolo presenta i principali e più recenti risultati scientifici dell'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA (ENEA-INMRI) nella dosimetria per radioterapia con fasci esterni, nella dosimetria per brachiterapia e nella medicina nucleare. Vengono brevemente descritte le attività svolte dall'ENEA-INMRI nell'ambito di recenti progetti di ricerca europei svolti in collaborazione con altri istituti nazionali di metrologia europei. Lo sviluppo dei campioni nazionali dell'ENEA-INMRI e la creazione di nuove catene metrologiche fanno parte dell'impegno internazionale rivolto all'ottimizzazione dei trattamenti di radioterapia. I risultati ottenuti dall'ENEA-INMRI e descritti in questo articolo delineano in quale misura la metrologia italiana nel campo delle radiazioni ionizzanti riesca a contribuire su scala internazionale alla lotta contro il cancro

■ *Maurizio Bovi, Marco Capogni, Claudio Caporali, Marco D'Arienzo, Pierino De Felice, Antonio Stefano Guerra, Maria Pimpinella, Massimo Pinto, Maria Pia Toni*  
ENEA, National Institute of Ionizing Radiation Metrology

**A**ccording to most recent literature findings, in Europe in 2008 there was an estimate of 3.2 million cancer cases diagnosed (excluding non-melanoma skin cancers), 53% (1.7 million) occurring in men and 47% (1.5 million) in women. There were 1.72

million estimated deaths from cancer, corresponding to 56% (0.96 million) in men and 44% (0.76 million) in women (Ferlay et al 2010). In terms of the number of deaths caused per year, cancer ranks second in the European mortality statistic, behind cardiovascular diseases. Tumours can be eradicated by ionizing radiation irradiation. Approximately 5% of all cancer patients receive radiation therapy of some form (including external beam and brachytherapy), either alone or in combination with other treatment modalities such as surgery or chemotherapy (Delaney et al 2005). Hence, any improvement in the efficacy of radiation therapy will benefit a large number of patients. Radiation therapy has a firm scientific foundation and is used to kill cancer cells selectively or to keep them from proliferating. The accurate knowledge of the dose imparted to the tumour is fundamental in studies of biological effects of irradiation as well as in clinical radiotherapy practice. In fact, scientists and radiotherapists communicate with each other sharing information about absorbed dose levels that produce tumour control without causing severe injury to normal tissues, for a given treatment plan and irradiation technique. For an effective scientific communication, it is essential that these dose levels be based on SI-traceable and accurate measurements with a well stated uncertainty. By definition, clinical measurements are traceable if they can be related to a common national or international reference standard through a documented unbroken chain of calibrations, each contributing to the measurement uncertainty. The dose imparted to cancer patients must be known within a narrow band of uncertainty to avoid either damage to the healthy tissue, resulting from exceeding internationally-agreed tolerance levels, or lack of tumour control, due to a too low dose delivered to the target volume. The general consensus is that a change in the delivered dose to the patient by more than 5% may cause a relevant change of the tumour control probability and may result in an increased healthy tissue complication probability (ICRU 1976, Andreo 2010). Radiation metrology, through the development of adequate primary and secondary standards and traceable dosimetry chains, plays a key role

in ensuring the accuracy of the dose measurement in each step of the radiotherapy procedures and in standardizing the clinical dosimetry worldwide. The different types of radiation and treatment modalities used in radiotherapy are constantly evolving and this continuously gives rise to new problems in ensuring the traceability of measurements in clinical practice.

A precondition for a successful implementation/improvement of radiotherapy techniques is the availability of a sound metrological basis to the assessment of the administered dose. Today, this basis is well available in dosimetry for conventional external beam radiotherapy where metrology has been deeply involved and has had time to establish a robust global network of primary standards of absorbed dose to water, the quantity of interest in all radiotherapy modalities. In the case of most recent and innovative therapeutic methods in the fight against cancer, like Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT), brachytherapy, and molecular radiotherapy, there is still an urgent requirement for a solid underpinning metrology. In these areas it is necessary to develop all the steps of specific dosimetry chains more effectively, in order to optimize the dose given to the patient receiving radiotherapy. This requires establishing dedicated primary and/or secondary standards, calibrating specifically-designed reference, and field instruments up to special procedures for the verification, at clinical level, of the dose in and around the tumour.

The ENEA National Institute for Ionizing Radiation Metrology (ENEA-INMRI) is strongly and constantly involved in metrological activities for cancer radiation therapy. It has developed new primary and secondary national standards of absorbed dose to water, and has established metrological and dosimetry chains traceable to these standards. Since the eighties, ENEA-INMRI has been giving a contribution to the development and the publication of guidelines of good practice measurement at national and international level (AIFB 1988, Piermattei et al 1997, Andreo et al 2000). Since 2007, ENEA-INMRI has been participating in the research projects of the European Metrology Research Programme (EMRP) funded

by E.C. and coordinated by the European Association of National Metrology Institutes (EURAMET<sup>1</sup>). In the 2008–2011 period, within the EU Seventh Framework Programme, ENEA-INMRI participated in the two EURAMET-EMRP joint research projects of major interest for radiation therapy: the project “External Beam Cancer Therapy” with short name EBCT, and the project “Increasing Cancer Treatment Efficacy Using 3D Brachytherapy” with short name Brachytherapy (Ankerhold and Toni 2012). EMRP is a long-term programme and ENEA-INMRI is currently participating in other newly-started projects and forthcoming ones.

In the following, the roles of metrology in the main fields of radiation therapy are described and the ENEA-INMRI contributions in ensuring the traceability of clinical measurements to the national and international standards and in the advancement of metrology in the different treatment modalities are presented.

### External beam radiotherapy

External beam radiotherapy (EBT) is the most common form of cancer treatment in which the ionizing radiation is targeted at the tumour site from outside the patient's body. EBT is carried out mainly by means of gamma rays, x-rays and electrons, even if in recent years a few radiotherapy centres have been using protons and heavy ions with promising therapeutic results. Therapeutic photon and electron beams are generated by three types of equipment: cobalt units, linear accelerators and superficial and orthovoltage x-ray units. Cobalt units use the <sup>60</sup>Co radioisotope to produce gamma-ray photons with an average energy of 1.25 MeV. Since the development of the first <sup>60</sup>Co teletherapy unit in the early 1950s, cobalt units had been the most widely used radiotherapy radiation source for many years, but during the last two decades their role has partly been replaced by the more versatile linear accelerator. Nowadays cobalt treatment is still important just in specific applications as stereotactic radiosurgery (*i.e.*, the Gamma Knife system). Commercially available medical linear accelerators produce x-

rays and electrons with energy in the range from 4 MeV up to around 25 MeV. Megavoltage x-rays are generally used for treating deep-seated tumours (6-10 MV units are typically used for lung or brain treatments, while 15-18 MV units for pelvic and abdominal regions), while electron beams are useful for treating superficial lesions since the maximum of dose deposition occurs near the body surface. For electrons beams with nominal energies in the range from 4 MeV to 20 MeV, the treatment range is 1 to 5 cm. Superficial and orthovoltage units are similar to the diagnostic x-ray machines and produce x-rays (up to 300 kVp), used for treating skin cancer and superficial tumours.

### Reference dosimetry

To perform a successful cancer treatment with external beams the irradiation must be carefully defined in such a way to deliver a suitable high absorbed dose to the target volume (*i.e.*, the tumour), limiting the dose delivered to the healthy tissues as much as possible. The optimal treatment is obtained using specific software (Treatment Planning System, TPS) for calculating three-dimensional dose distributions starting from the patient's data and the beam characteristics. Thus the accuracy and reliability of measurements for the beam characterization are directly related to the success or failure of the radiation treatment. As a consequence, since the eighties considerable efforts have been made to improve the dosimetry accuracy starting from the beam calibration or measurements in reference conditions to the verification of treatment delivery. Primary standards, measurement techniques, and standardized measurement procedures have been developed and continuously improved to provide sound metrological bases to the dosimetry in EBT. Even if the absorbed dose to water,  $D_w$ , is the reference quantity for radiotherapy, the first standards developed and proposed as a reference were standards of the quantity air kerma. Then, several national and international dosimetry protocols were published to provide parameters and correction factors needed for deriving absorbed dose to water from air kerma (Andreo et al 1987, AIFB 1988). In the meanwhile, many natio-

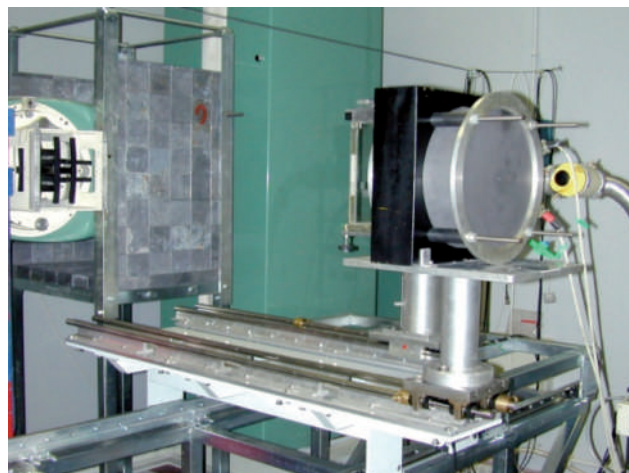
nal standards laboratories, including ENEA-INMRI, developed absorbed dose to water standards and this led to new dosimetry protocols with the advantage of reduced difficulties and uncertainties for the users at the radiotherapy centres (Andreo et al 2000, Almond et al 1999). In the current practice, EBT dosimeters are calibrated in terms of absorbed dose to water in a reference  $^{60}\text{Co}$  beam in reference conditions (10 cm x 10 cm field size and 5 g cm<sup>-2</sup> depth in water). Then dosimetry protocols provide standardized procedures and correction factors as a function of a beam quality specifier that allows to apply a  $^{60}\text{Co}$  calibration coefficient in all types of external beams, except for orthovoltage x-rays for which calibrations are still performed in terms of air kerma. When applying procedures, parameters, and correction factors recommended in the dosimetry protocols, the 1  $\sigma$  uncertainty in reference dosimetry of static broad beams used for conventional radiotherapy lies between 1% and 2%, therefore well within the stated limit of 2.5% (Andreo 2010).

#### *ENEA-INMRI absorbed dose to water standard*

$D_w$  primary standards established by the National Metrology Institutes are based on different measurement techniques like water calorimetry, graphite calorimetry, and ionometry, hence forming a robust system of standards. The reference values of  $D_w$  obtained from the different standards are periodically compared to each other by means of international comparisons and the degree of equivalence among the national standards is registered in the Bureau International des Poids and Mesures (BIPM) data base (<http://kcdb.bipm.org/default.asp>). The  $D_w$  primary standard established at ENEA-INMRI for the  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation (Guerra et al 1996) is based on a graphite calorimeter (Figure 1) and on a conversion procedure that allows to derive absorbed dose to water from absorbed dose to graphite,  $D_g$ , measurements. Graphite is widely used in absorbed dose calorimetry thanks to its similarity to water as regards ionizing radiation interactions and its high temperature diffusivity. Moreover, graphite can be easily machined and this behaviour makes complex designs in calorimeter construction possible (Domen and

Lamperti 1974, Domen 1987, Seuntjens and Duane 2009). The temperature rise in graphite due to irradiation is very small, 1.4 mK per Gy of delivered dose. The calorimeter temperature stability required for absorbed dose measurements is of about 10  $\mu\text{K}$  per minute. The long-term stability of the ENEA-INMRI graphite calorimeter is 0.15% (1 $\sigma$ ). The relative combined standard uncertainty in the absorbed dose to graphite reference value is 0.27%.

The procedure to convert the absorbed dose from graphite to water requires a graphite thick-walled ionization chamber (wall mass thickness 0.5 g cm<sup>-2</sup>), acting as a transfer standard, and two phantoms, one made of graphite and one made of water. The thick-walled chamber is first calibrated in terms of absorbed dose to graphite in the graphite phantom with dimensions identical to the graphite calorimeter. Then the absorbed dose to water is derived from absorbed dose to graphite measured by the thick walled chamber in the water phantom (Figure 2). To achieve a correct dose transfer, different measurement points are chosen in graphite and in water in order to obtain similar radiation energy spectra, thus assuring that the energy response of the transfer chamber does not change when passing from calibration conditions in graphite to measu-

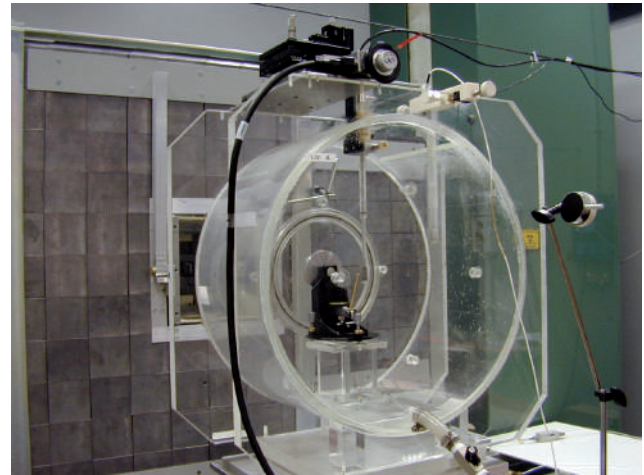


**FIGURE 1** ENEA-INMRI graphite calorimeter for the realization of the absorbed dose to graphite unit in the reference  $^{60}\text{Co}$  beam, for external beam radiotherapy

rement conditions in water. Since the first establishment of the ENEA-INMRI primary standard, considerable work has been done in order to improve its accuracy. At present, the relative combined standard uncertainty in the reference  $D_w$  value is 0.36%. The standard is periodically compared with the analogous standard of the BIPM and the current degree of equivalence to the worldwide  $D_w$  standards is shown in Figure 3 (Kessler et al 2010). Radiotherapy dosimeters are currently calibrated with the present standard at ENEA-INMRI. The dosimeter calibration coefficients are provided with a relative combined standard uncertainty of 0.6%, hence allowing clinical dosimetry in compliance with the international accuracy requirements (Andreo et al 2000).

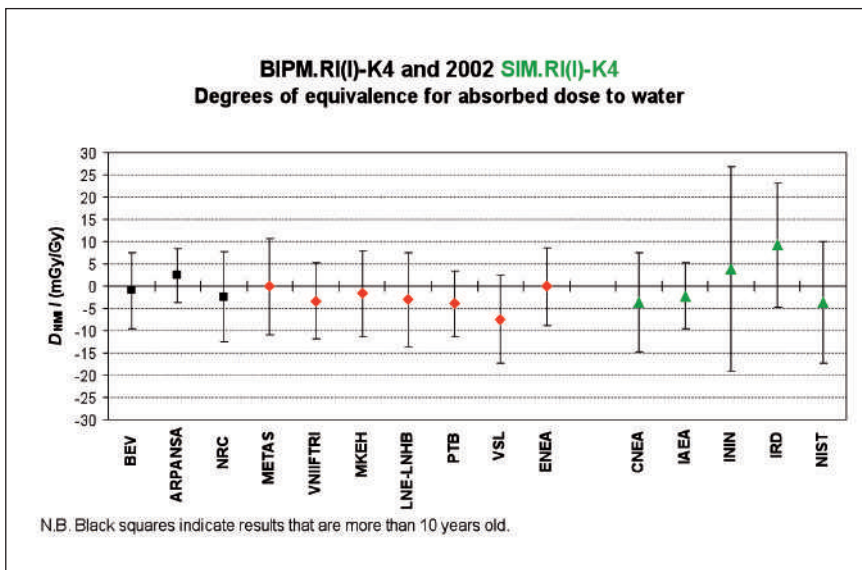
**Dosimetry in small photon beams**

Over recent years new therapeutic modalities like Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT), helical Tomotherapy, and Cyberknife radiosurgery have been introduced in the clinical practice. All these techniques allow the delivery of dose distributions with a high-dose area matching the tumour shape, steep dose gradients in the border area, and low-dose areas in the surrounding healthy tissues and neighbouring organs at risk. These complex dose



**FIGURE 2** Water phantom and thick-walled transfer ionization chamber for the realization of the absorbed dose to water unit at ENEA-INMRI in the reference  $^{60}\text{Co}$  beam, for external beam radiotherapy

distributions are produced by superimposing a large number of small radiation fields (down to 0.5 cm x 0.5 cm), impinging on the patient from different directions. The treatment plans required for these irradiations are very complex and need to be verified by measurements as a matter of patient protection.



**FIGURE 3** Graph of the degrees of equivalence of the absorbed dose to water standards (established by worldwide National Metrology Institutes), for external beam radiotherapy, with the “Key Comparison Reference Value”. Most of the results agree within 5 mGy/Gy, that corresponds to a relative deviation of 0.5%

However, the current dosimetry protocols cannot be rigorously applied for this aim. These protocols rely on reference ionization chambers (volume larger than  $0.1 \text{ cm}^3$ ) calibrated in a reference beam, on clinical measurements performed in reference conditions (*i.e.*,  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  field size) and on beam quality specifiers which relate the beam energy to the dosimeter response (*i.e.*,  $\text{TPR}_{20,10}$  for megavoltage x-rays and  $R_{50}$  for high energy electrons according to the IAEA-TRS-398 (Andreo et al 2000)). Due to their large sensitive volume, ionization chambers are not suitable for measurements in radiation fields smaller than few centimetres. Moreover, in photon beams with small fields the loss of lateral equilibrium of charged particles makes the beam characteristics (*i.e.*, energy and angular distributions) different from those in the reference field size. Therefore the validity of parameters and correction factors given by the dosimetry protocols is not ensured. Additionally, some new machines like Tomotherapy and Cyberknife do not allow establishing the recommended reference conditions (*i.e.*, field size  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ) for the beam calibration. As a consequence, the beam quality specifier cannot be determined in compliance with the protocol procedures and this poses a problem in selecting the appropriate beam quality correction factors.

The development of measurements procedures for the determination of absorbed dose in small and irregular photon beams has been one of the major objectives of the project "External Beam Cancer Therapy" (see introduction). New primary standards of absorbed dose to water based on graphite and water calorimeters have been established in field sizes down to  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ , which is the limit of applicability of the calorimetric technique, due to the large lateral heat dissipation. By the aid of these new standards, several types of dosimeters like alanine, diamond detector, and small-volume ionization chambers have been investigated for their applicability as reference dosimeters down to  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$  field size. To extend the dosimeters investigation to smaller fields, Monte Carlo simulations were made. At ENEA-INMRI, a new synthetic diamond detector fabricated at the Rome University "Tor Vergata" has

been investigated and demonstrated suitable to be used as calibrated dosimeter in small photon beams (Pimpinella et al 2012b). Among the detectors studied, only the new diamond detector and alanine dosimeters were found capable to perform dose measurements in photon beams with field sizes down to  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ . The two types of dosimeters have similar accuracy (around 1%); the alanine dosimeter has the advantage of an energy-independent response, while the diamond dosimeter has the advantage of a real-time reading and the smallest sensitive volume (Pimpinella et al 2012a).

Nevertheless, the investigation of the dosimeters response in small fields revealed that accurate absorbed dose measurements in extremely small fields (less than  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ ) are possible only if the beam distribution over the detector volume can be also accurately measured, in order to correct the signal for the effect of non-uniform detector irradiation. In very narrow fields, this correction can be large even for detectors as small as alanine dosimeters (diameter of 5 mm) and diamond detectors (diameter of 2 mm). Therefore, a dosimetric system suitable for dosimetry in extremely small field sizes should include both an adequate point-like dosimeter (*i.e.*, diamond or alanine) for central axis measurements and an accurate two-dimensional detector for field profile measurements. Moreover, a new beam quality specifier suitable to describe, even in small fields, the beam characteristics which affect the dosimeter response is needed in order to compare the detectors response in photon beams with small field sizes produced by different accelerators. Both aspects are going to be studied at ENEA-INMRI in the framework of a new EURAMET-EMRP project (Metrology for radiotherapy using complex radiation fields), that will start in June 2012. The research activity planned for the new project is also addressed to give metrological basis to the procedures applied for the verification of treatment planning systems.

#### *Dosimetry for high-dose-per-pulse electron beams*

In recent years, the use of mobile electron accelerators dedicated to intra-operative radiotherapy (IORT) has been increasing in Italy. IORT is a techni-



que where a single fraction of high dose of radiation is applied to the tumour in the operating room during surgery. As a consequence, mobile accelerators specifically designed for IORT are characterized by a very high dose per pulse (higher than 10 mGy per pulse), that allows the delivery of the prescribed dose of about 10-25 Gy in a very short time (less than 1 min). The dosimetry of such beams requires particular care when performed by ionization chambers, mainly due to the possible errors in determining the correction factor that takes into account the ion recombination in the chamber air cavity (Laitano et al 2006). Moreover, the IORT specific collimator systems give rise to a component of scattered electrons in the useful beam larger than in the conventional beams. Hence, for accurate IORT dosimetry the influence of scattered electrons component on the dosimetric parameters needs to be evaluated. To overcome this inconveniences at ENEA-INMRI, first, a calibration service to allow in-situ calibration of IORT beams has been developed, and following, dosimetric parameters specific for the IORT accelerators have been determined simulating the electron beams by Monte Carlo (Pimpinella et al 2007a, 2007b). The calibration service is based on ferrous sulphate reference dosimeters produced at ENEA-INMRI. The dosimeter response is independent of dose-rate up to 1 Gy per pulse, while all other correction factors have been determined by Monte Carlo simulations. The combined standard uncertainty on  $D_w$  measurements by ENEA-INMRI reference dosimeters is 1.6%. Up to now the dosimeters have been applied for the calibration of about forty IORT accelerators operating in the Italian radiotherapy centres.

## Brachytherapy

Brachytherapy (BT) is a radiation therapy modality in which sealed radioactive sources are placed inside or at very short distances from the tumour to deliver high radiation dose locally with a rapid dose decrease in the surrounding healthy tissues. BT is performed using both low-dose-rate (LDR) source implants, *i.e.*, with prescription dose rate from 5 to 20 mGy/min, and high-dose-rate (HDR) sources,

*i.e.*, with prescription dose rate of 200 mGy/min or higher. Historically, BT developed in the last century through the use of sealed  $^{226}\text{Ra}$  needles. In the 1950s, the availability of the artificially produced radionuclides (*e.g.*,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{198}\text{Au}$ ,  $^{103}\text{Pd}$ ) gave rise to an increased interest in BT, also with the introduction, in 1965, of the remote afterloading technology, in which the BT sources are moved to the treatment position in the patient by an automatic mechanism with remote control, eliminating the exposure of the medical staff due to the source handling. Accurate metrology of the radioactive sources and developments in the computer technology were fundamental in the transition from dose estimations based on generic tables referred to typical BT sources implants to computer-calculated and personalized 2D and 3D dose distribution determinations. Nevertheless, differences in the clinical practice and in the related dosimetry still exist in the various countries and modern BT calls for continuous research in radiation metrology.

According to a recent survey (Guedea et al 2007, Guedea et al 2010), about 10% of the radiation therapy treatments is made with BT, and most BT interventions are for gynaecological tumours, followed by prostate, breast, lung/bronchus, and oesophagus tumours. Since 1985, the reference quantity in BT has been the reference air-kerma rate,  $\dot{K}_R$  (ICRU 1985) or the air kerma strength,  $S_k$  (Nath et al 1995). The primary standards were based on cavity and free-air ionization chambers for the measurement of the quantity air-kerma rate. Starting from this quantity, the absorbed dose rate to water is calculated using a formalism established in 1995, based on both Monte Carlo-calculated and experimental conversion factors from  $\dot{K}_R$  (or  $S_k$ ) to absorbed dose rate to water determined at 1 cm distance from the source,  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  (Nath et al 1995, ICRU 2004). This conversion is based on the dose rate constant,  $\Lambda$ , *i.e.*, the ratio between  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  and the reference air-kerma rate  $\dot{K}_R$  (or  $S_k$ ). The use of  $\Lambda$  introduces a large uncertainty into the determination. Following this procedure, the uncertainty on the reference value of  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$ , is of about 5% ( $1\sigma$ ) (Rivard et al 2004).

Historically, in 1995 ENEA-INMRI established the first

Italian primary standard of BT reference air-kerma rate and, in 1997, gave a contribution in drafting the Italian dosimetry protocol for dosimetry in BT, based on detector calibrations in terms of  $\dot{K}_R$  (Piermattei et al 1997). The metrological and dosimetry chain based on  $\dot{K}_R$ , via the formalism described in the AAPM Task Group 43 Reports (Rivard et al 2004, Rivard et al 2007), is robust and reliable. Its limitations lie in the relatively large uncertainties that are inherent in the conversion procedure from  $\dot{K}_R$  measurement to the evaluation of  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$ . A metrological chain based on absorbed dose to water standards will allow BT to satisfy the uncertainty requirements of other radiation treatment modalities.

To these ends, the European project “Brachytherapy” was carried out with the aim of reducing the uncertainty in the measurement of  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  below 2% ( $1\sigma$ ). New BT primary standards were developed, able to directly measure  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  without the need of conversion procedures, starting from a different physical quantity and based on factors introducing large uncertainty components. The National Metrology Institutes of ten European countries were involved in the project.

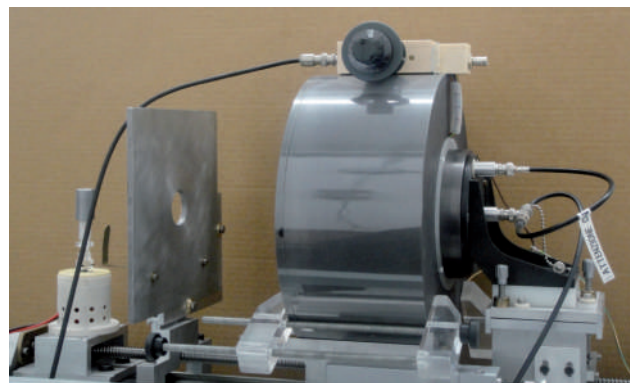
ENEA-INMRI took part in this project, as leading Institute, by developing new  $D_w$  primary standards for LDR BT based on ionometry (see section 3.1) and for HDR BT based on calorimetry (see section 3.2). Furthermore, ENEA-INMRI contributed to the establishment of a new metrological chain for the traceability of clinical measurements to absorbed dose to water primary standards. These aspects are crucial to the 5% ( $1\sigma$ ) target uncertainty in the determination of the  $D_w$  delivered to a patient.

New primary standards for the characterization of the BT sources in terms of  $D_w$  and the establishment of the metrological chains are the bases for using, at clinical level, field instruments calibrated in terms of  $D_w$  instead of reference air kerma. A metrological chain based on  $D_w$  standards is therefore expected to reduce the uncertainty of the therapeutic dose delivered to BT cancer patients.

### LDR Brachytherapy

As a part of the project ‘Brachytherapy’, ENEA-INMRI developed a new primary standard measu-

ring  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  due to LDR BT seeds emitting low energy photons. This standard is based on a large-angle, variable-volume (LAVV-1) chamber in graphite phantom (Figure 4). For the realization of the  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  unit, a Monte Carlo-based procedure was developed to convert pairs of measurements of air-kerma in finite air volumes to graphite-kerma first (in the absence of air) and to  $D_w$  later. The method, and the measurements made as a part of the development of the new ENEA-INMRI LAVV-1 standard, have already been described elsewhere (Toni et al 2012). BT LDR seeds, containing  $^{125}\text{I}$  and manufactured by Bebig, were characterized in terms of  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  against the ENEA-INMRI LAVV-1 standard with a combined uncertainty of 2.6% ( $1\sigma$ ). In parallel, to link the new ( $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$ ) and the old ( $\dot{K}_R$ ) reference quantities, the radioactive seeds were also characterized in terms of  $\dot{K}_R$ , and using the above mentioned protocol for the conversion, independent  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  values were obtained via the existing metrology. The  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  values obtained by the two methods were consistent within the experimental uncertainties, but the uncertainty in the direct determination of  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$ , with the new standard, was significantly reduced from 5.0% ( $1\sigma$ ) to 2.6% ( $1\sigma$ ). Once the new standard was developed, ENEA-INMRI also established a metrological chain based on the above mentioned LDR primary standard and two high-stability well-type ioniza-



**FIGURE 4** View of the ENEA-INMRI absorbed dose to water standard for low dose rate brachytherapy: the large-angle, variable volume graphite walled extrapolation chamber on the right, and the rotating source holder, on the left

tion chambers, acting as secondary and travelling standards, respectively. Using this newly developed metrological chain, the end-user in a radiotherapy centre can characterize each BT  $^{125}\text{I}$  seed, before its use in the clinic, with an uncertainty in  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  lower than 2.8% ( $1\sigma$ ).

The dose rate constant  $\Lambda$  for the  $^{125}\text{I}$  Bebig IsoSeed<sup>®</sup> I25.S16 LDR source was experimentally determined at the ENEA-INMRI ( $1.015 \cdot 10^4$  with an uncertainty of 2.5%,  $1\sigma$ ), considerably lower than the uncertainty in the currently accepted measured value of  $\Lambda$  ( $1.012 \cdot 10^4$ , with an uncertainty of 4.8%,  $1\sigma$ ) (Rivard et al 2004).

#### HDR Brachytherapy

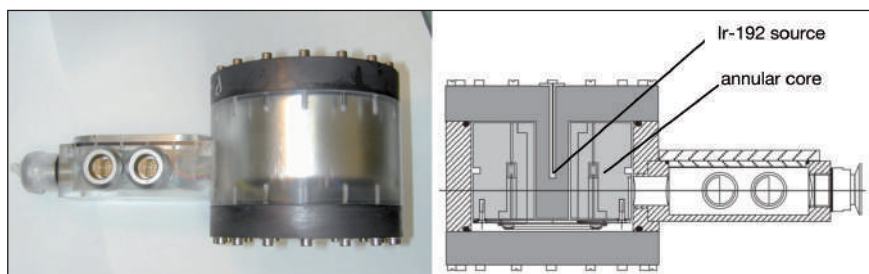
In the framework of the project 'Brachytherapy', ENEA-INMRI has developed a graphite calorimeter as primary standard for the absolute measurement of  $D_w$ , for HDR  $^{192}\text{Ir}$  sources. The graphite calorimeter was designed to measure the absorbed dose to graphite,  $D_g$ , according to the operational definition of the quantity  $D_g$ , by determining the energy released by the radiation in a known mass of graphite (J/kg). The absorbed dose to water was then obtained by a conversion factor from  $D_g$  to  $D_w$  that was determined by Monte Carlo calculations. The main feature of the graphite calorimeter developed at ENEA-INMRI is that the  $^{192}\text{Ir}$  source is inserted inside the detector so that the annular sensitive volume surrounds the source. The calorimeter consists of three annular graphite bodies with cylindrical symmetry around the source axis (Figure 5). The measurement method and the design of the new standard have already been described elsewhere (Guerra et al 2012). The calorimeter was irradiated, using a  $^{192}\text{Ir}$  Micro-

Selectron<sup>®</sup> HDR V2 source.  $D_w$  measurements were performed in the quasi-adiabatic mode of operation. The  $D_w$  measurements showed a reproducibility of about 1% ( $1\sigma$ ). The combined standard uncertainty on the value of  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$ , was 1.4% ( $1\sigma$ ), lower than the uncertainty in  $\dot{D}_{w,1\text{ cm}}$  determined on the basis of the quantity  $\dot{K}_R$  (3%,  $1\sigma$ ). The dose rate constant  $\Lambda$  for the  $^{192}\text{Ir}$  MicroSelectron<sup>®</sup> HDR V2 source was experimentally determined with an uncertainty of 1.8% ( $1\sigma$ ), lower than the uncertainty associated to the few existing experimental determinations or the calculated values of  $\Lambda$  typically 3.0% and 2.1%, respectively ( $1\sigma$ ) (DeWerd et al 2011).

The experimental results on  $D_w$  and  $\Lambda$  were highly consistent with the available literature data and provided the evidence of a considerable agreement at ENEA-INMRI between  $D_w$  determined by the ionometric method that starts from the  $\dot{K}_R$  standard (old procedure), and  $D_w$  directly determined by the new calorimetric standard (new procedure).

#### Nuclear medicine and molecular radiotherapy

In the near future, metrology is likely to have a key role even in molecular radiotherapy (MRT), also called targeted radionuclide therapy. MRT is a novel therapeutic approach performed in nuclear medicine departments where a radiopharmaceutical is systemically administered to the patient. In contrast to chemotherapy, wherein all proliferating cells are affected, MRT is founded on the ability to identify or synthesize radionuclide carriers that recognize and bind to tumour-associated target molecules, thus delivering radiation to only those cells that express cancer markers.



**FIGURE 5** Lateral view and schematic section of the graphite calorimeter, the ENEA-INMRI absorbed dose to water standard for high dose rate brachytherapy. The annular core diameter is 50 mm. The PMMA housing external diameter is 130 mm. The external height is 105 mm

The treatment is based on the administration of a measured activity of radiopharmaceutical in a form that can be selectively taken up in the tissue to be treated. Nevertheless, it is clear that, for a given administered activity, the quantity taken up (and hence the therapeutic radiation dose to the tissue) varies widely among individuals because of unavoidable physiological and physical differences. Recent research indicates the absorbed dose differences range can be up to 2 orders of magnitude (Flux et al 2010). As a consequence, widespread use and development of new radiopharmaceuticals is currently hampered because the effectiveness on individuals is not well determined by the administered activity.

Furthermore, despite recent research and new technology developments have allowed estimates of radiation doses on individual patients both to tumour areas and normal tissues, there has been almost no adoption of these methodologies into routine clinical MRT practice. The reasons are many, but mainly because the methodology is difficult, there is no standardization of procedures, and there is no objective means of predicting how much difference individual patient dosimetry would make to treatment outcome.

For the above mentioned reasons, when compared with conventional external beam radiotherapy, in which individual patient dosimetry is controlled according to agreed protocols and there is full traceability to primary standards, it is evident that MRT is urgently in need of metrological support in order to bring this dosimetry practice up to an acceptable standard.

#### *The ENEA-INMRI research activities in nuclear medicine*

A wide range of  $\gamma$ ,  $\beta^+$  and/or  $\beta^-$  emitter radionuclides are currently used in nuclear medicine, both for diagnostics and for therapy, to target specific diseased tissues and physiological processes.

Radionuclide calibrators are used both at clinical level, to measure the activity of the radiopharmaceutical before its administration to the patient, and at the radiopharmaceutical production centres, to measure the radionuclide activity before its delive-

ry to the end-user (public and/or private nuclear medicine departments). These instruments need to be calibrated using proper radioactivity standards in accordance with the recommendations of the European Pharmacopoeia.

Since 2005, the ENEA-INMRI has started an intensive research program in the field of radionuclide metrology to standardize short-lived radionuclides used in medical applications.

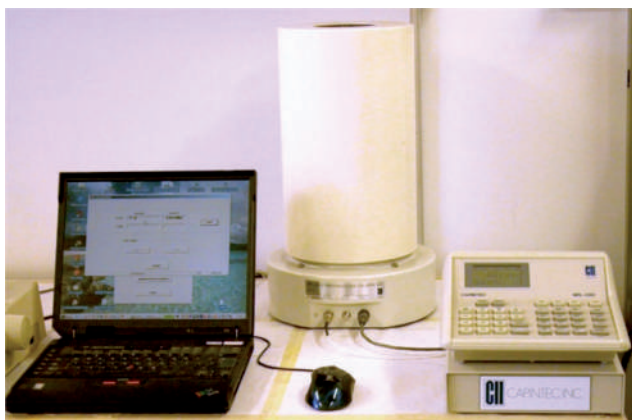
For this purpose, new primary standards of  $\beta^+$  emitters, as  $^{18}\text{F}$  used for diagnostic (Capogni et al 2006), and  $\beta^-/\gamma$  emitters, as  $^{64}\text{Cu}$  (Capogni et al 2008),  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{124}\text{I}$  used both for therapy and diagnostic, were developed by ENEA-INMRI by using absolute methods for radioactive measurements, like the  $4\pi\gamma$  integral counting method based on a well-type NaI(Tl) 5" x 5" detector and the  $4\pi\beta$  Liquid Scintillation Spectrometry Method with  $^3\text{H}$  Standard Efficiency Tracing (CIEMAT/NIST method).

The increasing request of new radiopharmaceuticals for diagnostic and radiation therapy has led to the intensification of research activities towards new measurement methods and novel detectors for accurate activity measurements of beta-emitters radionuclides. The Triple-to-Double Coincidence Ratio (TDCR) absolute method has been recently introduced at ENEA-INMRI for standardizing pure  $\beta$  radionuclides, with particular attention to those used in nuclear medicine.

Through the new developed primary standards, two re-entrant ionization chambers (fixed and portable), have been calibrated with an uncertainty lower than 2%. The chambers have been used to calibrate activity measurement instruments of the end-users thus assuring the traceability chain to the primary standards maintained at ENEA-INMRI.

In many cases, due to the short half-life of the nuclides used in diagnostic applications, the portable ionization chamber, shown in Figure 6, has been used as secondary standard measuring instrument for calibrating the instrumentation of the Nuclear Medicine Department or the radiopharmaceutical production centers *in situ*.

Figure 7 shows the network of Italian radiopharmaceutical production centers and nuclear medicine



**FIGURE 6** The ENEA-INMRI Secondary Standard Measurements Systems for nuclear medicine radionuclides, based on a well-type ionization chamber, current measuring system and PC controller

departments where the instruments used for activity measurements of short-lived radionuclides ( $^{18}\text{F}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{124}\text{I}$ ) have been calibrated by ENEA-INMRI.

#### *The forthcoming EURAMET-EMRP project “Metrology for molecular radiotherapy”*

Based on its competence, ENEA-INMRI is currently participating in the challenging EURAMET-EMRP project “Metrology for molecular radiotherapy” (denoted as JRP-h13 MetroMRT) that aims at developing the background metrology to support routine individual dosimetry for MRT patients. The primary aim of the project is the validation of a practical measurement methodology that can be adopted widely in clinical departments, and which is supported both by metrology laboratories in the provision of calibration and verification services and by the consensus of the nuclear medicine community.

ENEA-INMRI will be actively involved in the development of a primary activity measurement method based on the Čerenkov emission in aqueous solutions using conventional triple-to-double-coincidence-ratio (TDCR) Čerenkov apparatus for the standardization of high-energy beta-emitting radiopharmaceuticals. By this technique (Kossert 2010, Bobin et al 2010) the activity measurements are carried out directly with aqueous solutions, avoiding mixing with

the scintillating cocktail, hence reducing possible chemical instabilities and limiting the handling of radioactive sources. The Čerenkov emission is also characterised by a threshold effect that can be used advantageously to naturally discriminate the standardised radionuclide from low-energy  $\beta$  and/or  $\alpha$  impurities in the radioactive solution.

The need for this task arises from the fact that most radionuclides used as radiopharmaceuticals for molecular radiotherapy applications are high-energy-beta emitters chemically linked to specific organic molecules (antibodies, peptides) and dissolved in an aqueous solution. These radiopharmaceuticals (among which  $^{90}\text{Y}$  microspheres used for selective internal radiation therapy of liver cancer) raise specific standardization problems, both for primary measurements and for transfer calibration and measurement at the hospital that need to be addressed.



**FIGURE 7** Map of the radiopharmaceutical production centres and nuclear medicine department in Italy calibrated by the ENEA-INMRI

Within the project, ENEA-INMRI will also be involved in a feasibility study on the development of an absorbed dose primary standard for radionuclides. In fact, at present the reference quantity for dosimetry in molecular radiotherapy is the activity and absorbed dose values for reference geometries are generally derived from activity by calculations. The idea behind the development of a primary absorbed dose standard for radionuclides is to introduce the absorbed dose to water for a given radionuclide as reference quantity. The reference geometry will be a water-filled volume where the radionuclide is distributed. Although for pure beta emitters the absorbed dose can be calculated by the decay scheme, the conversion procedure does not allow a traceable dose verification and introduces an additional uncertainty component in the absorbed dose evaluation. Furthermore, the development of a primary standard is of utmost importance since: 1) molecular radiotherapy often uses non pure beta-emitters radionuclides which do not allow accurate dose calculation from activity 2) current absorbed dose measurements from radionuclides are performed using dosimeters which are calibrated against radiation sources other than the sources the dosimeter will be exposed to. The availability of a reference absorbed dose standard for selected radionuclides, *i.e.*, of a dosimeter calibration in terms of the same physical quantity to be measured, is expected to reduce the calibration and measurement uncertainty.

The outcomes from the forthcoming MetroMRT project will hopefully enable personalized treatment based on patient-specific treatment planning which will have a direct and potentially significant benefit on patient treatment. Within a dedicated programme of dissemination, the Metrology Institutes participating in the project will work with the clinical community to achieve widespread implementation.

## Conclusions

Approximately 50% of all cancer patients receive radiation therapy over the course of their illness.

Radiation metrology plays a key role in improving the accuracy of the dose delivered to cancer patients worldwide, helping in the fight against cancer. In fact, the better the accuracy in dose delivery to tumour, the higher the likelihood of cancer cure.

The ENEA-INMRI is strongly and constantly involved in the advancement of metrology in cancer radiation therapy. The development of the ENEA-INMRI national standards and the establishment of new metrological chains are part of the international effort towards the optimization of radiation therapy treatments. This can be achieved using the absorbed dose to water, the quantity of interest in radiotherapy, as the reference quantity for measurement traceability in all radiation therapy treatment modalities. The consistency between the reference quantity realized at the National Metrology Institutes and the quantity measured at clinical level will reduce the uncertainty on the therapeutic dose delivered to the cancer patients and contribute to the improvement of the cure rate. ●

### notes

<sup>1</sup> EURAMET is a Regional Metrology Organisation of Europe. It coordinates the cooperation of National Metrology Institutes (NMI) of Europe in fields like research in metrology, traceability of measurements to the SI units, international recognition of national measurement standards and related Calibration and Measurement Capabilities of its members. EURAMET is responsible for the elaboration and execution of the European Metrology Research Programme, known as the EMRP, which is designed to encourage collaboration between European National Metrology Institutes and partners in industry or academia.

- AIFB 1988 Protocollo per la dosimetria di base nella radioterapia con fasci di fotoni ed elettroni con Emax fra 1 e 40 MeV (Fisica Biomedica VI, n. 2, Roma 1988, pp. 85).
- Almond P R, Biggs P J, Coursey B M, Hanson W F, Huq M S, Nath R and Rogers D W 1999 *AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams*, Med. Phys. 26 1847–70.
- Andreo P, Cunningham J, Hohlfeld K and Svensson H 1987 *Absorbed dose determination in photon and electron beams: an international Code of Practice* (Vienna: IAEA).
- Andreo P, Burns D, Hohlfeld K, Huq M S, Kanai M S, Laitano R F, Smyth V and Vynckier S 2000 *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water (IAEA)* Online: <http://www-naweb.iaea.org/NAHU/DMRP/codeofpractice.html>
- Andreo P 2010 *Accuracy requirements in medical radiation dosimetry Proceedings of an International Symposium on Standards, Applications and Quality Assurance in Medical Radiation Dosimetry (IDOS) vol 1* (Vienna: IAEA) pp 29–43.
- Ankerhold U, Toni M P 2012 *European Research Projects for Metrology in Brachytherapy and External Beam Cancer Therapy*, accepted for publication in Metrologia.
- Bobin C, Thiam C, Bouchard J and Jaubert F 2010 *Application of a stochastic TDCR model based on Geant4 for Cherenkov primary measurements* Appl. Radiat. Isot. 68 2366–71.
- Capogni M., De Felice P., Fazio A., Simonelli F., D'Ursi V., Pecorale A., Giliberti C., Abbas K., "Development of a Primary Standard for Calibration of  $[^{18}F]FDG$  Activity Measurement Systems", Institute of Physics Publishing, Journal of Physics: Conference Series 41 (2006) 506-513 (JPCS at <http://www.iop.org/EJ/conf>).
- Capogni, M., De Felice, P., Fazio, A, Latini F. and Abbas, K. "Development of a Primary Standard for Calibration of  $^{64}Cu$  Activity Measurement Systems", Appl. Radiat. Isot. 66 (2008) 948-953.
- Delaney G, Jacob S, Featherstone C, Barton M 2005 *The Role of Radiotherapy in Cancer Treatment*, Cancer 104 1129-37.
- DeWerd, LA, Ibbott, GS, Meigooni, AS, Mitch, MG, Rivard, MJ, Stump, KE, Thomadsen, BR, Venselaar, JLM 2011 *A dosimetric uncertainty analysis for photon-emitting brachytherapy sources: Report of AAPM Task Group No. 138 and GEC-ESTRO*, Med. Phys. 38 782.
- Domen S and Lamperti P 1974 *A Heat-Loss Compensated Calorimeter: Theory, design, and Performance* J. Res. Nat. Bur. Stand 5 595–610.
- Domen S 1987 *Advances in calorimetry for radiation dosimetry* The dosimetry of ionizing radiation vol.2, Academic Press, New York.
- Ferlay J, Parki DM, Steliarova-Foucher E 2008. *Estimates of the cancer incidence and mortality in Europe in 2008*. Eur J Cancer 46(4) 765–781.
- Guedea F, Ellison T, Venselaar J, et al. 2007 *Overview of brachytherapy resources in Europe: A survey of patterns of care study for brachytherapy in Europe*, Radiot. Oncol. 78 50.
- Guedea F, Venselaar J, Peter Hoskin JP, Paulsen Hellebust T, Peiffert D, Londres B, Ventura M, Mazon J-J, Van Limbergen E, Pötter R, Kovacs G 2010 *Patterns of care for brachytherapy in Europe: Updated results* Radiot. Oncol. 97 514-20.
- Guerra A S, Laitano R F and Pimpinella M 1996 *Characteristics of the absorbed dose to water standard at ENEA* Phys. Med. Biol. 41 657–74.
- Guerra A, Loreti S, Pimpinella M, Quini M, D'Arienzo M, Astefanoaei I, Caporali C, Bozan C and Pagliari M 2012 *A standard graphite calorimeter for dosimetry in brachytherapy with high dose rate  $^{192}Ir$  sources accepted for publication in Metrologia*.
- ICRU 1976 *Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy*, ICRU Report 24 (Bethesda (MD, USA): ICRU).
- ICRU 1985 *Dose and Volume Specification for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology*, ICRU Report 38 (Bethesda (MD, USA): ICRU).
- ICRU 2004 *Dosimetry of beta rays and low-energy photons for brachytherapy with sealed sources* ICRU report 72 (Bethesda (MD, USA): ICRU).
- Kessler C, Allisy-Roberts P, Burns D, Guerra A, Laitano R and Pimpinella M 2010 *Comparison of the standards for absorbed dose to water of the ENEA-INMRI (Italy) and the BIPM for  $^{60}Co$   $\gamma$  rays* Metrologia 47 06002.
- Kossert K 2010 *Activity standardization by means of a new TDCR-Čerenkov counting technique* Appl. Radiat. Isot. 68 1116–20.
- Laitano R F, Guerra A S, Pimpinella M, Caporali C and Petrucci A 2006 *Charge collection efficiency in ionization chambers exposed to electron beams with high dose per pulse* Phys. Med. Biol. 51 6419–36.
- Nath R, Anderson L, Luxton G, Weaver K, Williamson J and Meigooni A 1995 *Dosimetry of Interstitial brachytherapy sources: recommendations of the AAPM radiation therapy committee task group No. 43* Med. Phys. 22 209–34.
- Piermattei A, Arcovito G, Fontan L, Galelli M and Toni M 1997 *Associazione Italiana di Fisica Biomedica, Protocollo per la dosimetria di base nella radioterapia con sorgenti brachiterapiche* (Pisa-Roma)
- Pimpinella M, Guerra A S, La Civita S and Laitano R 2007a *Procedures for absorbed dose to water determination in high energy photon and electron beams by ferrous sulphate dosimeter at INMRI-ENEA Workshop on "Absorbed Dose and Air Kerma Primary Standards* (Paris) Online: <http://www.nucleide.org/seminaires.htm>
- Pimpinella M, Mihalescu D, Guerra A S and Laitano R F 2007b *Dosimetric characteristics of electron beams produced by a mobile accelerator for IORT* Phys. Med. Biol. 52 6197–214.
- Pimpinella M, Anton M, Roujaa M and Stravato A 2012a *Comparison of Dw measurements by alanine and synthetic diamond dosimeters in photon beams with 1 cm x 1 cm field size, accepted for publication in Metrologia*.
- Pimpinella M, Guerra A S, Stravato A, Ciancaglioni I, Di Venanzio C, Verona-Rinati G, Consorti R and Petrucci A 2012b *A synthetic diamond detector as transfer dosimeter for Dw measurements in photon beams with small field sizes, accepted for publication in Metrologia*.
- Rivard M, Coursey B, DeWerd L, Hanson W, Huq M, Ibbott G, Mitch M, Nath R and Williamson J 2004 *Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations* Med. Phys. 31 633.
- Rivard M, Butler W, DeWerd L, Huq M, Ibbott G, Meigooni A, Melhus C, Mitch M, Nath R and Williamson J 2007 *Supplement to the 2004 update of the AAPM Task Group No. 43 Report* Med. Phys. 34 2187.
- Seuntjens J and Duane S 2009 *Photon absorbed dose standards* Metrologia 46 S39–S58.
- Toni M P, Pimpinella M, Pinto M, Quini M, Cappadozzi G, Silvestri C and Bottauscio O 2012 *Direct determination of the absorbed dose to water from  $^{125}I$  low dose rate brachytherapy seeds using the new absorbed dose primary standard developed at ENEA-INMRI, accepted for publication in Metrologia*.



# Ecotoxicological effects of nanomaterials in terrestrial and marine environments. An integrated approach in ENEA – Portici

Is there an environmental concern in the ever increasing use of nanomaterials in many aspects of our lives? Ecotoxicologists are now facing a formidable challenge that is: trying to assess the impact of “nano” on the environment well knowing that a lot of scientific and technological information on the physics and chemistry of nanomaterials is still missing.

In this work, the ENEA Portici team researching on the field reports on evidence of toxicological effects on the environment of nano ZnO, a nanomaterial widely used in the health and fitness industry

■ *Sonia Manzo, Maria Lucia Miglietta, Gabriella Rametta, Girolamo Di Francia*

## Effetti ecotossicologici di nanomateriali in ambiente marino e terrestre. L'approccio integrato dei ricercatori ENEA di Portici

Esiste una reale preoccupazione per l'ambiente determinata dal costante aumento dell'utilizzo dei nanomateriali in molti aspetti della nostra vita? Gli ecotossicologi stanno affrontando una sfida formidabile: tentare di valutare l'impatto del “nano” in campo ambientale consapevoli che molte informazioni scientifiche e tecnologiche sulla fisica e la chimica dei nanomateriali sono ancora insufficienti.

In questo lavoro, i ricercatori del Centro ENEA di Portici che operano in questo campo, riportano alcune evidenze di effetti ecotossicologici dell'ossido di zinco nanostrutturato, un materiale largamente utilizzato nel campo della salute e del fitness

**N**anotechnology is a rapidly expanding field of research continuously producing a variety of commercial items such as cosmetics, paints, self-cleaning glasses, stain-resistant clothing and fascinating electronic appliances.

The amount of consumer products containing nanoparticles (NPs) or nanofibers is rapidly growing: from the 212 products in March 2006, to the 609 in February 2008 and up to 1,300 counted in March 2011 (Project on Emerging Nanotechnologies, 2011)<sup>[1]</sup>. In Table 1, the most relevant nanotechnological sectors and the relative number of products are reported. Due to this rapid

diffusion of nano-based product, the occupational and public exposure to NPs is supposed to dramatically increase in coming years as well as concern about potential adverse effects on the environment. The risks related to their uncontrolled diffusion in the environment have been long neglected till, in 2004, the pioneering study of Oberdörster showed that C<sub>60</sub> fullerenes were able to

■ *Sonia Manzo, Maria Lucia Miglietta, Gabriella Rametta, Girolamo Di Francia*  
ENEA, Technical Unit for Portici Technologies



| Product categories        | 2006 | 2008 | 2011 |
|---------------------------|------|------|------|
| Health and fitness        | 120  | 369  | 738  |
| Home and Garden           | 25   | 69   | 209  |
| Automotive                | 10   | 35   | 126  |
| Food and beverage         | 25   | 68   | 105  |
| Cross cutting             | 10   | 12   | 82   |
| Electronics and computers | 30   | 51   | 59   |
| Appliance                 | 10   | 22   | 44   |
| Goods for children        | 5    | 17   | 30   |

**TABLE 1** The increase in “nanotech” products, according to different categories  
 Source: Project on Emerging Nanotechnologies, 2011





induce changes in the brain of some fishes already at very low aquatic exposure level<sup>[2]</sup>. Then, it became clear that the environmental adverse effect of NPs should not be overlooked and, therefore, NPs started to be considered as a novel class of environmental contaminants whose ecotoxicity necessarily should be evaluated.

Ecotoxicology is the science studying the contaminants effects on the biosphere constituents. Albeit relatively new, ecotoxicological research is rapidly developing due to concern induced by the industrial development. Ecotoxicology has therefore become an important part in the environmental and ecological risk assessment and in the definition of environmental policies. As a matter of facts, differently from analytical chemistry approaches, ecotoxicological tests integrate all toxic signals, thus adding toxicity-based criteria to the currently adopted policies for a more comprehensive evaluation of the environmental hazard.

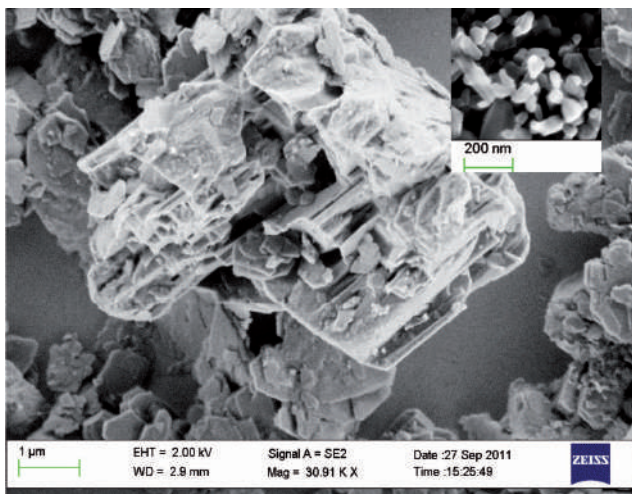
The assessment of risks related to nanomaterials (NMs) represents, however, a real challenge for toxicologists. Reducing the particle size down to the nanoscale changes the physicochemical properties of the materials opening the way to novel and often exciting properties and engineering possibilities. On the other hand, it is not unreasonable to assume that these size-dependent alterations may also result in different and unpredictable interactions with biological systems as compared with their bulk counterparts. It is in fact commonly accepted that the high specific surface area, resulting in an enhanced reactivity of NMs, may also lead to an increased bioavail-

ability and toxicity<sup>[3]</sup>. Hence, accurate NMs characterizations are essential to provide the basis for understanding the nano-induced properties and their biological effects. In this respect, three key elements of NPs toxicity screening strategies have been outlined<sup>[4]</sup>: (i) the physicochemical characterization (size, surface area, shape, solubility, aggregation) and the elucidation of biological effects involving (ii) *in vitro* and (iii) *in vivo* studies. These three key elements were formulated mainly from the point of view of potential effects of NPs on humans. When the whole ecosystem is concerned, the problem is clearly far more complicated. Although there is already a remarkable amount of toxicological information concerning NPs (obtained at various biological levels, from *in vitro* cell cultures to *in vivo* studies on rodents), ecotoxicological data on NPs are just emerging.

It is clear that the evaluation of toxicological impact of nanomaterials needs to bridge the fields of nanoscience and toxicology with a holistic approach. Collaborative effort and integrated approach, to date, have produced the most instructive studies in this new field. In the light of these considerations, in the ENEA – Portici research centre, expert researchers in ecotoxicology and in na-

| Test organism   | Test endpoint  | Reference                                     |
|---|--|---|
| <br><i>Lepidium sativum</i>         | seed germination<br>root elongation<br>72 h            | EPA, 1996;<br>OECD, 2003                      |
| <br><i>Heterocypris incongruens</i> | 6d growth<br>mortality                                 | Chial & Persoone<br>2002                      |
| <br><i>Folsomia candida</i>         | reproduction rate<br>28 d<br>avoidance test<br>100 min | ISO 11267 (1999)<br>Aldaya <i>et al.</i> 2006 |
| <br><i>Vicia faba</i>               | Micronucleus<br>frequency<br>96 h                      | Kanaya <i>et al.</i> 1994                     |

**TABLE 2** Toxicity test battery for terrestrial environment  
 Source: ENEA

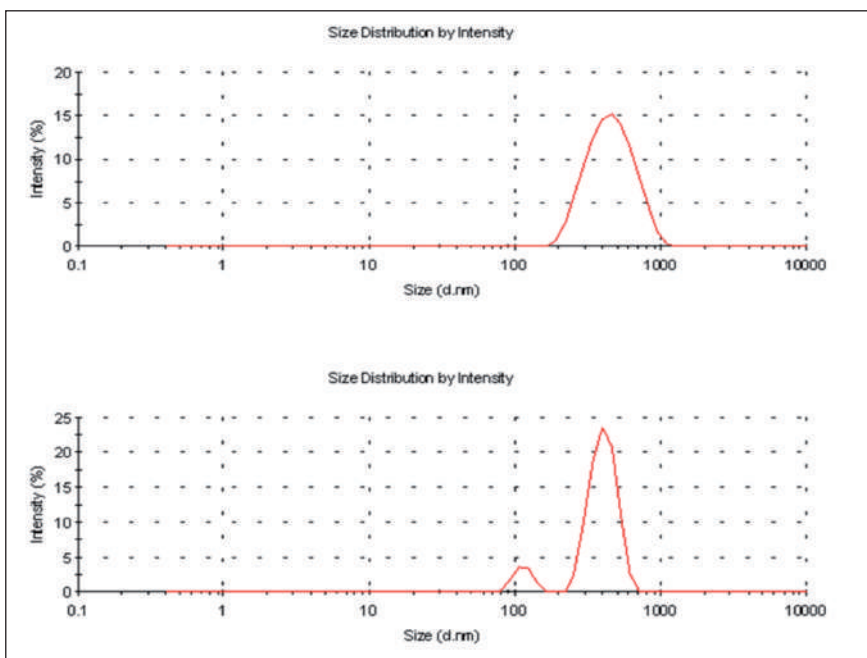


**FIGURE 1** SEM image of a ZnO contaminated soil sample ( $\text{mg}_{\text{ZnO}} \text{kg}_{\text{soil}}^{-1}$ ). Inset: SEM image of pure ZnO NPs  
Source: ENEA

nomaterials synthesis, processing and characterization gathered their efforts and formed an interdisciplinary/interactive group since 2007 with the ambition to contribute to the assessment of the ecotoxicological impact

of nanomaterials in the environment<sup>[5-10]</sup>. The focus is on the investigation of NMs impact on aquatic (freshwater and seawater) and terrestrial ecosystems. Acute, chronic and genotoxic effects on test organisms are investigated by standard methods and newly designed methodologies while the studies regard the main trophic levels in order to get a full picture of the NMs impact. By integrating the different competences coming from the UTTP-MDB and UTTP-CHIA laboratories, the group gained a good expertise in the physicochemical characterization of NMs not only in the native state but also in the relevant environmental matrices (soil and aqueous matrices), which is of the utmost importance in this field and in the adaptation and development of toxicity assays that could properly fit with the specific issues related to the investigation of NMs.

As it is evident from Table 1, “Health & Fitness” is the most important among the categories of nanoscale products containing nanoparticles (more than 50%) with the “Personal Care” subsector covering, alone, around 20% of the nanotech goods. The materials most commonly reported in their nanophase in the products description are silver (313 products), used for its antimicrobial



**FIGURE 2** Particle size distribution in water extracts of standard OECD soil (a) and in ZnO NP contaminated OECD soil (b)  
Source: ENEA

properties, Titanium dioxide (59) and zinc oxide (31), similarly largely used in the production of sunscreens and baby care products.

In spite of this large diffusion, relatively very few studies have reported on the evaluation of the environmental impact of nano-ZnO in soils and waters. We therefore focused our recent investigations on this topic. Herein we report our main findings related to the toxic effect of ZnO in its nano-form, either in soil and in water.

## Soil

We investigated the toxic and genotoxic impact of ZnO nanoparticles towards several terrestrial organisms: plants (*Lepidium sativum*, *Vicia faba*), crustaceans (*Heterocypris incongruens*), insects (*Folsomia candida*)<sup>[5]</sup>. In Table 2, the toxicity test battery used for this kind of investigations is reported.

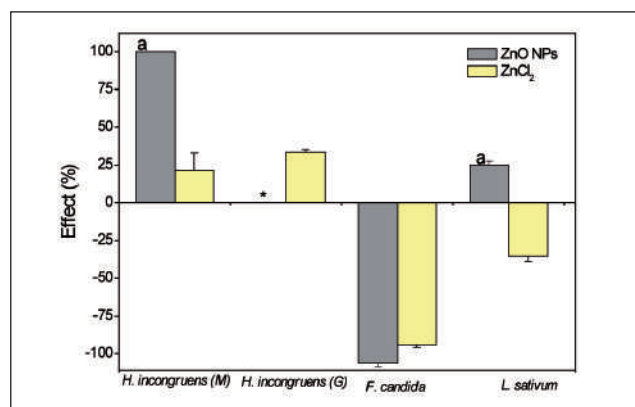
The effects of ZnO NPs were also evaluated with respect to free metal ions (as  $ZnCl_2$ ) which are considered as the source for the toxic action of the corresponding metal oxides nanoparticles.

To ensure the nanostate in our experiment, we spiked the soil by dry mixing the nano-powder to it. This procedure preserves the NP pristine size and leaves the dispersion

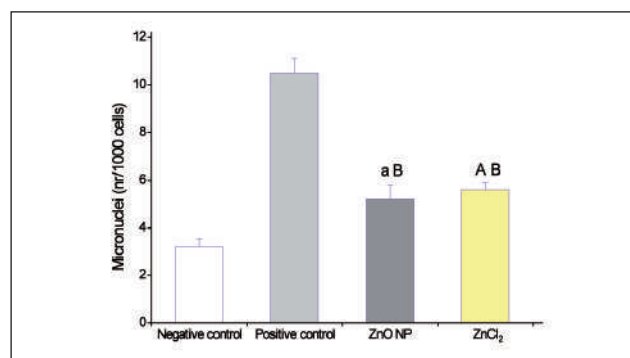
state of the NPs unchanged after the wetting procedure of the soil carried out for toxicity tests, as confirmed by SEM and DLS characterizations (Figures 1, 2).

In Figure 2, the DLS analysis of spiked soil aqueous extracts showed the presence of dispersed particles with an average size of 103 nm, which can be ascribed, by comparison with DLS analysis of clean OECD soil extract, to the ZnO NPs.

The most sensitive organism to ZnO NP exposure was *H. incongruens* (Figure 3). Actually, the presence of ZnO dispersed NPs in the soil caused a lethal effect (100% mortality) after 6 days of exposure. Under the same exposure conditions,  $ZnCl_2$  spiked soil (that is soluble Zn) only caused moderate, acute (21%) and chronic (34%) effects. It has been already reported that the soluble zinc ions are able to exert toxic effects against the *P. subcapitata*<sup>[11]</sup> (used as feeding organisms in our experiment) and this toxic action may, in turn, affect the overall toxicity against *H. incongruens* resulting, in our case, in acute and chronic responses up to 21% and 34%, respectively. In order to explain the 100% mortality observed by the ZnO exposure, we are then forced to assume some other toxic mechanism involving a more specific interference with some kind of vital processes of the ostracod amplified by the nanodimension.



**FIGURE 3** ZnO NP toxicity. Mean percent effect of mortality (M) and body growth (G) measured at Zn concentration of  $230 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d.w.}$ , tested both as ZnO NPs and  $ZnCl_2$ . (a) indicates statistically significant difference with  $p < 0.05$  between the two treatments; (\*) no data could be measured because of 100% mortality  
Source: ENEA



**FIGURE 4** Mean values of *V. faba* micronucleus frequencies due to exposure to ZnO NP and  $ZnCl_2$  spiked soils. OECD soil was used as negative control. Positive control was prepared by standard soil saturated with  $K_2Cr_2O_7$  solution ( $10 \text{ mg l}^{-1}$ ). Statistically significant differences between each treatment and the negative control have (a)  $p < 0.05$  and (A)  $p < 0.01$ ; as for positive control differences were statistically significant with (B)  $p < 0.01$   
Source: ENEA

Plants were less sensitive to the exposure treatments. *L. sativum* seeds showed a 100% germination (no effect with respect to control) with both soil contaminants, whereas the root elongation was affected by the exposure to ZnO NPs and soluble Zn in different ways. As can be seen in Figure 3, ZnO NPs spiked soil exerted a moderate toxic effect, while ZnCl<sub>2</sub> spiked soil even produced a 35% biostimulation. This biostimulation can be most likely addressed to a hormetic effect. As a matter of fact, the OECD standard soil is devoid of Zn and, as this metal is an essential element for many plants, a certain amount of promptly available ionic Zn might result in a biostimulation of the terrestrial organism<sup>[12]</sup>.

The collembolan reproduction was not affected by the presence of Zn regardless of its form. Actually, both ZnO NPs and ZnCl<sub>2</sub> spiked soils produced a clear biostimulation (106% and 94%) with respect to the control soil. Once again, this is not surprising since the observed effect could be the result of specific needs of the exposed organisms in the control soil. These results highlight that, when assessing the environmental risks of essential metals such as zinc, both deficiency and toxicity levels should be, in fact, taken into account<sup>[13,14]</sup>.

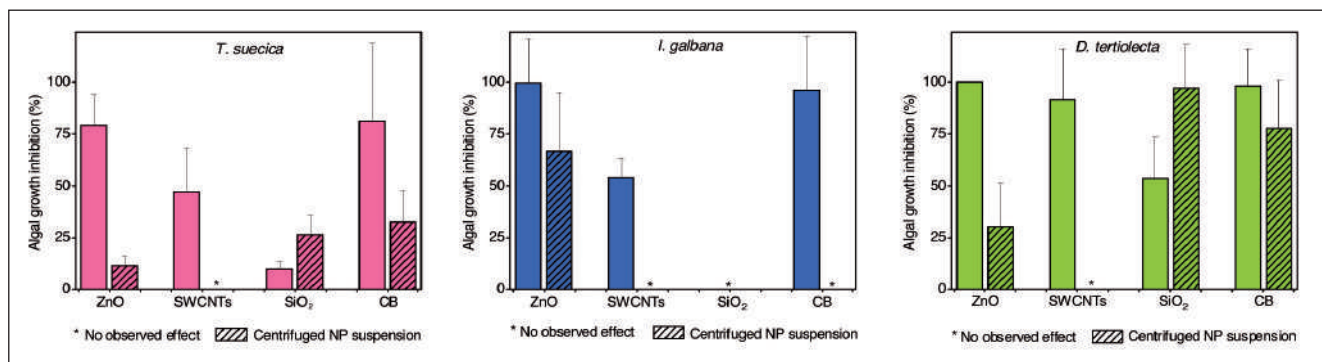
*V. faba* micronucleus test revealed slight genotoxic effects with both spiked soils (Figure 4).

The observed effects may come from different interaction pathways of the tested materials: soluble Zn ions can easily penetrate directly into meristematic cell membranes of *V. faba* while the ZnO NPs can penetrate the cell walls through a mechanical action<sup>[15]</sup>.

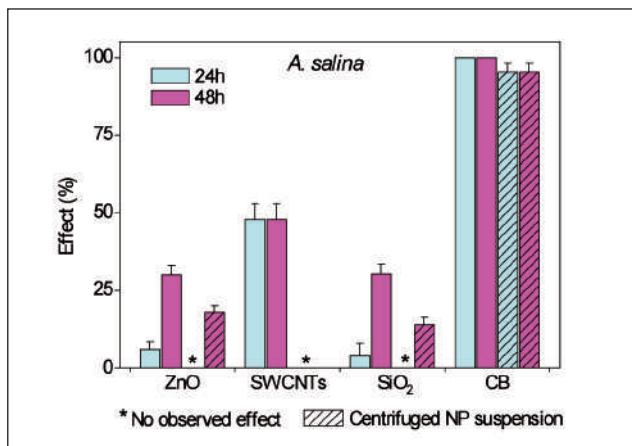
| Test organism                 | Test endpoint                | Reference      |
|-------------------------------|------------------------------|----------------|
| <i>Dunaliella tertiolecta</i> | algae population growth 96 h | US EPA, 1985   |
| <i>Isocrysis galbana</i>      |                              |                |
| <i>Tetraselmis suecica</i>    | mortality 48h                | IRSA-CNR, 1997 |
| <i>Artemia salina</i>         |                              |                |
| <i>Paracentrotus lividus</i>  | embryos development 72 h     | US EPA, 1995   |

**TABLE 3** Toxicity test battery for marine environment  
Source: ENEA

Summarizing, we have reported the evidence of toxic effects of ZnO NPs towards different terrestrial organisms. Although most of the results reported in literature call for the soluble fraction of the ZnO NPs (i.e., the Zn<sup>2+</sup> ion) to explain the ecotoxic actions, we showed that for some organisms ZnO NPs exert a higher toxic effect in their insoluble form compared to that of the same amount of ionic zinc.



**FIGURE 5** Mean percent algal growth inhibition upon 96h exposure to seawater dispersions of ZnO, SWCNTs, SiO<sub>2</sub> and CB nanoparticles. Error bars are also shown  
Source: ENEA



**FIGURE 6** Mean percent effect on *A. salina* exposed to NPs samples. Error bars are also shown  
Source: ENEA

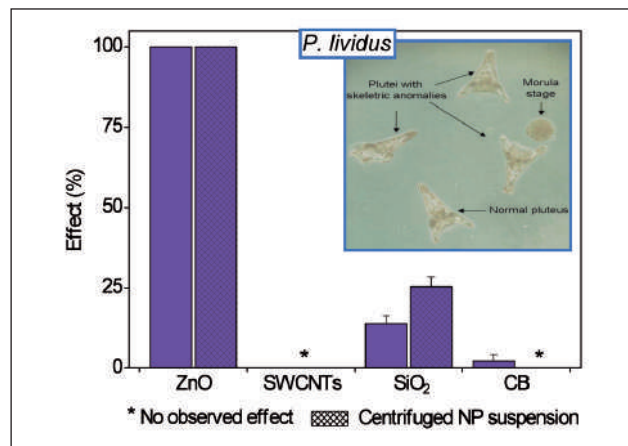
Thus, the NPs toxic action can be linked to a chemical effect and/ or to stress or stimuli caused by the peculiar physical characteristics of the nanostate.

## Sea Water

Coastal systems are likely to be the ultimate sink for any nanomaterial, more or less deliberately released into the environment<sup>[16]</sup>. The fate and behaviour of NPs in seawater strongly depend on different physicochemical characteristics that could affect NPs aggregations. It is well-known that NPs tend to aggregate in aquatic environments to form micrometer-sized particles and it is likely that this state of dispersion may affect the influence of particle size, shape and surface properties on their ecotoxicity<sup>[17,18]</sup>.

NPs and NP aggregates could represent a risk both for pelagic and, after deposition in sediment, for benthic species. Despite this concern, only a few studies regarding the ecotoxic effect of NPs upon marine organisms have been so far accomplished.

Our research work, about this peculiar environmental matrix, started with the evaluation of adverse effect of nano ZnO on marine organisms with different biological complexity (sea urchins, crustaceans and algae SW Table 3) also with respect to other different kinds of NPs such as Silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>), Carbon black and Carbon nanotubes (CNTs).



**FIGURE 7** Mean percent effect on sea urchin embryos. Error bars are also shown  
Source: ENEA

In Figure 5, the mean algal growth inhibition upon NP exposure is summarized.

The selected algae got comparable responses upon NP exposure, with *D. tertiolecta* being the most sensitive organism. Among the tested nanomaterials, only SiO<sub>2</sub> exerted a very low effect on the growth inhibition of *T. suecica* and no effect at all on *I. galbana*. The removal of large aggregates decreased the toxic effect likely because of an appreciable decrease of the concentration of suspended particles in the seawater samples. This was particularly evident in the case of the exposure of all the tested organisms to SWCNTs. In this case the toxic effects shown by SWCNTs uncentrifuged samples vanished when centrifuged seawater sample were supplied to the algae.

On the whole, carbon based nanoparticles have shown the highest effects on crustaceans (Figure 6).

In fact, exposure of *A. salina* to CB and SWCNTs suspensions caused a 50% and 95% mortality after the first 24 h, respectively. The toxic effect of CB NPs was so marked that the response was equivalent with both samples, centrifuged and uncentrifuged. Mild effects were observed, instead, for ZnO and SiO<sub>2</sub> NPs in the uncentrifuged suspensions after 48 h.

As shown in Figure 7, echinoids were very sensitive to ZnO NPs. The SiO<sub>2</sub> showed only a moderate toxic effect while SWCNTs and CB did not show any toxic effects on sea urchin embryos.

NPs effects upon marine phytoplankton is a necessary step to predict their potential impact on coastal marine food webs and on the whole ecosystems that they support. Hence, following these preliminary results we focused the investigation on the ecotoxicological behaviour of ZnO. To this aim, we recorded dose response curves for exposure to nano-ZnO and calculated for the first time its main toxicological parameters<sup>[6]</sup>. Bulk-ZnO dose response curves were also measured in order to check any specificity in the nanosized material with respect to its bulk counterpart. The findings were finally compared to the toxic effects of Zn<sup>2+</sup>, to specifically investigate the metal ions contributions to ZnO toxicity. The results show that nano-ZnO is more toxic (EC50: 2.42 (0.97-5.36) mg L<sup>-1</sup>, NOEC: 0.01 mg L<sup>-1</sup>) than its bulk counterpart (EC50: 4.45 (3.45-5.98) mg L<sup>-1</sup>, NOEC: 1 mg L<sup>-1</sup>). Cross-referencing the toxicity parameters calculated for ionic zinc (EC50: 0.65 (0.36-0.70) mg L<sup>-1</sup>, NOEC: 0.01 mg L<sup>-1</sup>) and the dissolution properties of the ZnO, it can be noticed that the

toxicity of nano-ZnO cannot be ascribed to zinc ions exclusively. At the same time, growth rates of *D. tertiolecta* were not significantly affected by nano-ZnO exposure. It is clearly evident thereby that a different toxicological pathway, relying on a nano-size effect, has to be assumed also in this case to understand the considerable differences between nano and bulk ZnO behaviours.

### Conclusions

In conclusion, our findings suggest that the size of ZnO dispersed particles determines their bioavailability and overall toxicity. The true operating mechanism is however still undisclosed. Therefore, due to the wide diffusion of nano-ZnO in many commercial products, our results suggest that nanomaterials may actually have an adverse impact on the environment and thus great care should be adopted when dealing with nanomaterials in their whole life cycle. ●

references

1. [http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis\\_draft/](http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/)
2. Eva Oberdörster (2004) "Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C60) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass", *Environ Health Perspect.* 112, 1058-1062.
3. A.E. Nel, L. Mädler, D. Velegol, T. Xia, E. Hoek, P. Somasundaran, F. Klaessig, V. Castranova, M. Thompson (2009), *Understanding the biophysicochemical interactions at the nano-bio interface.* *Nat Mater* 8, 543-557.
4. G. Oberdörster, E. Oberdörster, J. Oberdörster (2005), *Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles*, *Environ Health Perspect* 113, 823-839.
5. S. Manzo, A. Rocco, R. Carotenuto, F. de Luca Picione, M.L. Miglietta, G. Rametta, G. Di Francia (2011), *Investigation of ZnO nanoparticles' ecotoxicological effects towards different soil organisms.*, *Environmental Science and Pollution Research* 18, 756-763.
6. S. Manzo, M.L. Miglietta, G. Rametta, S. Buono, G. Di Francia, *Toxic effects of ZnO nanoparticles towards marine algae Dunaliella tertiolecta.* Submitted to *Environmental Pollution*.
7. M.L. Miglietta, G. Rametta, G. Di Francia, S. Manzo, A. Rocco, R. Carotenuto, F. De Luca Picione, S. Buono (2011), *Characterization of nanoparticles in seawater for toxicity assessment towards aquatic organisms*, *Lecture Notes in Electrical Engineering* 91, 425-429.
8. M.L. Miglietta, G. Rametta, G. Di Francia (2009), *Characterization of carbon based nanoparticles dispersion in aqueous solution using dynamic light scattering technique*, *Macromolecular Symposia* 286, 95-100.
9. G. Rametta, V. La Ferrara, G. Di Francia (2007), *Nanomaterials Toxicity: An In-Vitro Investigation*, *Proc. AISEM Conference*, Word Scientific Publication ISBN 10981-283-358-7 p.86-92.
10. G. Rametta, G. Di Francia (2007), *La tossicità dei nanomateriali*, *La Chimica e l'Industria*.
11. N.M. Franklin, N.J. Rogers, S.C. Apte, G.E. Batley, G.E. Gadd, P.S. Casey (2007), *Comparative toxicity of nanoparticulate ZnO, bulk ZnO, and ZnCl2 to a freshwater microalga (Pseudokirchneriella subcapitata): the importance of particle solubility.* *Environmental Science and Technology* 41, 8484-8490.
12. M.W. Paschke, L.G. Perry, E.F. Redente (2006), *Zinc toxicity thresholds for reclamation for species.* *Water Air Soil Pollut* 170, 317-330.
13. E.J. Calabrese, L.A. Baldwin (2003), *Peptides and hormesis.* *Crit Rev Toxicol* 33, 215-304.
14. K. Lock, K. Desender, C.R. Janssen (2001), *Effects of metal contamination on the activity and diversity of carabid beetles in an ancient Pb-Zn mining area at Plombières (Belgium).* *Entomol Exp Appl* 99, 355-360.
15. D.H. Lin, B.S. Xing (2007), *Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth.* *Environ Pollut* 150, 243-250.
16. S.J. Klaine, P.J.J. Alvarez, G.E. Batley, T.F. Fernandes, R.D. Handy, D.Y. Lyon (2008), *Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects.* *Environmental Toxicology and Chemistry* 27, 1825-1851.
17. R.D. Handy, F. Von Der Kammer, J.R. Lead, M. Hasselov, R. Owen, M. Crane (2008), *The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles.* *Ecotoxicology*, 17, 287-314.
18. L.K. Limbach, Y. Li, R.N. Grass, T.J. Brunner, M.A. Hintermann, M. Muller, D. Gunther, W.J. Stark (2005), *Oxide nanoparticle uptake in human lung fibroblasts: effects of particle size, agglomeration, and diffusion at low concentrations.* *Environmental Science and Technology*, 39, 9370-9376.



# PVD protective multilayer coatings for tribological applications

Nowadays protective coatings are identified as a fundamental key to guarantee strong mechanical resistance, high hardness and high wear resistance for the coated components. As a consequence, continuous research is conducted to find innovative coating solutions with improved performances. To this aim, we report about the sputtering deposition of different multilayer structures made of zirconium and titanium nitrides layers (ZrN/TiN) on WC-Co substrates and milling tools, demonstrating an increased tool lifetime of about 30%

■ Antonella Rizzo, Maria Assunta Signore, Daniele Valerini

## Rivestimenti protettivi a multistrato realizzati tramite PVD per applicazioni tribologiche

L'uso di rivestimenti protettivi è oramai considerato una chiave fondamentale per garantire forte resistenza meccanica, elevata durezza e alta resistenza all'usura dei componenti rivestiti. Di conseguenza, la ricerca di soluzioni di rivestimento innovative è in continuo sviluppo per raggiungere prestazioni sempre migliori. A tale scopo, in questo lavoro sono stati depositati, tramite sputtering, diversi rivestimenti multistrato di nitruro di zirconio e di titanio (ZrN/TiN) su substrati e inserti per fresatura in WC-Co, dimostrando un aumento della vita dell'utensile di circa il 30%

The concept of coating is well established nowadays and coatings are widely used for the design of opportune coating/substrate systems so as to improve their behavior in specific applications. Thus the use of coatings has been proven to be very effective for the development of novel thin film materials with tailored properties.

In particular, dealing with protective coatings for mechanical processing (cutting, milling, machining etc.) and aeronautical/aerospace applications (components for turbines to be used in harsh environments, elements exposed to strong frictions needing good antifretting properties etc.), the increasingly deman-

ding technological requirements lead to find coatings which must work in very strict operational conditions (machining of very hard materials, high work speeds, high temperatures, harsh atmosphere etc.). Also, the needs for productivity drive the materials research to the realization and optimization of coating films which are capable of strongly increasing the lifetime of the coated tools. As a consequence, these tribological coatings must satisfy various requirements, like strong mechanical resistance, high hardness, high wear resistance, good thermal stability and strong adhesion to the coated tool.

In addition, the current and future strict environmental regulations (see, e.g., REACH<sup>[1]</sup>, dealing with the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances) affect the processes of development and improvement of materials technology, inducing the need to substitute many materials and

■ Antonella Rizzo, Maria Assunta Signore, Daniele Valerini  
ENEA, Technical Unit for Brindisi Material Technologies Material Technologies Laboratory

substances presently used in a lot of technological processes. As an example, chromium and cadmium have to be removed from the present coating processes and they must be replaced by environmentally friendly materials and processes, assuring similar or better performances than the current state of the art. In this context, an environmentally sustainable technology is represented by the realization of conversion layers made by thin film coatings and the deposition of primers by physical vapor deposition (PVD) techniques. These techniques are very versatile methods for thin film deposition, thus allowing the tailoring of the film properties and the optimization of coatings according to the desired application.

To the purpose of coating optimization for mechanical applications, both coating material (e.g., nitride, carbide, oxide etc.) and coating structure (single layer, multilayers, gradient composition layer etc.) have to be considered. The first coating materials used for these applications were titanium carbide (TiC) and titanium nitride (TiN), realized by chemical vapor deposition (CVD) techniques<sup>[2]</sup>. Several other materials, like alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), titanium aluminum nitride (TiAlN), diamond-like carbon (DLC) etc., were then studied and mainly realized by the more versatile PVD techniques. Transition metal nitrides, like titanium nitride (TiN) and zirconium nitride (ZrN), are among the most useful materials used as protective coatings, thanks to their high hardness, wear resistance and thermal stability<sup>[3]</sup>. The optimization of the coating structure can then improve the mechanical features of the coating, for example through the use of a multilayer structure made of thin layers (100 atomic layers or less) of different materials<sup>[4]</sup>. In this kind of structures, the atoms near the interfaces between two layers are displaced from their normal lattice positions and their strain energy is proportional to the shear modulus of the material, given by the ratio of shear stress to the shear strain. When a dislocation moves along a material, an energy barrier is encountered at the interface between a layer with a lower shear modulus and a layer with a higher shear modulus. As a consequence, in a multilayer structure the propagation of dislocations and cracks can be strongly reduced, thus increasing the resistance of the structure. Moreover, a proper tailoring of the micro-

and nano-structure of the layers can further enhance this feature, since dislocations and cracks can be deflected and split at grain boundaries, with a consequent crack energy dissipation<sup>[5]</sup>.

In the frame of multilayer structures, a very interesting solution for the realization of hard coatings is represented by the use of *superlattices*, formed by the alternation of ultra-thin layers (typically ~ 2-20 nm) of different materials, allowing to obtain coatings with performances exceeding those of the single constituent materials and of single layer coatings. In this kind of coating systems, the combination of features related to the multilayer structure and to the nanoscale dimensions can permit the development of coated components with superior performances<sup>[2]</sup>. Besides the block of dislocations at the layer interfaces, also periodical strain fields generated in the alternating layers of polycrystalline superlattice structures can help increase the hardness of multilayer coatings<sup>[5,6]</sup>. As a consequence the superlattice structures can sometimes present, for suitable combinations of different materials and bilayer periods, a strongly enhanced hardness, giving rise to the so-called “superlattice effect”<sup>[5]</sup>.

Together with hardness enhancement, another significant issue to be considered for the realization of a good protective coating is represented by its adhesion to the substrate. Therefore, a buffer layer between substrate and protective coating is often used to improve the coating/substrate adhesion, which is particularly important for components that can reach high operational temperatures like, e.g., milling inserts. Indeed a proper buffer layer can reduce the formation of residual stress related to the different coefficients of thermal expansion of substrate and coating<sup>[7]</sup>, thus improving the adhesion between coating and substrate and increasing the tool lifetime.

PVD techniques represent a very interesting and convenient route to realize and optimize multilayer structures with a reliable control of thin film thickness and microstructure, as demonstrated by the large number of reports about multilayer and superlattice structures grown by PVD methods and composed by combinations of layers of many different materials, like TiN, VN, AlN, NbN, CrN, TaN, ZrN, TiCN, TiAlN, and so on (see, e.g.,<sup>[5,6]</sup> and references therein). In particular, we



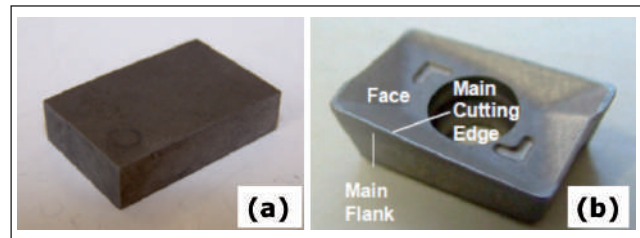
conducted several studies about the tailoring of single nitride layer properties (see for example [8,9,10,11]) and about the control of multilayer properties [12,13].

In this paper, we initially provide an overview about the deposition and characterization of ZrN/TiN multilayer structures having different bilayer periods, obtained by tuning the deposition parameters. Then the adhesion properties of two multilayer coatings deposited on WC-Co substrates are studied through scratch tests and compared to single layer coatings. Finally, a practical application of these coatings on WC-Co inserts during milling operations is examined by measurements of flank wear of the inserts. These operational wear tests were conducted in collaboration with local companies working on mechanical tools (BARIttools Srl), during the development of research activities inside a regional research project (TITRiS – Innovative Technology for Surface Treatments and Coatings on Tools and Mechanical Components).

### Experimental details

The deposition process of ZrN and TiN single layers was widely studied and reported in our previous papers (e.g., in [8-11]). Once the process for the single layer coatings was optimized, the realization of ZrN/TiN multilayers was examined. Reactive RF magnetron sputtering in Ar+N<sub>2</sub> atmosphere was used to deposit ZrN/TiN multilayers, adjusting some selected deposition parameters, like rotation speed of the substrate holder in the range 1.2-4.8 rpm (revolutions per minute), nitrogen flux percentage in the range from 4% to 7.5%, and RF power applied to the targets at values of 200 and 250 W. The tuning of the deposition parameters allowed us to obtain bilayer periods from 2 to 13 nm for the ZrN/TiN multilayer coatings, whose deposition and characterization details are extensively discussed in refs [12-13].

For the adhesion and wear tests reported in this work, ZrN/TiN multilayer coatings were deposited by reactive RF magnetron sputtering on two kinds of WC-Co 9.5% substrates (Figures 1(a) and 1(b)): rectangular-shaped substrates (25x20x3 mm<sup>3</sup>) for laboratory characterizations (scratch tests) and milling inserts for tool life tests.



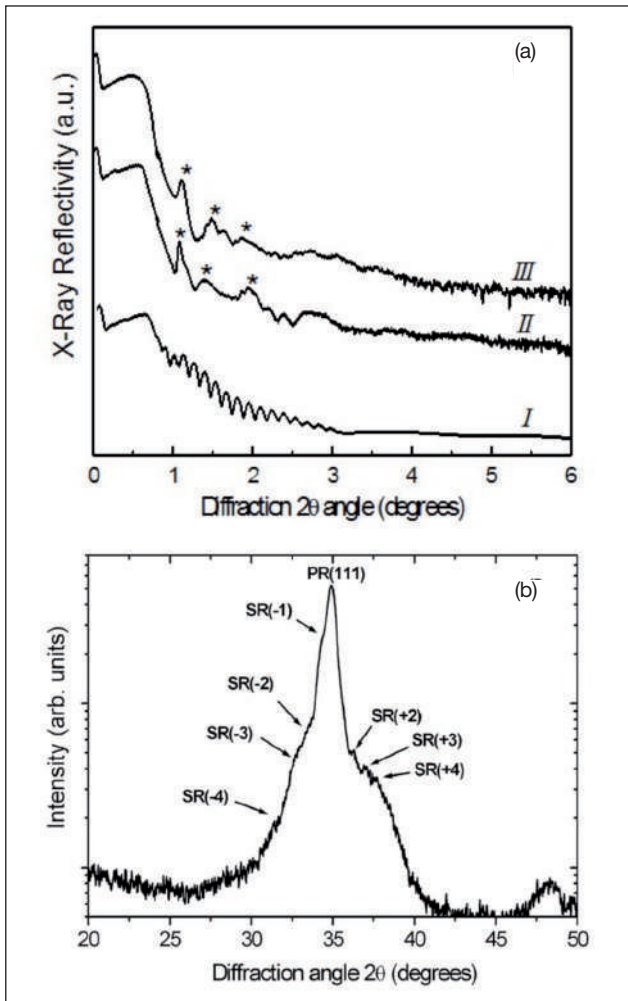
**FIGURE 1** (a) Rectangular-shaped WC-Co substrate used for laboratory characterizations. (b) WC-Co milling insert used for tool life tests

Source: ENEA

The deposition chamber was evacuated down to a base pressure of  $\sim 6 \times 10^{-5}$  Pa ( $\sim 4.5 \times 10^{-7}$  Torr) and, before the deposition of the nitride layers, a 500 nm-thick Zr buffer layer was sputtered onto the substrates in a pure Ar atmosphere at a pressure of 3 Pa ( $\sim 2 \times 10^{-2}$  Torr) and at Zr target power of 165 W. After the deposition of the Zr buffer layer, the rotation speed of the substrate holder was fixed at 3 rpm and the multilayer structure was obtained through the subsequent transits of the samples under the plasmas generated by the Zr and Ti targets at RF powers of 165 W and 200 W respectively, in Ar+N<sub>2</sub> atmosphere at a pressure of 3 Pa. Two samples were deposited at nitrogen flux percentages of 6% (sample ML1) and 8% (sample ML2). The bilayer period for both multilayers was 6 nm and the total thickness of the coatings (including the buffer layer) was 1.5  $\mu$ m. Also, for comparison a single ZrN layer was deposited with the same thickness (Zr buffer layer of 500 nm and ZrN layer of 1  $\mu$ m).

For the evaluation of the coating/substrate adhesion properties, scratch tests were performed by a Rockwell C diamond stylus (radius 300  $\mu$ m), using a loading rate of 100 N/min and a traverse speed of 10 mm/min. According to the international standards [14], the load on the stylus is gradually increased until failure of the coating/substrate system occurs: the load causing the failure of the coating is indicated as critical load  $L_C$ . Failure events are usually detected by the use of microscopic examination, acoustic emission and/or friction force acquired during the test.

In order to evaluate the coating performances for tool life improvement, the coated milling inserts were te-



**FIGURE 2** (a) XRR spectra of three ZrN/TiN multilayers with bilayer period of about 2 nm (spectrum I), and about 8-11 nm (spectra II and III). (b) XRD spectrum of a multilayer sample with a 13 nm bilayer period  
 Source: ENEA. (b) extracted from ref. [12]

sted under operational hard machining conditions. According to ISO standard procedures [15], a tool with a diameter of 63 mm and 8 teeth, mounting APKT inserts (WC-Co 9.5%, rake angle 11°), was used. The operational face milling tests were conducted at a cutting speed of 197 m/min, a feed per tooth of 0.2 mm/rev-tooth, a feeding speed of 1600 mm/min, a depth of cut of 2.5 mm, and with no lubrication. Tool life evaluation, in terms of useful working time, was obtained through

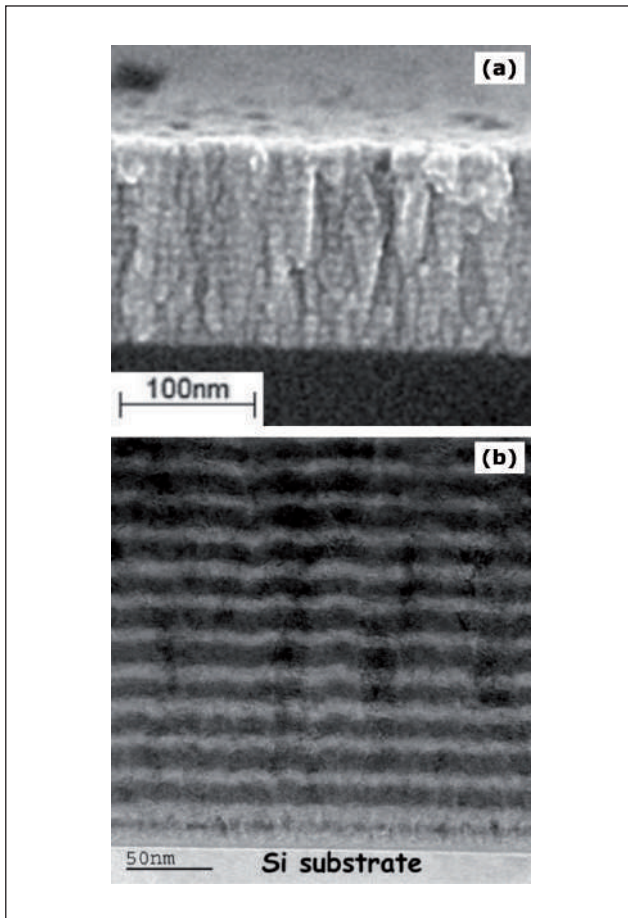
the measure of the flank wear (VB) as the mean width of the worn flank surface. The worn regions on the tool flank were examined by using a Zoller presetting machine, equipped with two digital cameras (frontal and lateral) and a software for recording digital images and measuring geometric wear parameters.

### Results and discussion

An extensive study about the structural and morphological properties of ZrN/TiN multilayers with different bilayer periods was conducted by means of x-ray diffraction (XRD) and reflectivity (XRR), atomic force microscopy (AFM), scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) [12,13]. As an example, herein we briefly recall some properties of the obtained multilayers. Figure 2(a) shows the XRR spectra of three multilayers with different bilayer periods. The spectrum of the first sample (sample I) did not evidence any presence of satellite peaks, thus indicating the absence of a periodic stacking of the different layers, probably due to the very low thickness of the layers, which does not allow a sharp separation between two subsequent layers. However, the visible fringes in its spectrum indicated a good uniformity of the total thickness. Conversely, the presence of some satellite peaks in the spectra of samples II and III indicated a periodic stacking of the layers, with a bilayer period which is not perfectly constant over the whole thickness.

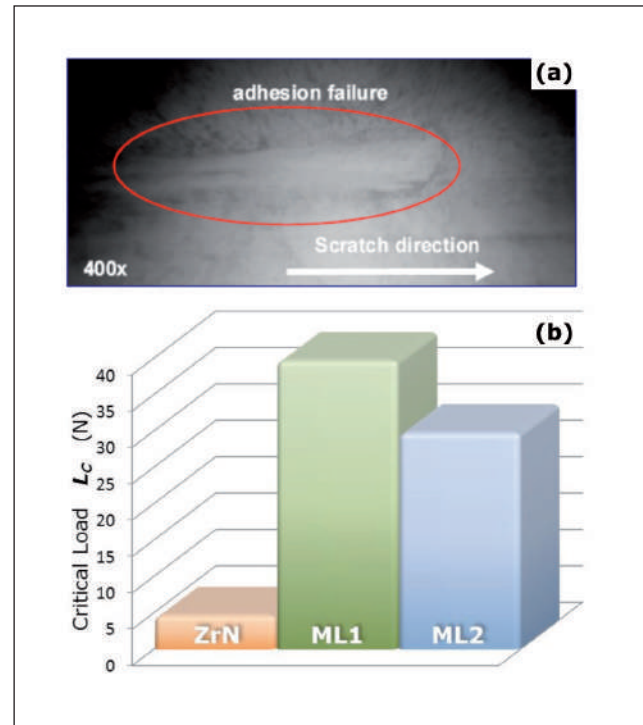
Figure 2(b) shows the XRD spectrum of a multilayer sample with a bilayer period of 13 nm. The position of the principal peak (PR) denoted a (111) preferential orientation of the structure, and the occurrence of various positive and negative satellite reflections (SR) confirmed the formation of a superlattice structure. In addition, the angular positions of the principal diffraction peaks and the satellite peaks allowed the evaluation of the bilayer period [6].

The formation of the multilayer structure was also confirmed by microscopy investigations, as observable in Figure 3. The alternation of the different ZrN and TiN layers is evident in the SEM image (Figure 3(a)), which also evidenced the formation of a columnar growth of the structure.



**FIGURE 3** (a) Cross-sectional FEG-SEM image of a ZrN/TiN multilayer coating with a bilayer period of 10 nm. (b) Cross-sectional high-resolution TEM image  
Source: ENEA. (b) extracted from ref. [13]

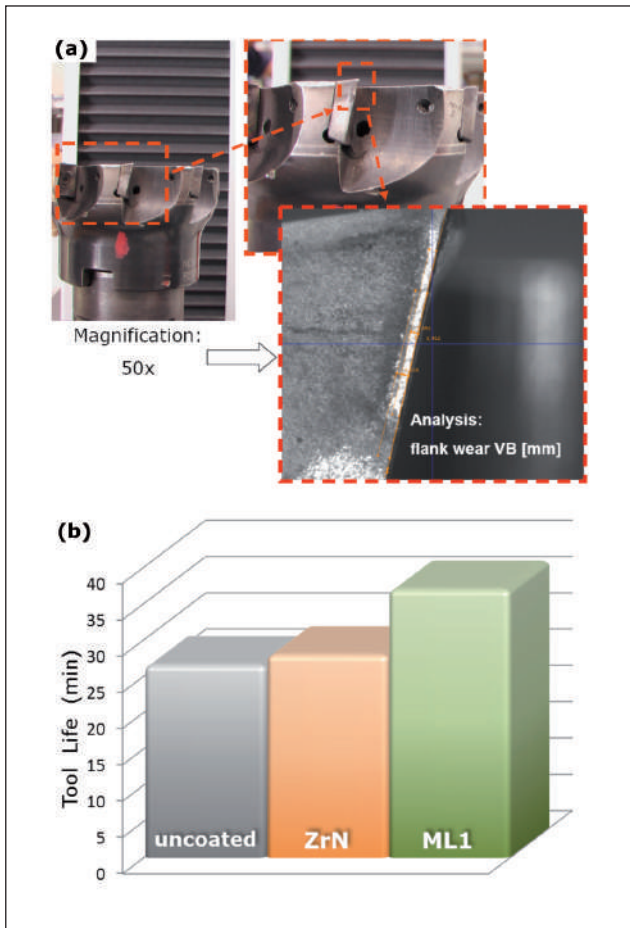
The TEM image in Figure 3(b) indicated a dense fine-grained structure of the single layers constituting the multilayer structure. Moreover, from this image it is possible to note that the roughness at the interface with the substrate is very small, then the interface roughness increases as the number of deposited layers increases, due to the known “cumulative roughness” observed in sputtered multilayer structures [17]. In a further addition, also the increasing bilayer period induced an increased surface roughness, as observed by morphological characterization through AFM measurements [12,13]. As an example, the RMS



**FIGURE 4** (a) Optical microscope image of a scratch track on sample ML1. (b) Comparison of the critical load values for the different coatings  
Source: ENEA

roughness for samples made of 40 stacked bilayers was found to increase from 0.7 nm for a 2 nm period, to 1.3 nm for a 4 nm period, up to 3.1 nm for a 9 nm period [13].

In order to evaluate the usefulness of ZrN/TiN multilayer structures for tribological applications, these kinds of coatings were deposited on WC-Co substrates and their adhesion properties were examined by scratch tests and compared with a single ZrN coating. The scratch depth measured by profilometry at different points along the scratch tracks and the observation of the scratch tracks by optical microscope allowed the determination of the distance where the scratch depth equals the coating thickness. The image of a scratch track observed by optical microscope on sample ML1 is shown in Figure 4(a), indicating a penetration of the stylus inside the coating until the substrate is reached at a length of about 6 mm. Since the normal load cor-



**FIGURE 5** (a) Detail of an insert mounted on a milling tool and magnification of the flank wear. (b) Comparison of tool life of uncoated inserts and inserts coated with a single ZrN coating and with a ZrN/TiN superlattice coating (ML1)  
Source: ENEA

responding to the different distances along the scratch tracks was known, it was possible to determine the critical load  $L_C$  values.

The results reported in Figure 4(b) show that the  $L_C$  values of the multilayer coatings are about 6-8 times higher than the single ZrN coating, indicating a stronger adhesion of the multilayer coatings, due to the reduction of residual stress during the deposition process of the different layers and the consequent increase in the coating resistance.

In order to check the functional response of the coa-

tings, the ZrN/TiN superlattice coating with the highest adhesion (ML1) was tested on milling inserts during operational hard machining conditions, as described in the experimental section, and compared with the single ZrN coating and with uncoated milling inserts. As shown in Figure 5(a), the machining tests induced the development of a uniform flank wear beneath the main cutting edge. According to ISO standard procedures<sup>[15]</sup>, the end of the tool life was chosen as the time when a flank wear (VB) of 0.3-0.4 mm was reached, and each VB value was taken as the average value of the flank wear of the eight inserts mounted on the cutting tool.

The results of the flank wear examinations are summarized in Figure 5(b), where it is shown that the single ZrN coating induced a very slight improvement in tool life with respect to the uncoated tool. Conversely, the best results in terms of flank wear and tool life were given by the ZrN/TiN superlattice coating, which promoted a significant increase in tool life of almost 30% with respect to the uncoated tool, as expected due to the blocking effects on the propagation of dislocations at the interfaces between the different layers.

## Conclusions

RF magnetron sputtering was used to deposit different kinds of coating for mechanical tools. ZrN single layers and ZrN/TiN multilayers were grown on WC-Co tools in order to verify their adhesion properties and their improvements for lifetime increase of coated tools. Scratch tests, together with profilometry and optical microscopy observations, provided the measurements of the critical load  $L_C$  values and indicated that the ZrN/TiN multilayer structure had a stronger adhesion to the substrate than the single ZrN coating. Operational tests under hard machining conditions of milling tools indicated that the multilayer coating induced an increase in tool life up to almost 30% with respect to uncoated or single-layer-coated tools.

These results prove that multilayers can provide a challenging coating design to meet engineering requirements in terms of tool performances and durability improvement for tribological applications. ●

### Acknowledgments

Part of the activities presented in this paper were funded by the Apulia research project "TITRIS" (Tecnologia Innovativa per Trattamenti e Rivestimenti Superficiali di utensili e componenti meccanici).

Many thanks are due to BARITools Srl and to Eng. G. Quaranta, Eng. G. Palumbo and Prof. L. Tricarico for their support in tribological measurements, and to all colleagues which cooperated in TITRIS research activities and in results published in the cited references.

### references

- [1] Regulation EC 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006, entered into force on 1 June 2007, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:EN:NOT>.
- [2] W. D. Sproul (1994), "Multilayer, multicomponent, and multiphase physical vapor deposition coatings for enhanced performance", *J. Vac. Sci. Technol. A*, 12, 1595-1601.
- [3] S. T. Oyama (1996), *The Chemistry of Transition Metal Carbides and Nitrides*, Chapman and Hall, London.
- [4] J. S. Koehler (1970), "Attempt to design a strong solid", *Physical Review B*, 2, 547-551.
- [5] M. Stueber, H. Holleck, H. Leiste, K. Seemann, S. Ulrich, and C. Ziebert (2009), "Concepts for the design of advanced nanoscale PVD multilayer protective thin films", *Journal of Alloys and Compounds*, 483, 321-333.
- [6] P. C. Yashar and W. D. Sproul (1999), "Nanometer scale multilayered hard coatings", *Vacuum*, 55, 179-190.
- [7] A. Zhao, H. Deng, F. Liu, and X. Deng (2012), "The research about the III-nitride compounds epitaxially grown on Si substrate", *Advanced Materials Research*, 399-401, 935-944.
- [8] A. Rizzo, M. A. Signore, D. Valerini, D. Altamura, A. Cappello, and L. Tapfer (2012), "A study of suppression effect of oxygen contamination by bias voltage in reactively sputtered ZrN films", *Surface and Coatings Technology*, 206, 2711-2718.
- [9] M. A. Signore, D. Valerini, L. Tapfer, G. Caretto, and A. Rizzo (2011), "Zirconium nitride films deposited in (Ar + N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>) sputtering atmosphere: Optical, structural, and electrical properties", *Journal of Vacuum Science and Technology A: Vacuum, Surfaces and Films*, 29, 061507.
- [10] D. Valerini, M. A. Signore, A. Rizzo, and L. Tapfer (2010), "Optical function evolution of ion-assisted ZrN films deposited by sputtering", *Journal of Applied Physics*, 108, 083536.
- [11] M. A. Signore, A. Rizzo, L. Tapfer, E. Piscopiello, L. Capodiecchi, and A. Cappello (2010), "Effect of the substrate temperature on zirconium oxynitride thin films deposited by water vapour-nitrogen radiofrequency magnetron sputtering", *Thin Solid Films*, 518, 1943-1946.
- [12] A. Rizzo, M. A. Signore, M. F. De Riccardis, L. Capodiecchi, D. Dimaio, and T. Nocco (2007), "Influence of growth rate on the structural and morphological properties of TiN, ZrN and TiN/ZrN multilayers", *Thin Solid Films*, 515, 6665-6671.
- [13] A. Rizzo, M. A. Signore, M. Penza, M. A. Tagliente, F. De Riccardis, and E. Serra (2006), "RF sputtering deposition of alternate TiN/ZrN multilayer hard coatings", *Thin Solid Films*, 515, 500 - 504.
- [14] UNI EN 1071-3:2005, Advanced technical ceramics - Methods of test for ceramic coatings - Part 3: Determination of adhesion and other mechanical failure modes by a scratch test.
- [15] ISO 8688-1:1989, Tool life testing in milling - Part 1: Face milling.
- [16] E. Piscopiello, A. Rizzo, M.A. Signore, L. Tapfer, and M. Vittori Antisari, "Structural Investigation TiN/ZrN multilayers", *Proceed. of 8th Multinational Congress on Microscopy (Prague, CZ, 17th-21st June 2007)*, 297-298.
- [17] E. E. Fullerton, J. Pearson, C. H. Sowers, S. D. Bader, X. Z. Wu, and S. K. Sinha (1993), "Interfacial roughness of sputtered multilayers: Nb/Si", *Physical Review B*, 48, 17432-17444.



# Hydrogen mass transfer through micro and nano-structured electrodes for energetic applications

A research activity is in progress, to study hydrogen mass transfer through micro and nano-structured electrodes for energetic applications. The research is mainly oriented to the improvement of the technological application of hydrogen as energy vector.

The main objective of the study is to develop suitable layers of palladium based materials to be used as coating for fuel cells electrodes. Material characterization is performed by means of electrochemical impedance spectroscopy (EIS), atomic force and electronic microscopy

■ Emanuele Castagna, Leonardo Giorgi, G.K. Hubler, D. Kidwell, D. Knies, S. Lecci, M. McKubre, Mirko Sansovini, Francesca Sarto, Vittorio Violante

## Trasporto di idrogeno attraverso elettrodi micro e nanostrutturati per applicazioni energetiche

È in corso un'attività di ricerca per studiare il trasporto di idrogeno attraverso elettrodi micro e nanostrutturati per applicazioni energetiche. La ricerca è orientata principalmente al miglioramento delle applicazioni tecnologiche dell'idrogeno come vettore energetico.

Obiettivo principale dello studio è quello di sviluppare layer di materiali a base di palladio da utilizzare come rivestimento degli elettrodi per fuel cell.

La caratterizzazione dei materiali è stata realizzata mediante spettroscopia ad impedenza elettrochimica, microscopia a forza atomica ed elettronica

**M**aterials properties at micro and sub-micro scale are gaining a mounting attention because of their very large application spectrum. The interest towards such a kind of materials is originated by both scientific and technological perspectives.

The application field is ranging between catalysis, selective absorption, gas storage and technologies for developing electrodic materials for energetic applications.

These materials are widely studied and characterized by means of electrochemical techniques.

An experimental activity has been activated, in cooperation with US research Institutions, to study hydrogen

mass transfer through micro and nano-structured electrodes for energetic applications.

■ Emanuele Castagna, Stefano Lecci, Mirko Sansovini, Francesca Sarto, Vittorio Violante  
ENEA, Technical Unit for Nuclear Fusion

■ Leonardo Giorgi  
ENEA, Technical Unit for Materials Technologies

■ G.K. Hubler, D. Kidwell, D. Knies  
Naval Research Laboratory, Washington DC 20375 USA

■ M. McKubre  
SRI International, Menlo Park CA USA

The research Project, supported by the Italian Ministry of Foreign Affairs, is mainly oriented to the improvement of the electrochemical processes involved in the technological application of hydrogen as energy vector.

The research program is focused on developing suitable layers of palladium based materials to be used as coating for fuel cells electrodes. The coating will be characterized by a very high specific surface given by a proper roughness or by porous/nano-porous structures that will ensure an enhancement of the hydrogen kinetics.

The focus of the research is the study of the hydrogen absorption/adsorption mechanisms across the electrochemical interface.

The materials characterization will be performed by merging microscopy techniques and electrochemical spectroscopy to correlate the surface morphology and the electrochemical interface structure that may be translated in terms of kinetics properties.

The first period of the research activities has been mainly oriented to realize the experimental set-up and to the preliminary tests. Material samples have been realized by means of a proper metallurgical treatments and chemical process.

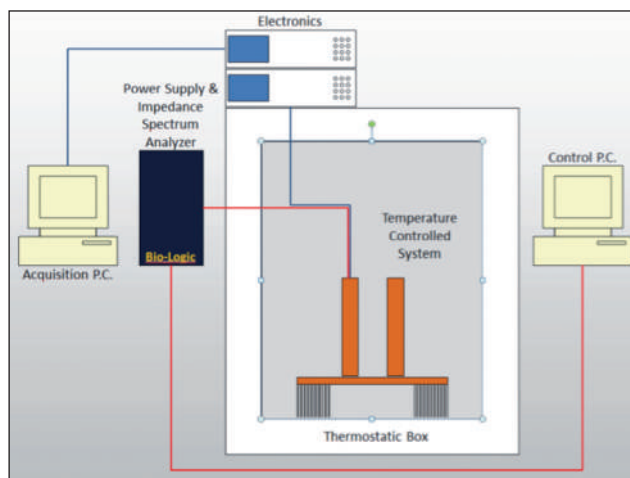
### The experimental set-up

The first task was to realize a thermostatic system able to guarantee the electrolyte set-point temperature for a given electrochemical current density. Such a working condition is fundamental to have reliable and reproducible electrochemical impedance spectroscopy (EIS) measurements.

Therefore some thermally insulated copper cylindrical vessel, housing the cell, has been realized in order to operate the electrochemical cells within the proper thermally controlled frame.

A well dimensioned heat sink has been applied on the bottom of the cylindrical vessel and the whole system has been located into a thermostatic box a  $T_{set-point} \pm 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figure 1).

A PID thermal control has been applied by using a PT100 temperature sensor reading the temperature of the thermostatic box and the temperature gradients inside the box are minimized by means of an air circulation system. The electrochemical characterization of the palladium



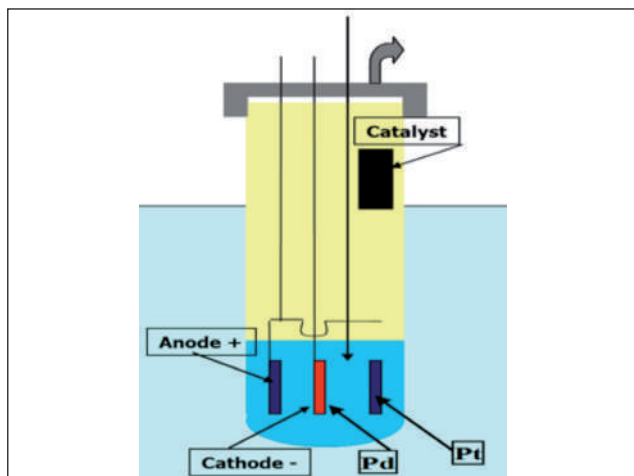
**FIGURE 1** Diagram of the experimental apparatus composed by the thermostating system, the power supply connected to a control computer equipped with software to carry out the impedance spectroscopy measurement (Bio Logic system) and the data acquisition system

based materials is performed by operating an electrochemical cell containing the sample that is cathodically polarized within an aqueous solution of lithium hydroxide. The electrochemical configuration is symmetric: the cathode (palladium foil) is located between two platinum anodes. The electrochemical cell consists of a pyrex vessel with a vacuum seal. The presence of a catalyst ensures the recombination of the gases produced during electrolysis, with consequent control of the level of cell pressure. A diagram of the electrochemical cell is shown in Figure 2.

The experimental apparatus is constituted by the thermostating system, by a power supply connected to a control computer equipped with software to perform the impedance spectroscopy measurement (Bio Logic system) and from the data acquisition system based on a Data Logger Agilent model 34970A.

The experimental data are the voltage and current of the cell, the electrolyte temperature, pressure of gases in the electrochemical cell, hydrogen concentration in the electrode, the temperature in the thermostatic chamber and the coolant temperature.

The absorption of hydrogen in the electrode with cathodic polarization was performed by a measure of

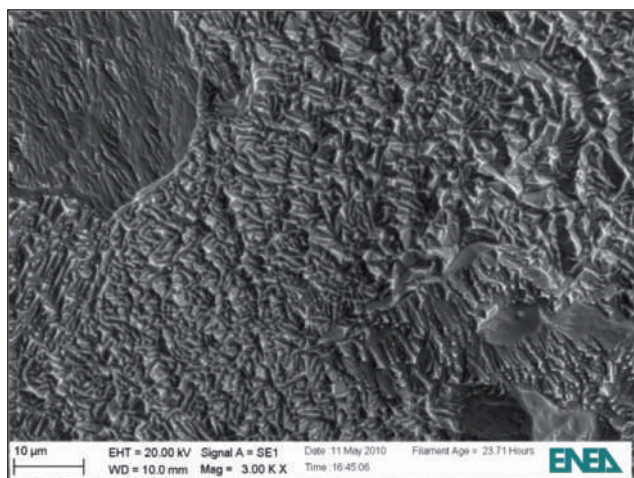


**FIGURE 2** Scheme of the electrochemical cell

variation of electrical resistance carried out with an Agilent LCR model4263B.

The software interface between the computer acquisition and instrumentation acquisition is realized by LabView software (version 2011). The communication between the computer acquisition and the instrumentation is achieved by means of GPIB interface.

Bio-Logic power supply control is obtained by a dedicated computer on which is installed the software EC-Lab Bio Logic. This software not only manages the



**FIGURE 3** EM picture of a test sample

power supply also allows the characterization by electrochemical interphase EIS. The impedance spectroscopy is a tool able to identify, through the definition of the equivalent circuit, the morphological characteristics of the electrode, such as the porous structure.

### Samples preparation

In the first period of activity, some electrodes were prepared rolling commercial palladium and putting it first through thermal treatment (annealing with controlled temperature slope to 850 °C for one hour) and then through chemical etching in Aqua Regia (HCl/HNO<sub>3</sub> = 3/1). The finished samples dimensions are 10 mm x 40 mm x 50 micron. The chemical etching was performed for the purpose of increase the specific surface of the palladium electrode.

Analyses through electronic microscopy (SEM, EDX, EBSD) allowed to identify the polycrystalline state and the surface features of some samples.

Figure 3 shows a SEM picture of a palladium electrode that underwent both thermal treatment and chemical etching as described before. The analysis highlights the effect of the chemical etching on the surface, that appears to be dendritic with micrometric and sub-nanometric dendrites dimensions.

Figure 4 shows the results of the EBSD analysis performed on a test sample, in which the preferential orientation (100) of the surface crystals is clearly visible.

### Electrochemical Impedance Spectroscopy Measurements

The Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) is an analytical technique that allows to study the electrode/electrolyte interface and the chemical and physical processes occurring at that interface (charge transfer, mass transport, intercalation, conductivity etc.). Then, it is a very suitable method to analyze the electrochemical behavior of an electrochemical cell.

A first set of tests have been performed on the produced samples to check the stability of the measurements, in order to verify the reliability of the experimental setup and identify the proper operating conditions and setting parameters of the system. The tests have been



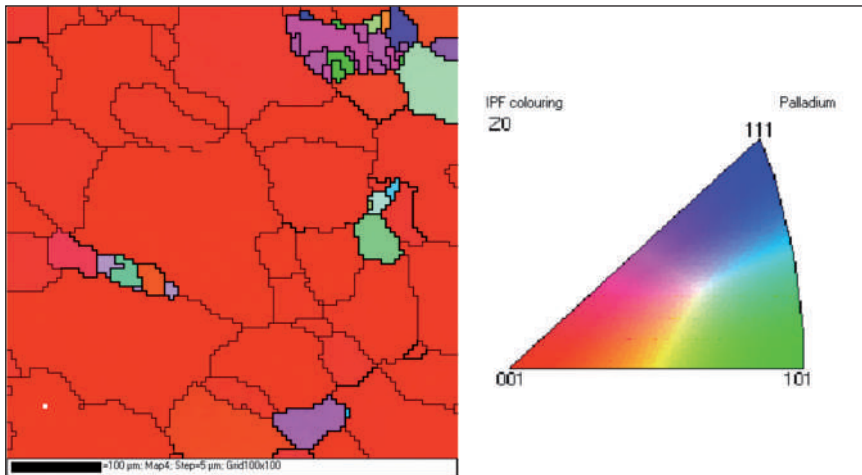


FIGURE 4 EBSD analysis of the sample

carried out on hydride samples, operating in galvanostatic mode, with a cathodic polarization current of 20 mA, at a constant temperature of 25 °C.

The images of Figure 5 and Figure 6 show the surface morphology by scanning electron microscopy (SEM) of samples L26 and L39, respectively. These samples have received a different chemical etching.

The EIS spectra have been acquired in the galvanostatic mode by using 20 mA polarization current and 1 mA probe current in the frequency range from 10 mHz to 400 kHz. The corresponding impedance spectra have been shown in Figure 7, in the Nyquist representation.

It can be observed that the two samples are characterized by different surface morphologies and, correspondingly, by different impedance spectra.

The effect of the surface morphology on the impedance spectra appears mainly through the different values of the pseudo-capacitance and the depression-angle.

The EIS experimental data have been best fitted by assuming the electrical circuit drawn in Figure 8 to simulate the electrode/electrolyte interface (Randles circuit). The best fitting parameters refers to the following circuitual elements: the in series ohmic resistance ( $R_s$ ), which represents the ohmic drop due to the electrolyte;

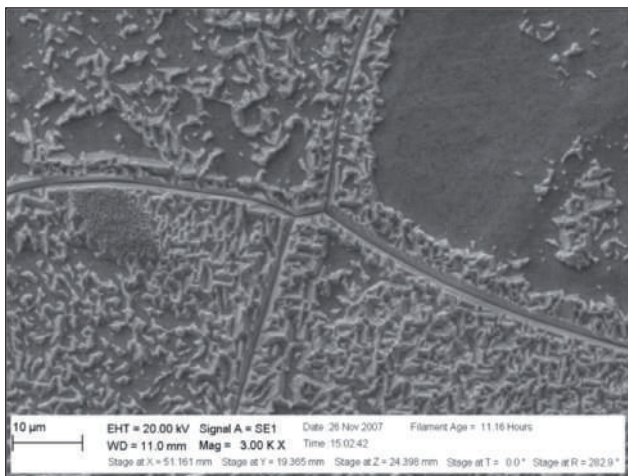


FIGURE 5 SEM image of the surface of sample L26

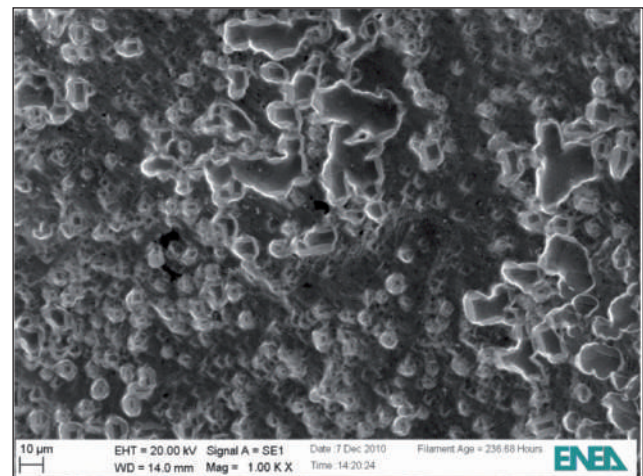
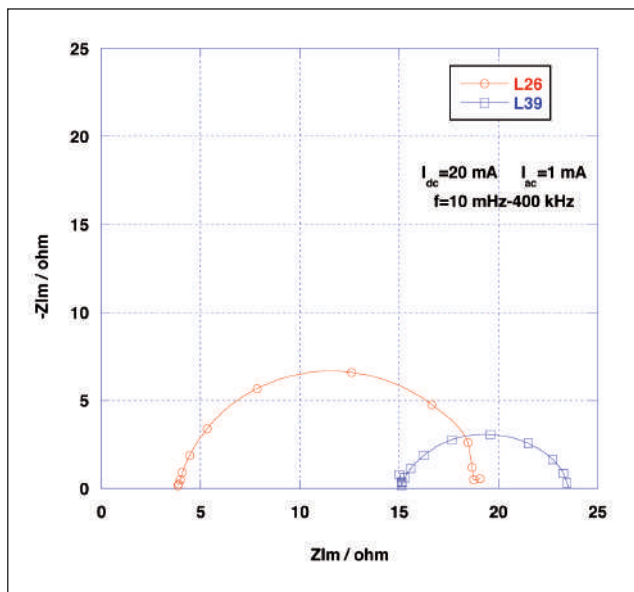


FIGURE 6 SEM image of the surface of sample L39

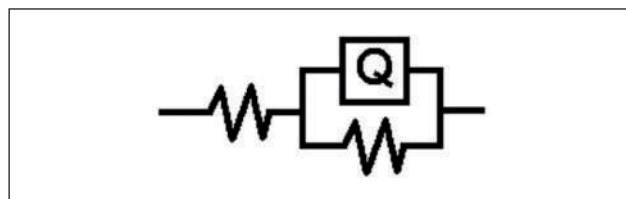


**FIGURE 7** Nyquist Impedance plots of samples L26 and L39

the polarization resistance ( $R_p$ ), which accounts for the charge and mass transfer; the constant phase element (Q), which represents the not-ideal capacitive behavior of the electrochemical double layer. The time constant of the electrodes can be deduced by the frequency at which the phase of the impedance shows a maximum. The constant phase element, which is characteristic of rough/porous electrodes, produces a depression of the impedance spectrum below the real impedance axis, defined by a depression angle that is dependent on the specific morphology of the electrode and is expressed in terms of its percent deviation from  $90^\circ$  ( $\alpha$ ). The other parameter associated to the Q element is

| Parameter   | L26                 | L39                 |
|-------------|---------------------|---------------------|
| $R_s$ /ohm  | 3.9                 | 15.1                |
| $R_p$ /ohm  | 15.3                | 8.6                 |
| $\alpha$    | 0.9                 | 0.8                 |
| $\tau$ /ms  | 36                  | 111                 |
| $C_{eq}$ /F | $0.7 \cdot 10^{-3}$ | $2.7 \cdot 10^{-3}$ |

**TABLE 1** Best fitting parameters of the experimental impedance spectra



**FIGURE 8** Modified Randles circuit applied to fit EIS data

the pseudo-capacitance, which can be also deduced from the impedance spectrum.

All the best fitting parameters have been reported in Table 1.

The values of the best fitting parameters are indicative of the different electrochemical behavior of the two electrodes.

Sample L26 shows a lower ohmic resistance ( $R_s$ ), a higher polarization resistance ( $R_p$ ) and a lower time constant ( $\tau$ ) than sample L39. This result suggests that the electronic charge transfer is faster in electrode L26 than in L39, while the electrochemical and diffusion processes are slowed down.

Furthermore, the parameter  $\alpha$  of the Q element is closer to 1 in the case of sample L26 than for sample L39, indicating lower roughness/porosity, to which corresponds lower specific surface. Such a behavior is in agreement with the surface morphologies showed by the SEM images, which report a much more porous surface for sample L39. The higher value of specific surface area of electrode L39 is confirmed by the higher value of the pseudo-capacitance of this electrode (2.7 mF respect to 0.7 mF).

This first results show that it is possible to connect the surface features of the electrodes to the electrochemical behavior, correlating surface morphology and electrochemical interface structure, by means of equivalent circuit representation.

**Acknowledgments**

The research activities on "Hydrogen transport through nano-structured electrodes for energy application" have been partially supported by the Italian Ministry of Foreign Affairs, Direzione Generale per la Promozione del Sistema Paese, within the frame of Significant Bilateral Projects (Joint Declaration following the 10th Review Conference on Scientific and Technological Cooperation between Italy and the United States of America for the years 2011-2013).



# Optical technologies, thin films and interfaces for organic photonics

In the last decades, organic compounds brought a technological revolution in the field of miniaturised light sources and photovoltaic devices. Organic electroluminescent devices have become increasingly important because of their potential applications for large area flat-panel displays and solid-state lighting. The tuneable emission and high fluorescence quantum efficiency make organic materials attractive also for the development of optical amplifiers, lasers and photo-detectors, as well as for photovoltaic devices and solar cells. All these novel organic devices are based on thin-film hetero-structures. In the last years, in the framework of the national research project TECVIM, we have focused on growth methods of organic and nano-structured thin films for organic photonics, spectral investigation of their light-emission properties and degradation mechanisms, laser imaging and patterning technologies, methods of electronic characterisation of interfaces, optical modelling of multilayers, which are critical for the overall improvement of multi-layered device performances

■ Rosa Maria Montereali, Francesca Bonfigli, Dorian Brogioli, Antonino Santoni, Maria Aurora Vincenti, Enrico Nichelatti

## Tecnologie ottiche, film sottili e interfacce per la fotonica organica

Negli ultimi 25 anni, i materiali organici hanno rivoluzionato la tecnologia delle sorgenti di luce miniaturizzate e dei dispositivi fotovoltaici. La rilevanza tecnologica dei dispositivi organici elettroluminescenti è fortemente cresciuta per le loro potenziali applicazioni negli schermi piatti a larga area e nell'illuminazione a stato solido. L'accordabilità dell'emissione luminosa e l'elevata efficienza quantica dei materiali organici li rendono particolarmente promettenti anche per lo sviluppo di amplificatori ottici e laser, fotorivelatori a stato solido, nonché dispositivi fotovoltaici e celle solari. Tutti questi dispositivi organici innovativi sono basati su etero-strutture a multistrato costituite da film sottili. Negli ultimi anni, nell'ambito del Progetto di Ricerca nazionale TECVIM, abbiamo studiato e sviluppato metodi di crescita di film organici e nano-strutturati per la fotonica organica, la caratterizzazione delle proprietà spettrali dell'emissione luminosa e dei suoi meccanismi di degradazione, le tecnologie di imaging e patterning mediante laser, la caratterizzazione elettronica delle interfacce, la modellistica ottica dei multistrati, che sono critici per il miglioramento delle prestazioni dei dispositivi organici

**I**n the last decades, organic compounds brought a technological revolution in the field of miniaturised light sources. In particular, since Tang and Van Slyke

in 1987<sup>[1]</sup> demonstrated efficient electroluminescence (EL) from an organic light-emitting diode (OLED) based on thin film technology, there has been large interest in these materials and devices for flat and flexible full-colour panel displays<sup>[2]</sup> and for low-consumption solid-state illumination.

Organic semiconductors are a broad class of materials that comprises small molecules and conjugated polymers. The relative easiness of handling, the chemical

■ Rosa Maria Montereali, Francesca Bonfigli, Dorian Brogioli, Antonino Santoni, Maria Aurora Vincenti  
ENEA, Technical Unit for Radiation Application Development  
■ Enrico Nichelatti  
ENEA, Technical Unit for Material Technologies

tuning of their emission properties, the low synthesis cost combined with their high fluorescence quantum efficiency, make organic materials attractive for the development of optical amplifiers<sup>[3]</sup>, lasers<sup>[4]</sup> and photo-detectors<sup>[5]</sup>. In recent years, there has been a great deal of interest in organic semiconductors also for photovoltaic (PV) devices, solar cells<sup>[6]</sup>, and field-effect transistors. All these novel organic devices<sup>[1-6]</sup> are based on thin-film hetero-structures. One of their main advantages is that they can be manufactured at low temperatures on flexible substrates by simple fabrication processes like coating, spraying and printing techniques. Moreover, by defining structures at sub-micron level into organic media, *i.e.*, on a spatial scale comparable with their emission wavelengths, the interaction between light and matter can be exploited to engineer novel effects in the emerging field of nano-photonics<sup>[7]</sup>.

In these last years, in the framework of the national research project TECVIM, we have focused on the development of thin-film growth techniques, spectral investigation of their light-emission properties and degradation mechanisms, laser patterning technologies, optical modelling, and electronic characterisation methods of interfaces, which are critical for the improvement of OLED performances. They can be extended to other kinds of functional photonic and electronic devices that are based on organic-dielectric-metallic thin film hetero-structures. An overview of the main results is here reported.

### Growth and optical characterisation of organic thin films and OLED

The most studied low-molecular-weight molecule is a metal-chelate, tris (8-hydroxy-quinoline) aluminium ( $\text{Alq}_3$ ), commonly vacuum deposited as the active layer in green OLEDs in the form of thin film of typical thickness less than 100 nm.

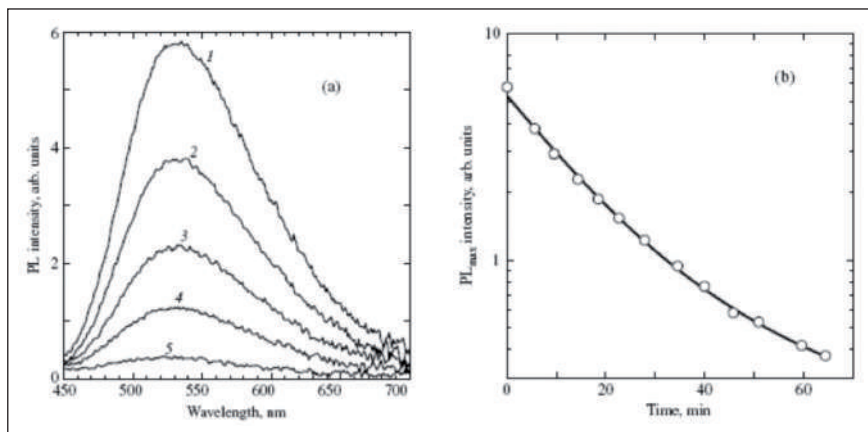
The basic device structure of an OLED consists of one or more organic layers sandwiched between a high-work-function and Transparent Conducting Oxide (TCO) anode, generally Indium Tin Oxide (ITO), and a low-work-function metallic cathode. A small electron injection barrier height at the organic/metal electrode interface is favoured to increase the OLED efficiency.

Al thin films are preferred as cathode due to their better environmental stability and their straightforward use as contact material in Si-based integrated circuits. Insertion of an ultra-thin lithium fluoride (LiF) layer – of typical thickness below 15 nm – between the organic film and the Al cathode was found to significantly reduce the threshold voltage in  $\text{Alq}_3$ -based<sup>[8]</sup> OLEDs. In 2001, for the first time in Italy, a double-layer  $\text{Alq}_3$ -based OLED with a LiF/Al cathode was realised and characterised by our group<sup>[9]</sup> at ENEA Frascati Research Centre. Currently the experimental activities about thermal evaporation of organic ( $\text{Alq}_3$ ), dielectric (LiF) and metallic (Al) thin films<sup>[10]</sup> are finalised to investigate their optical and morphological characteristics and improve growth reproducibility.

### *Photo-degradation of thermally evaporated $\text{Alq}_3$ thin films for organic photonics*

Many efforts have been devoted to increase the lifetime of organic encapsulated devices by studying the effects of several degradation processes, primarily associated with the degradation mechanisms of the electrode materials and electrode/organic interfaces<sup>[11]</sup>. The exposure of transporting molecular layers to ambient factors, like moisture, oxygen and light induces degradation phenomena and the quenching of their green photoluminescence (PL)<sup>[12]</sup>. Thermally evaporated  $\text{Alq}_3$  thin films were used to study the degradation behaviour under thermal treatments in different atmosphere<sup>[13]</sup> by means of optical absorption and photoluminescence linear spectroscopy<sup>[14]</sup>.

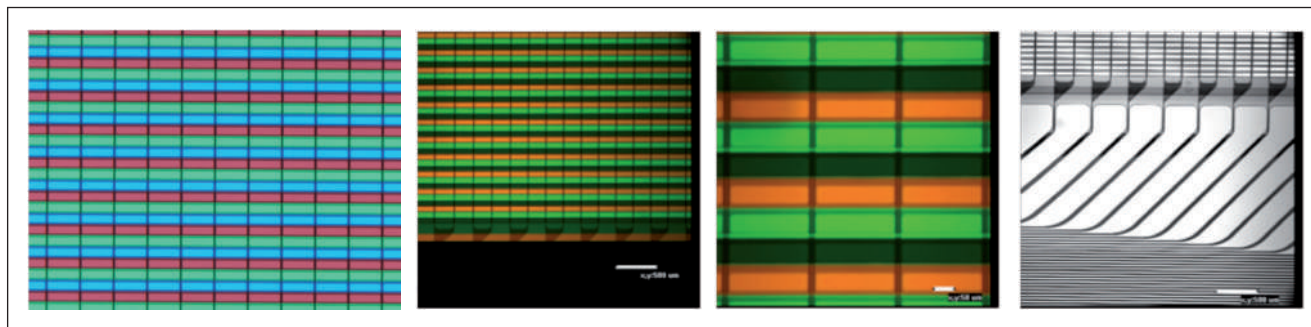
The photo-bleaching effects under selective ultraviolet (UV) and blue light illumination on the photoluminescence spectra of thermally evaporated  $\text{Alq}_3$  thin films were also investigated<sup>[15]</sup>.  $\text{Alq}_3$  thin films of different thicknesses, from 50 to 80 nm, were thermally evaporated onto amorphous glass and fused silica substrates. They were kept in the evaporation chamber under low vacuum pressure ( $10^{-3}$  mbar) in the dark for a few days and, after their first exposure to air and the measurement of their initial optical characteristics, the time evolution of their PL spectra was monitored under selective illumination with UV and blue LEDs. UV light illumination at 385 nm induced a strong and fast decrease in the  $\text{Alq}_3$  films PL intensity. In Figure 1a, seven



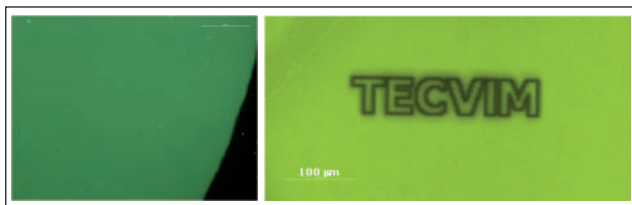
**FIGURE 1** a) PL spectra of an Alq<sub>3</sub> film (50 nm thick) thermally evaporated on a silica substrate, measured at different irradiation times under UV LED illumination: 1-0 min, 2-5 min, 3-15 min, 4-30 min, 5-60 min. b) PL peak intensity at different irradiation times under UV LED illumination. The best fit (solid line) of the experimental points with a double exponential decay curve is reported

ral PL spectra measured at different irradiation times under UV LED illumination were reported. In Figure 1b, the experimental values of the peak intensity of the PL spectra, measured every 5 min, were reported in a logarithmic scale as a function of the irradiation time. The observed behaviour can be described as the sum of two exponential decays, as confirmed by the best fit. We also deduced that the significant reduction in the PL intensity is accompanied by a slight modification of the spectral characteristics of the Alq<sub>3</sub> film broad emission (blue shift). The spectral position of film fluorescence is found to be correlated with both the molecular density of the packing and the length of interligand contacts between neighbouring Alq<sub>3</sub> molecules: the shorter the contacts, *i.e.*, the denser the film, the more the fluorescence is red-shifted.

To explore the role of the energy of the impinging light, similar experiments were performed under illumination of a blue diode, whose emission is peaked at 455 nm, in the spectral range where the optical absorption and emission spectra of Alq<sub>3</sub> films overlap. Again, a decrease in the Alq<sub>3</sub> PL intensity was observed [15]. The photo-bleaching process was less effective as the blue-light spectrum is outside the main absorption band of Alq<sub>3</sub>. Indeed, at the wavelengths of the blue LED that are longer than those of the UV one, spectrally centred around the peak of the Alq<sub>3</sub> main absorption feature, the excitation probability is reduced. The observed behaviour demonstrates that Alq<sub>3</sub> molecules in their excited state are involved in these complex degradation phenomena.



**FIGURE 2** Optical images of a commercial three-color OLED display, 128x128 dots: wide-field conventional fluorescence under UV excitation, a); confocal fluorescence under argon laser excitation at 457.9 nm with two different magnification levels, b,c); confocal in reflection mode under the same laser illumination, d)



**FIGURE 3** Fluorescence image, under blue excitation, of an  $\text{Alq}_3$  film, 50 nm thick, thermally evaporated on a glass substrate at low magnification, a); fluorescence image of a micrometric-sized bleached pattern, the word **TECVIM**, directly written by an argon laser with a confocal microscope, on an  $\text{Alq}_3$  thin film, observed under blue illumination at a higher magnification, b)

#### Confocal laser scanning microscopy of organic thin films and OLED

At the ENEA Frascati Research Centre, conventional optical and confocal laser microscopies<sup>[16]</sup> were used to check the quality of light-emitting organic thin films and commercially available OLED displays, as shown in Figure 2.

#### Laser writing of micro-patterns in broad-band light-emitting $\text{Alq}_3$ thin films

Photo-bleaching phenomena can also be exploited for direct laser patterning of  $\text{Alq}_3$  thin films with a confocal laser scanning microscope. The photo-bleaching of the green PL signal during light and laser exposures is very effective, depending on the selection of the illumination wavelength and the used power<sup>[15]</sup>. As an example, Figure 3 shows the fluorescence images of thermally evaporated  $\text{Alq}_3$  thin films. In Figure 3b, the intense green fluorescence, visible at naked eye, is

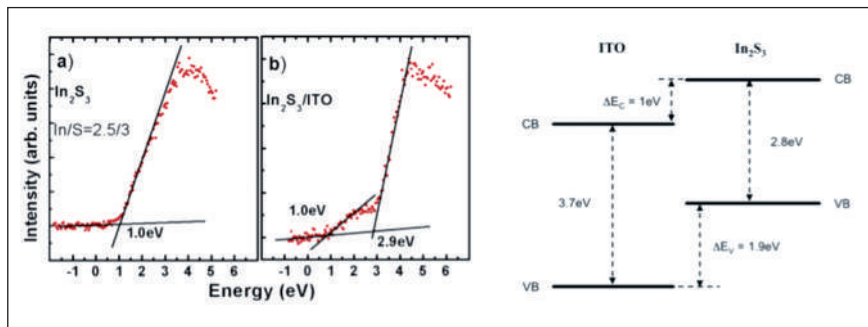
emitted by the organic film with the exception of a dark micrometric pattern that forms to the word **TECVIM**. It was directly written on the  $\text{Alq}_3$  film by an argon laser beam operating at 457.9 nm. The irradiation pattern was controlled by using the galvanometric mirrors of the confocal microscope.

#### Growth of nano-structured films and electron spectroscopy of interfaces in hybrid organic-semiconductor cathodes

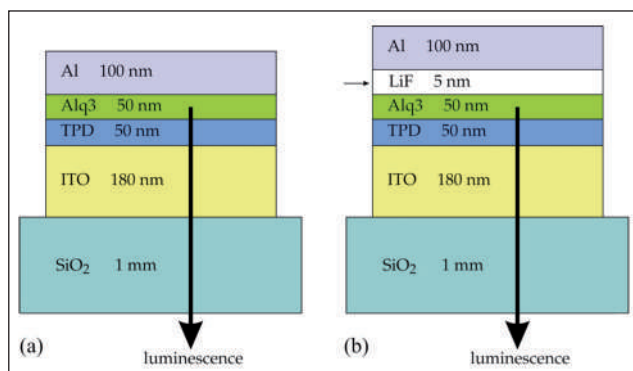
The understanding of the interface properties and the control of the interface formation are crucial for organic device tailoring. Being layered devices, OLED and thin-film solar cells performances are strongly affected by the interface properties as well, and the basic parameters characterising the interface are the band discontinuities at the hetero-junctions between the layers constituting the device stack.

#### X-Ray Photoelectron Spectroscopy of PV Device Cathodes

In their common configuration, polymer solar cells have a TCO electrode acting as the high-work function anode for hole collection and a low-work function metallic cathode acting as the electron collector. As a low-work function metal electron collector is air-unstable and highly reactive, an inverted scheme can be used which allows to use a TCO film as the cathode and a low-reactive, non-oxidizing high-work function metal anode<sup>[17]</sup>. The performance of these devices (both in common and in reverse configuration) can be improved by using a semiconductor as



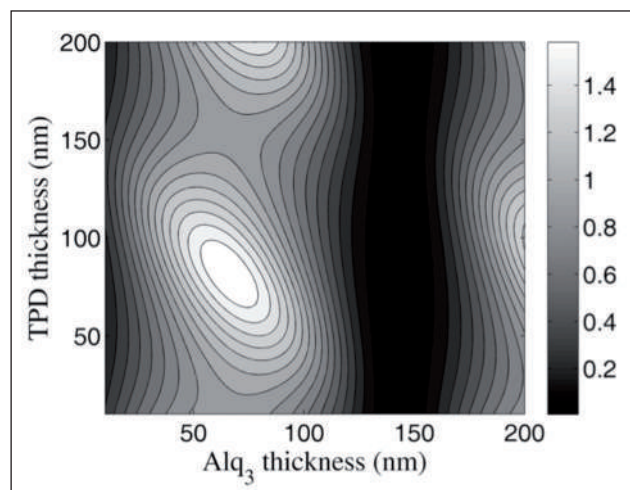
**FIGURE 4** XPS VB spectra of a  $\text{In}_2\text{S}_3$  layer (ratio  $\text{In}/\text{S}=2.5/3$ ). a), VB top measured on the  $\text{In}_2\text{S}_3$  layer; b), Simultaneous detection of the two VB band edges at the  $\text{In}_2\text{S}_3/\text{ITO}$  interface. c), Schematic of the estimated energy level diagram at the  $\text{In}_2\text{S}_3/\text{ITO}$  interface



**FIGURE 5** OLED based on an active Alq<sub>3</sub> layer. Designs containing an Al cathode, a) and a LiF/Al cathode, b)

the electron selective layer<sup>[18]</sup> which is introduced between the active layer and ITO. In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> has gained increasing interest in solar cell technology because it has been identified as a suitable alternative to CdS buffer layer in thin-film solar cells. Copper indium gallium (di)selenide (CIGS) cells with In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> buffer layers co-evaporated from In and S powder have shown efficiencies of up to 12.4%. In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> can be prepared with low-cost techniques such as Chemical Spray Pyrolysis (CSP)<sup>[19]</sup>. We have investigated the band discontinuities at the interface between ITO and an In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> layer deposited by CSP by means of X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS). The band discontinuity at the valence band has been evaluated by a direct method involving the measurement of the valence band at a suitable thickness that allows the simultaneous detection of the band edges of both layers<sup>[20]</sup>, and also by an indirect method requiring the acquisition of the binding energy of selected core levels<sup>[21]</sup>.

As an example, Figs. 4a,b show the valence band (VB) XPS spectra measured on an In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/ITO interface, which depend on the In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> layers composition. Figure 4a shows the XPS VB spectrum taken on the bare In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> layers and Figure 4b shows the XPS VB data measured on the In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/ITO interface region. The top of the valence band was measured by linear extrapolation of the XPS valence band leading edge. The accuracy of this method has been reported to be usually 0.1 eV or less if the density of states in the valence band re-



**FIGURE 6** Contour map of the theoretical power (a.u.) at  $\lambda = 530$  nm radiated by the OLED of Figure 5b along the normal direction for varying thicknesses of the TPD and Alq<sub>3</sub> layers

gion is known. Data show that on the In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> layer (Figure 4a) the VB onset occurs at 1.9 eV above the ITO VB onset (Figure 4b). VB data at the interface show the simultaneous presence of both In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>- and ITO-induced valence bands. By taking into account the uncertainties on the VB onset determination ( $\pm 0.1$  eV) the In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/ITO VB offset can be estimated to be  $(1.9 \pm 0.2)$  eV. The VB offset at the In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/ITO interface was also determined by means of the “indirect” method<sup>[21]</sup>. From our experimental XPS data<sup>[22]</sup> and accounting for the error propagation, the indirect VB offset,  $\Delta E_{v_i}$ , results to be  $(1.8 \pm 0.3)$  eV, in good agreement with the direct method result. By knowing the VB offset  $\Delta E_{v_i}$ , also the conduction band offset  $\Delta E_C$  between the conduction bands can be estimated if the gap energies (differences between the conduction, CB, and valence band, VB, energies) are known. By assuming an energy gap of  $(2.8 \pm 0.1)$  eV for In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> and  $(3.7 \pm 0.1)$  eV for ITO,  $\Delta E_C$  results in  $(1.0 \pm 0.4)$  eV. In Figure 4c, a sketch of the estimated band diagram is shown.

#### *Growth of nano-structured ultra-thin LiF films for OLED cathodes*

An analysis of the role and properties of the LiF ultra-thin layer is complicated by its very limited

thickness and its interactions with neighbouring materials<sup>[9,10]</sup>.

Ultra-thin polycrystalline LiF films of controlled nominal thickness below 20 nm were grown by thermal evaporation on several substrates under different conditions; their morphological features were investigated by means of atomic force and scanning electron microscopy and their electronic properties characterised by means of XPS spectra<sup>[23]</sup>. A comparison among ultra-thin LiF films of different thicknesses indicates that the geometric interaction between the arriving ad-molecules and the roughness of the growing surface is the dominant effect in their nanostructuring and the covering of the substrate increases with thickness<sup>[10]</sup>.

### Optical Modelling of an Alq<sub>3</sub>-based Organic Light-Emitting Diode

The internal quantum efficiency of OLED is mainly affected by the non-radiative electron-hole recombination loss<sup>[24]</sup> and singlet-triplet branching ratio. Most of electro-phosphorescent OLED materials have very small non-radiative loss. On the contrary, the external coupling efficiency of a conventional OLED device remains very low. For the purpose of applications such as illumination and flat-panel displays, light emitted from the substrate surface (external modes) in only 20% of the total emitted light from inside the OLED devices<sup>[25]</sup>.

Among the novel approaches implemented to improve the external efficiency<sup>[26]</sup>, designing suitable boundary conditions have been demonstrated to play a key role in the control of spontaneous emission. The theory of light emission from a single point source, such as an atomic (molecular) system, sandwiched between two plane parallel mirrors – either metallic or Bragg reflectors – is well assessed in both its quantum<sup>[27-30]</sup> and classical flavours<sup>[31-34]</sup>. In this context, the classical approach developed by Benisty and co-workers<sup>[34]</sup> relies on the superposition of linearly polarised fields that, after having been generated by suitable elementary dipole source-terms, interact with the surrounding environment. The radiated electromagnetic field and correspon-

dent power are evaluated in a straightforward way by means of analytical formulas<sup>[34]</sup>.

Recently, Benisty's theory has been expanded into a more general theory to deal with a collection of point sources so densely packed – with respect to the involved wavelengths – to be viewed as a continuous active volume<sup>[35-36]</sup>. Still maintaining its analyticity, this generalised theory includes even the cases of partial and total cooperation among the volume elements in the emission process<sup>[37]</sup>. The case of an Alq<sub>3</sub>-based multilayer OLED can be dealt with in this theoretical framework. For simplicity, distinct elements of the Alq<sub>3</sub> layer are assumed not to cooperate in the emission process, so that the power that is radiated by the device can be simply viewed as the integral of elementary contributions  $w(\mathbf{r})$  coming from single dipoles located at each point  $\mathbf{r}$  of the Alq<sub>3</sub> layer<sup>[35-36]</sup>. The integration is straightforward once the expression of  $w(\mathbf{r})$  is taken into account<sup>[35-36]</sup>. By using the resulting analytical formulas<sup>[36]</sup>, one can theoretically predict the angular and spectral distributions of the radiated power and its total amount; also, an estimation of how the device efficiency depends on various features of the multilayer is feasible.

Two Alq<sub>3</sub>-based OLED configurations, shown in Figure 5, are taken into account. In one of them, see Figure 5b, an ultrathin (5 nm) layer of LiF is placed in contact with the Al cathode to lower the threshold voltage of the device<sup>[38]</sup>. In the following, a 10-nm-thin radiating portion of the Alq<sub>3</sub> layer on the TPD side is assumed<sup>[36]</sup>. Our goal is to check how the LiF layer influences the device not only electrically, but also optically – despite its ultra-thin thickness. The answer is found through the generalised theory: such a thin layer of LiF is able to increase the electroluminescence emerging from the device at, e.g.,  $\lambda = 530$  nm by 11% (full solid-angle integration)<sup>[36]</sup>. One could also wonder whether the design thickness values of the considered OLED are optimal or if they could be suitably changed to improve the overall *optical* efficiency. Such a parametric study can be performed quite effortlessly thanks to the analytical formulas of the generalised theory. Figure 6 displays a contour map of the theoretical power



that emerges from the device of Figure 5b along the normal direction vs. the thicknesses of the Alq<sub>3</sub> and TPD layers. One can notice that the maximum of power corresponds to a thickness of ~70-80 nm for both the Alq<sub>3</sub> and TPD layers instead of the design's one (50 nm). For such thickness values, the device improves its optical efficiency by about 60-65%, at least along the normal direction<sup>[36]</sup>.

## Conclusions

Thin films of Alq<sub>3</sub>, commonly vacuum deposited as the active layer in green OLEDs, were grown by thermal evaporation under controlled conditions and their optical absorption and emission properties were used to study the degradation behaviour under ambient atmosphere and/or light exposure in order to increase their lifetimes.

Conventional optical and confocal laser microscopies were successfully used to check the quality of light-emitting organic thin films and commercially available three-color OLED displays. The photobleaching phenomena were also exploited for direct laser patterning of the investigated Alq<sub>3</sub> thin films at micrometric scale with a confocal laser scanning microscope.

Being layered electroluminescent devices, OLED and thin-film solar cells performances are strongly affected by the interface properties. X-ray photoelectron spectroscopy was used to investigate some

basic parameters that characterise the interface and the band energy discontinuities at the heterojunctions between the layers constituting the device stack. In electro-luminescent OLED, the insertion of an ultra-thin LiF layer between the organic film and the metallic Al cathode was found to significantly reduce the threshold voltage in Alq<sub>3</sub>-based OLEDs. Nano-structured polycrystalline LiF films, grown by thermal evaporation on different substrates, were investigated. In polymer solar cells, which feature a TCO electrode acting as the high-work function anode for hole collection, the efficiency can be improved by using a semiconductor, In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, as the electron selective layer which is introduced between the active layer and ITO. Their valence band diagram was evaluated.

Finally, an analytical model which describes the effect of optical confinement in a multilayer on light emission from a hybrid organic-dielectric-metal structure was enhanced and successfully applied to a conventional basic OLED device to explain the increase in the external coupling efficiency with the introduction of an ultra-thin LiF layer below the Al cathode.

The above-discussed technologies are suitable for the realisation and characterisation of functionalised optical and electronic thin-film devices of higher efficiencies and open interesting perspectives in the fast-growing field of organic photonics and its application to alternative energy and sustainable development. ●

### Acknowledgments

The authors are indebted to S. Almaviva, G. Baldacchini, L. Caneve, A. Mancini, M.R. Rajesh Menon, and A. Rufoloni for fruitful discussions. Useful suggestions given by R. Fantoni are also acknowledged. Many thanks are due to L. Cantarini, R. Giovagnoli, S. Libera for their skilful support. Research carried out within TECVIM (TECnologie per la Visualizzazione di Immagine) project, founded by MIUR, the Italian Ministry of Education, University and Scientific Research, and with the support of the ICTP Programme for Training and Research in Italian Laboratories, Trieste, Italy.

## references

- [1] C.W. Tang and S.A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes," Appl. Phys. Lett. 51 (12), 913 (1987).
- [2] J.R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, W. Leonard, J. Miller, R. Moon, D. Roitman and A. Stocking, "Organic Electroluminescent Devices", Science 273, 884 (1996).
- [3] V.G. Kozlov, V. Bulovic, P.E. Burrows, and S.R. Forrest, "Laser action in organic semiconductor waveguide and double-heterostructure devices," Nature 389, 362 (1997).
- [4] I.D.W. Samuel and G.A. Turnbull, "Organic semiconductors lasers," Chem. Rev. 107, 1272 (2007).
- [5] C.H. Lally, G.J. Davies, W.G. Jones, N.J.T. Smith, "UV quantum efficiencies of organic fluors", Nucl. Instr. and Meth. B 117, 421 (1996).
- [6] S. Günes, N.S. Sariciftci, "Hybrid solar cells", Inorganica Chimica Acta 361, 581 (2008)
- [7] F. Antolini, A. Ghezalbash, C. Esposito, E. Trave, L. Tapfer, B.A. Korgel, "Laser-induced nanocomposite formation for printed nanoelectronics," Mat. Lett. 60, 1095 (2006).
- [8] L.S. Hung, C.W. Tang, and M.G. Mason, Appl. Phys. Lett. 77, 3096 (2000).
- [9] R.M. Montereali, S. Gambino, S. Loreti, S. Gagliardi, A. Pace, G. Baldacchini, F. Michelotti, "Morphological, electrical and optical properties of organic light-emitting diodes with a LiF/Al cathode and an Al-hydroxyquinoline/diamine junction," Synthetic Metals 143, 171 (2004).
- [10] M.A. Vincenti, F. Bonfigli, R.M. Montereali, A. Rufoloni, F. Basoli, E. Di Bartolomeo, S. Licoccia, E. Nichelatti, "Crescita e caratterizzazione di film sottili per diodi organici emettitori di luce," ENEA Technical Report RT/2011/19/ENEA, ISSN/0393-3016 (2011).
- [11] H. Aziz, Z.D. Popovic, N.X.Hu, A.M. Hor, G. Xu, "Degradation mechanism of small molecule-based organic light-emitting devices," Science 283, 1900 (1999).
- [12] P. Chiacchieretta, G. Baldacchini, T. Baldacchini, F. Bonfigli, R.B. Pode, R.M. Montereali, M.A. Vincenti, Proc. Convegno congiunto DGaO/SIOF, Facoltà di Ingegneria Università degli Studi di Brescia, Brescia 2-5 giugno 2009, <http://www.dgao-proceedings.de>, ISSN: 1614-8436.
- [13] G. Baldacchini, S. Gagliardi, S. Gambino, S. Loreti, R.M. Montereali, A. Pace, *Diodi Organici Luminescenti*, Energia, Ambiente e Innovazione 4, 83 (2003).
- [14] G. Baldacchini, S. Gagliardi, R.M. Montereali, A.Pace and R.B. Pode, "Optical spectroscopy of tris(8-hydroxyquinoline)aluminium thin films," Phyl. Mag. B 82(6), 669 (2002).
- [15] F. Bonfigli, D. Brogioli, M.A. Vincenti, and R.M. Montereali, "Optical investigation of photo-bleaching effects in organic Alq3 thin films," J. Opt. Tech. 78(7),419 (2011).
- [16] F. Bonfigli, M.A. Vincenti, R.M. Montereali, L. Caneve, S. Almaviva, "Caratterizzazione di film sottili di Alq3 e LiF mediante misure LIBS e microscopia ottica," ENEA Technical Report RT/2011/20/ENEA, ISSN/0393-3016 (2011).
- [17] M.S. White, D.C. Olson, S.E. Shaheen, N. Kopidakis, D.S. Ginley, "Inverted bulk-heterojunction organic photovoltaic device using a solution-derived ZnO underlayer", Appl. Phys. Lett. 89, 143517 (2006).
- [18] M. Lira-Cantu, F.C. Krebs, "Hybrid solar cells based on MEH-PPV and thin film semiconductor oxides (TiO2, Nb2O5, ZnO, CeO2 and CeO2-TiO2): performance improvement during long-time irradiation", Sol. Energy Mater. Sol. Cells 90, 2076 (1985).
- [19] Teny Theresa John, S. Bini, Y. Kashiwaba, T. Abe, Y. Yasuhiro, C. Sudha Kartha, K.P. Vijayakumar, "Characterization of spray pyrolysed indium sulfide thin films", Semicond. Sci. Technol. 18, 491 (2003).
- [20] A.D. Katnani, G. Margaritondo, "Microscopic study of semiconductor heterojunctions: photoemission measurements of the valence-band discontinuity and of the potential barriers", Phys. Rev. B28, 1944 (1983).
- [21] J.R. Waldrop, R.W. Grant, S.P. Kowalczyk, E.A. Kraut, "Measurement of semiconductor heterojunction band discontinuities by x-ray photoemission spectroscopy", J. Vac. Sci. Technol. A3, 835 (1985).
- [22] M.R. Rajesh Menon, A. Mancini, C. Sudha Kartha, K. P. Vijayakumar, A. Santoni, "Band offset of the In2S3/Indium Tin Oxide interface measured by X-ray photoelectron spectroscopy", in press on Thin Solid Films, DOI:10.1016/j.tsf.2012.05.012.
- [23] R.M. Montereali, F. Bonfigli, J. Lancok, A. Mancini, V. Mussi, A. Pace, A. Santoni, M.A. Vincenti, Proc. 14th International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence & 2008 International Conference on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting, Bagni di Tivoli, Rome, Italy, 9-12 September 2008, eds. G. Baldacchini, R.M. Montereali, M.A. Vincenti (2008) ISBN 88-8286-194-5, p.291.
- [24] R. Miscioscia, P. Vacca, G. Nenna, T. Fasolino, V. la Ferrara, P. Tassini, C. Minarini, D. della Sala, "Electrooptical analysis of effects induced by floating metallic interlayers in organic LEDs," IEEE Trans. Electr. Devices 56(9), 1912 (2009).
- [25] K. Saxena, V.K. Jain, D.S. Mehta, "A review on the light extraction techniques in organic electroluminescent devices," Opt. Materials 32, 221 (2009).
- [26] P. Perlo, P.M. Repetto, S. Sinesi, V. Lambertini, D. Pullini, G. Innocenti, "Diffraction and micro-optics at CRF: developed applications for the transport industry", Proceedings of the AMAA Conference, 2000.
- [27] P.W. Milonni and P.L. Knight, "Spontaneous emission between mirrors," Opt. Commun. 9, 119 (1973).
- [28] F. De Martini, M. Marrocco, P. Mataloni, L. Crescentini, and R. Loudon, "Spontaneous emission in the optical microscopic cavity," Phys. Rev. A. 43, 2480 (1991).
- [29] G. Björk, S. Machida, Y. Yamamoto, and K. Igeta, "Modification of spontaneous emission rate in planar dielectric microcavity structures," Phys. Rev. A. 44, 669 (1991).
- [30] P. Meystre and M.I. Sargent, Elements of Quantum Optics, 4th ed. (Springer, Berlin, 2007).
- [31] H. Kuhn, "Classical aspects of energy transfer in molecular systems," J. Chem. Phys. 53, 101 (1970).
- [32] H. Rigneault and S. Monneret, "Modal analysis of spontaneous emission in a planar microcavity," Phys. Rev. A. 54, 2356 (1996).
- [33] S. Ciancaleoni, P. Mataloni, O. Jedrkiewicz, and F. De Martini, "Angular distribution of the spontaneous emission in a planar dielectric dye microcavity," J. Opt. Soc. Am. B. 14, 1556 (1997).
- [34] H. Benisty, R. Stanley, and M. Mayer, "Method of source terms for dipole emission modification in modes of arbitrary planar structures," J. Opt. Soc. Am. A. 15, 1192 (1998).
- [35] E. Nichelatti, "Cooperative spontaneous emission from volume sources in layered media," ENEA Tech. Rep. RT/2009/4/FIM (2009).
- [36] E. Nichelatti, F. Bonfigli, M.A. Vincenti, and R.M. Montereali, "Optical modelling of an Alq3-based organic light-emitting diode," J. Opt. Tech. 78(7), 424 (2011).
- [37] E. Nichelatti, M. Marrocco, and R. M. Montereali, "Cooperative optical effects in volumes embedded in layered media," J. Raman Spectrosc. 41, 859 (2010).
- [38] T.M. Brown, R.H. Friend, I.S. Millard, D.J. Lacey, J.H. Burroughes, and F. Cacialli, "LiF/Al cathodes and the effect of LiF thickness on the device characteristics and built-in potential of polymer light-emitting diodes," Appl. Phys. Lett. 77, 3096 (2000).



# Ternary metal hydrides. Development of a microporous-matrix composite material and its use as fixed bed in a solid state hydrogen storage tank

To address the issues of poor thermal conductivity and fragmentation of metal hydride particles undergoing hydriding/dehydriding reactions, a metal hydride-based composite material was developed. The active metal phase was embedded in a silica matrix and graphite filler was incorporated by ball milling technique and characterized by a number of techniques. The resulting porous composite was able to undergo hydriding/dehydriding cycling with enhanced mechanical stability and thermal conductivity properties. The composite development process was scale-up and the material was utilised as H<sub>2</sub> loading fixed bed into a solid-state storage tank. The performances of the hydrogen storage system were studied by using the homemade “PCTH2” Sievert’s apparatus developed by ENEA. The experimental results demonstrated that the developed system is able to reversibly store hydrogen with a fast loading kinetics. When coupled with a small fuel cell, the energy stored can be used for small-sized niche applications such as Uninterruptible Power Supply (UPS) for personal systems or emergency lighting in un-urbanized places

■ Marzia Pentimalli, Enrico Imperi, Andrea Salvo, Alfredo Picano, Franco Padella

## Idruri metallici ternari. Sviluppo di un materiale composito a matrice microporosa e suo utilizzo come letto fisso di un serbatoio per accumulo di idrogeno allo stato solido

L'utilizzo degli idruri metallici per l'accumulo di idrogeno è ostacolato da alcune problematiche tecnologiche come la frammentazione delle particelle metalliche durante i cicli di carica/scarica di idrogeno e la scarsa conducibilità termica degli idruri. In questo lavoro è stato sviluppato per via meccano-chimica un materiale composito metallo-silice-grafite.

Il composito poroso risultante è in grado di subire cicli di idrogenazione/deidrogenazione con proprietà migliorate in termini di stabilità meccanica e conducibilità termica. Il processo di sviluppo del materiale è stato scalato ed il composito è stato utilizzato come letto fisso di un serbatoio per accumulo di idrogeno allo stato solido. Le prestazioni del sistema sono state studiate mediante l'apparato “PCTH2” basato sul metodo di Sievert e sviluppato da ENEA. I risultati sperimentali indicano che il sistema è in grado di accumulare idrogeno con cinetica di caricamento veloce. Accoppiando il sistema ad una cella a combustibile sono ipotizzabili alcune applicazioni pratiche di nicchia come gruppi di continuità di piccole dimensioni per uso personale o sistemi di illuminazione di emergenza in ambienti non urbanizzati

■ Marzia Pentimalli, Franco Padella  
ENEA, Technical Unit for Material Technologies,  
Materials Chemistry and Technology Lab

■ Enrico Imperi, Andrea Salvo, Alfredo Picano  
Labor Srl, Rome, Italy

**M**etal hydride (MH) alloys possess the capacity of safely storing high volumes of hydrogen in the solid state. In particular, the class of MH alloys denoted as AB<sub>5</sub> (LaNi<sub>5</sub> being the representative intermetallic compound), exhibits an excellent volumetric storage capacity, that makes the material particularly suitable for stationary applications. However, the use of AB<sub>5</sub> alloy for hydrogen storage (*i.e.*, as a fixed bed in a solid state tank) requires proper management of some technological issues. Among these, the mechanical instability of metal particles grains under hydriding/dehydriding reactions produces a very fine powder<sup>[1]</sup> that can seriously affect the performance of the whole device. The main detrimental effects due to deprecipitating particles consist in impediment to hydrogen diffusion, alloy loss by entrapment of tiny particles in device accessories, increase in alloy deterioration by the feed gas impurities and rapid plugging of dust filters. As a consequence, a serious deterioration of the nominal overall storage capacity of the tank will result. Encapsulation of the alloy particles within various media (copper, phenolic resins and polymers) has been proposed<sup>[2-5]</sup>. In our recent work<sup>[6]</sup> we reported on an advantageous encapsulation method consisting in a particulate composite material where a hydrogen permeable matrix fixes metal particles in stable position. The method can also be beneficially applied to solve another crucial technological issue, regarding the management of the heat involved in the H<sub>2</sub> absorption and desorption processes<sup>[7]</sup>. Typically, the thermal conductivity of metal hydrides is on the order of 0.1 W/(mK), and various techniques have been proposed to improve it such as insertion of aluminium foam, integration of copper wire nets, compaction of porous metallic matrix, microencapsulated metal hydride compacts and expanded natural graphite/metal hydride compacts. Taking advantage from the composite nature of the developed material, a proper dispersion of a conductive material into the silica matrix can easily enhance the material conductivity.

In this paper the development of an AB<sub>5</sub>-silica composite material with enhanced thermal conductivity is reported. After chemical-physical characterizations the composite was utilised as H<sub>2</sub> loading material into a

solid-state storage tank. The description of the device and the hydrogen storage performances of the system as studied by Sievert's method are also reported.

## Materials and methods

### *Composite material preparation*

The preparation of the AB<sub>5</sub>-silica composite material was carried on as reported in details elsewhere<sup>[6, 7]</sup>. Briefly summarizing, the following actions were carried on: i) mechanical pulverization of the AB<sub>5</sub> hydriding alloy; ii) preparation of the silica-AB<sub>5</sub> blends and graphite addition by intimately mixing the powders by a second milling treatment and iii) blend consolidation by cold uniaxial compression and successive thermal treatment.

All the mechanical treatments were conducted by means of a high energetic mill, SPEX 8000M miller, during the material development stage, and by the Simoloyer CM08 pilot plant for the successive composite scale-up process, see figure 1.

The selected active metal was an AB<sub>5</sub> alloy, derived from the intermetallic compound LaNi<sub>5</sub>, specifically the Hy-Stor 208 by Ergenics. The LaNi<sub>5</sub> fresh samples were mechanically treated to downsize the metal particles into powder, 10÷100 µm particles diameter.

The pyrogenic silica T30 (henceforth referred as SiO<sub>2</sub>), supplied by the Wacker Chemie AG, was used as embedding matrix.

The metal-silica (henceforth also referred as LaNi<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>) blend was obtained by mixing previously treated metal powder and pyrogenic silica in 40:60 volume ratios, corresponding to 70:30 weight ratios.

Enhancing of composite thermal conductivity was obtained by graphite (henceforth also referred as C) addition and blending in the milling apparatus. The effect of graphite insertion was tested on a set of LaNi<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>/C samples at different v/v/v volume ratios namely: A) 40/20/40; B) 40/30/30; C) 40/35/25; D) 40/40/20; E) 40/45/15; F) 40/50/10.

Pellets by milled powder mixtures were obtained in different-sized cylindrical shape (10, 20 mm diameter). The powder samples were inserted in a die-set equipped with a vacuum outlet. The powder was consolidated through a step-by-step increasing in the applied pressure up to about 2.5 tons/cm<sup>2</sup>. All the pellet



**FIGURE 1** Spex 8000M mixer mill (left) and Simoloyer CM08 pilot plant (right)

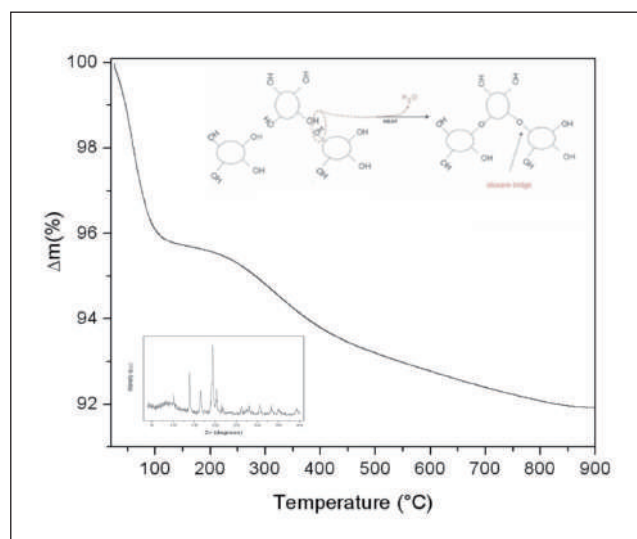
samples were thermally treated at 300 °C for 2 hours in argon atmosphere to obtain consolidated samples.

### Characterization methods

#### Composite material

##### chemical-physical characterization

Chemical-physical characterization was performed by different techniques. In particular, the reticulation



**FIGURE 2** Thermo gravimetric analysis performed on pyrogenic silica in Argon atmosphere (25-900 °C, rate 5 °C/min). Insets: a simplified representation of inter-particles condensation through siloxane bridge formation (top); XRD analysis of the AB5-silica composite consolidated at 300 °C (bottom)

process was followed by Thermo Gravimetric Analyses (TGA); phase purity check and micro structural analyses were performed by X-Ray Diffraction (XRD); a commercial thermal analyzer, based on the modified transient plane source technique, was used to perform thermal conductivity measurements; morphological characterization was carried on by Scanning Electron Microscopy (SEM).

#### Hydrogen storage performance measurement

Pressure-Composition-Temperature (PCT) isotherms were measured by the homemade fully automated Sievert's apparatus PCTH2 system, developed by ENEA in collaboration with Labor srl. Instrument's main features are: temperature range 0-100 °C; pressure range 0-100 bar; low-pressure (0-3 bar) and high-pressure transducers (3-100 bar), accuracy 1%; built-in and calibrated (100 cm<sup>3</sup>) reservoir volume.

The consolidated composite material within the tank was degassed through a membrane vacuum pump (down to 10<sup>-2</sup> bar) and activated (under static pressure p(H<sub>2</sub>)=30 bar, at 90 °C, for 2 days). PCT isotherms cycle-life absorption/desorption curves were recorded after the activation. The absorption/desorption measurements were performed by charging/discharging the manifold with subsequent aliquots of H<sub>2</sub> (fixed ΔP method) until the thermodynamic equilibrium content was reached. The absorption kinetics of the tank was obtained by charging the device through gas doses addition. The calibration of the empty volume in the sample holder (empty volume in the reactor and in the connecting lines up to the manifold) was performed in the same measurement condition before each analysis.

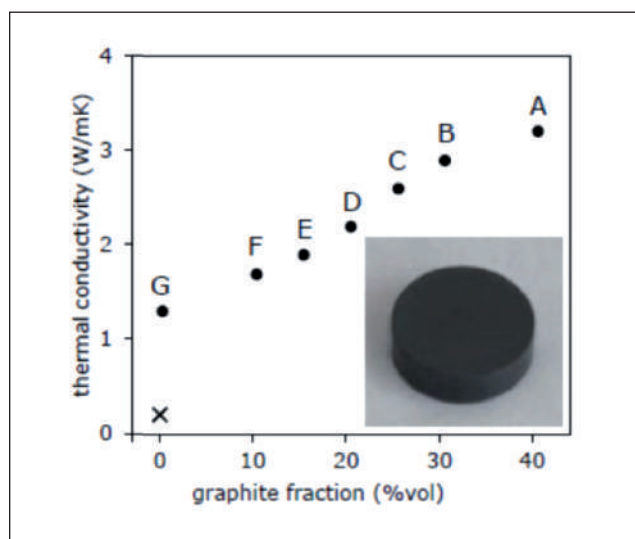
## Results and discussion

### Material development and characterization

TGA analysis reported in Figure 2 permitted to follow the thermal behaviour of the silica powder. The first mass loss immediately starts with the heating process. It can be assigned to surface bonded water desorption. Starting from about 150 °C, a second water loss process appears with a maximum rate around 300 °C. This process is due to interparticular siloxane bridge formation. Pyrogenic silica nanoparticles are arranged

in aggregates sized 200–500 nm [8]. The starting of water loss is due to the formation of new siloxane bridges between nanoparticles, as sketched in the inset (top) of Figure 2. The interparticles condensation through siloxane bridge formation continues within the range 500–800 °C with an almost constant rate.

The composite pellet samples set containing graphite powder was studied in terms of their thermal conductivity properties. The experimental results are reported in Figure 3 as a function of the graphite fraction. The set of composite samples A, B, C, D, E, F exhibited thermal conductivity values ranging from 3.2 W/mK for sample A (graphite, 40%) up to 1.7 W/mK for sample F (graphite, 10%). Thus, even small volumes of graphite filler added to the silica metal composite were able to produce significant enhancements in thermal conductivity of the samples and the trend was almost linear with the filler content. For comparison, data for a  $\text{LaNi}_5/\text{SiO}_2$  pellet at 40/60-volume ratio (G) were also reported. The measured value of 1.3 W/mK resulted significantly higher than the thermal conductivity of a literature  $\text{LaNi}_5$  powder samples (0.2 W/mK),



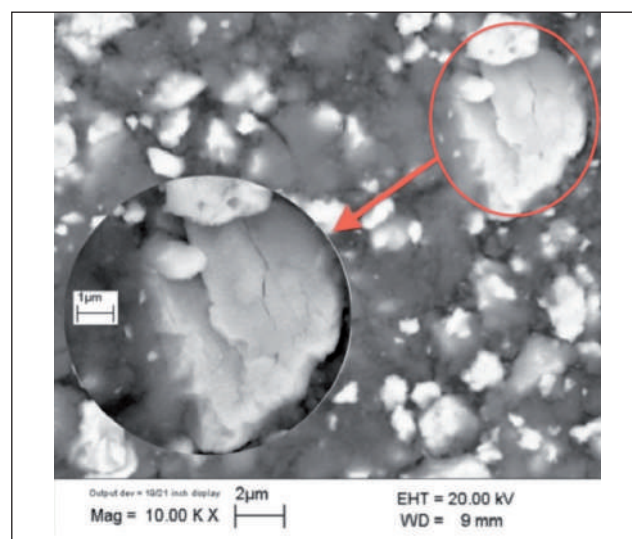
**FIGURE 3** Thermal conductivity as a function of the graphite fraction measured for  $\text{LaNi}_5/\text{SiO}_2/\text{C}$  pellet samples (inset) at different v/v/v volume ratios: A) 40/20/40; B) 40/30/30; C) 40/35/25; D) 40/40/20; E) 40/45/15; F) 40/50/10. As a reference, data for a  $\text{LaNi}_5/\text{SiO}_2$  pellet at 40/60-volume ratio (G) and for a literature  $\text{LaNi}_5$  powder samples (x) are also reported

indicating that by simply forcing the contact between metal particles, the uni-axial powder consolidation process is able to promote a thermal conductivity enhancement of the compact with respect to the starting powder. However, in order to enhance the material thermal conductivity to values compatible with practical application, the addition of third elements, such as graphite, is advantageous.

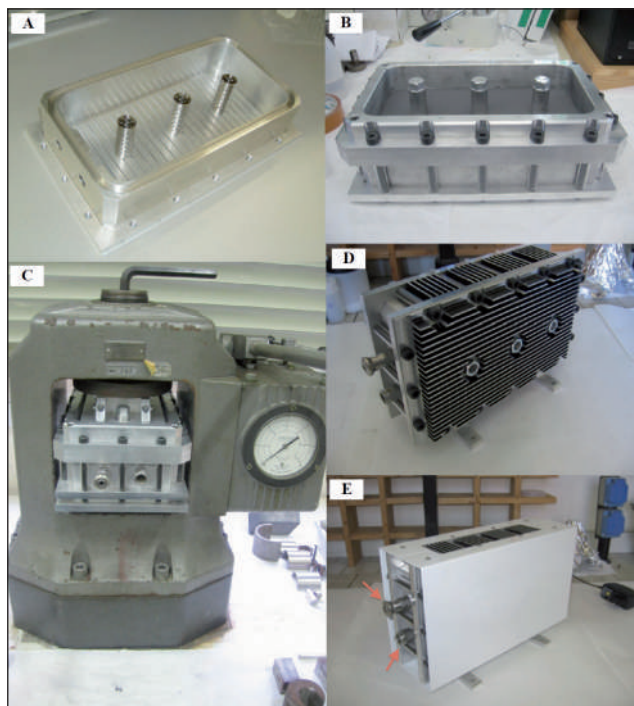
On the consolidated material, accelerated charge/discharge tests by High Pressure Differential Scanning Calorimetry (HP-DSC) were previously carried on to evaluate the matrix ability to retain the particles [7]. After testing, no evidence of free particles was found. Figure 4 shows the SEM image of a fractured metal particles embedded in the matrix after hydrogen cycling.

#### Solid-state hydrogen storage tank development and characterization

The tank was developed by ENEA in collaboration with Labor Srl. The whole process of designing and developing the final prototype is going to be published elsewhere. Here we limit to describe the main characte-

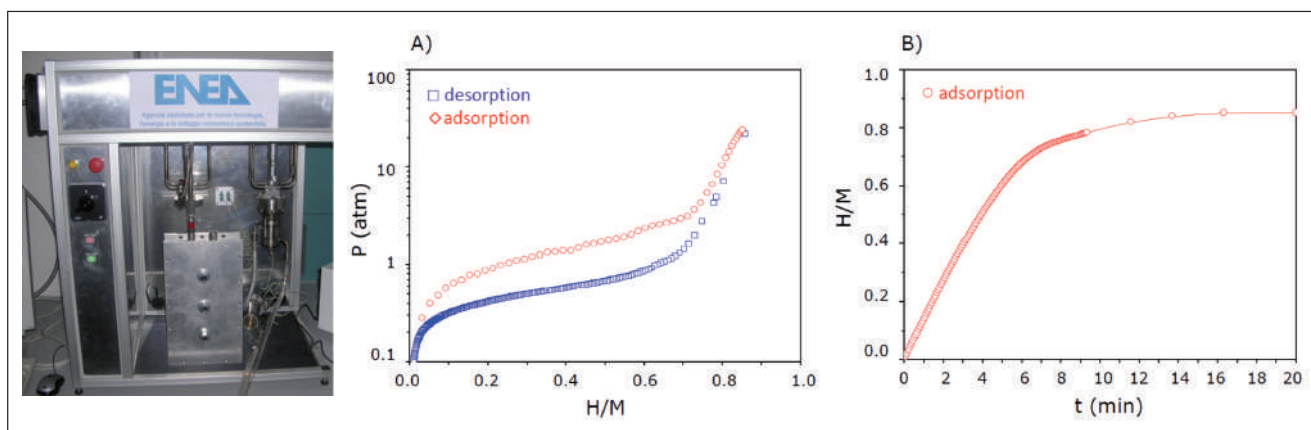


**FIGURE 4** SEM image of porous composite sample after absorption/desorption cycling test. The picture evidences the metal particles fragmentation due to the large volume mismatch associated with hydrogen loading/unloading processes



**FIGURE 5** A) The alloy aluminium case, a view of the internal design; B) the moulding case filled with the composite powder; C) the material consolidation step by pressing within the moulding system; D) the assembled tank, a view of the external heat exchange system design; E) the final tank configuration with the external carter, the arrows indicate the H<sub>2</sub> inlet quick coupling connector (top) and the security valve (bottom), respectively

ristics of the device, which was tested as tank for the metal hydride-based composite developed by ENEA. All the components were aluminium-made by using the alloy Al 6061-T6, with excellent characteristics such as high strength, good workability, and high resistance to corrosion. Unconventional parallelepiped geometry was chosen and a particular internal design was optimized to favour the hydrogen diffusion within the fixed bed, see Figure 5A. The three inner cylindrical elements possess double functionality both structural and for gas diffusion within the material bed. A separate twin case was properly designed with inner flat surfaces and used to mould the powder in the form of parallelepiped bed, see Figure 5B. The moulding case was filled with the composite powder material and closed by an end plate. The material was consolidated by pressing the system at 30 bar and by successive heat treatment under vacuum condition, see Figure 5C. After the consolidation phase, the composite material brick was carefully transferred within the case of Figure 5A, and the final tank assembled with a proper top plate (having the same design and structural characteristics of the bottom face). The external carter was equipped with a number of fins and two additional fan coolers for the thermal exchange by forced ventilation. On the short side a quick coupling connector for the H<sub>2</sub> inlet (figure 5D), and a security safe valve (set @31 bar) were mounted. The final system of Figure 5D



**FIGURE 6** Left: PCTH<sub>2</sub> homemade Sievert's apparatus, the experimental set-up. Right: tank characterization by Sievert's apparatus: A) absorption/desorption hydrogen cycle; B) hydrogen absorption kinetic

had nominal volume of 1730 cm<sup>3</sup>, external dimension of 180x330x110 mm and weight 4.4 kg, excluding the fixed bed.

The hydrogen storage tank assembled with the consolidated material was characterized by using the homemade PCTH2 Sievert's apparatus shown in Figure 6.

Preliminary calibration measurements were performed at 27 °C to measure the volumes of the empty tank, the flexible pipe and the connector, that resulted to be 1734 cm<sup>3</sup>, 20 cm<sup>3</sup> and 12 cm<sup>3</sup>, respectively. Following the degas and activation processes, the tank was characterized by performing around 10 hydrogen absorption/desorption cycles at p(H<sub>2</sub>)=10 bar, T=27 °C. The cycles were reproducible within the experimental error with any significant variation of the maximum hydrogen storage capacity. An exemplificative curve is reported in Figure 6A. The fixed bed has a maximum hydrogen storage capacity of 0.82 at 10 bar, corresponding to 1.16% weight (considering the active metal phase within the composite). This va-

lue can be traduced in 23.4 grams of hydrogen. An evaluation of the hydrogen absorption kinetics of the tank was also obtained as reported in Figure 6B. By operating at 30 bar the tank approaches the 95% of its maximum storage capacity (measured at 10 bar) in about 9 minutes.

## Conclusions

In this paper we presented the development of an innovative experimental device for solid-state hydrogen storage. The composite material design, processing and functional characterization derive from the latest years activities performed in the Materials Chemistry and Technology lab of ENEA.

The positive synergy with Labor srl brought us to ideating, designing and realizing the storage system in the described form. Applicative activities based on the above-presented technologies are being carried on towards new developments and project proposals as well.

## references

- [1] J. -M. Joubert, M. Laroche, R. Cerny, A. Percheron-Guégan, K. Yvon (2002) "Hydrogen cycling induced degradation in LaNi<sub>5</sub>-type materials", J. Alloy Compounds 330-332, 208-214.
- [2] H. Ishikawa, K. Oguro, A. Kato, H. Suzuki, E. Ishii (1985) "Preparation and properties of hydrogen storage alloy-copper microcapsules", J. Less Comm. Met. 107, 105-110.
- [3] F. Watanabe, C. Ikai, M. Hasatanti, C. Marumo (1992) "Hydration Characteristics of Metal Hydride Fixed in Resin Form", J. Chem. Eng. Jpn. 25, 1-5.
- [4] M. Pentimalli, F. Padella, A. La Barbera, L. Pilloni, E. Imperi (2009) "A metal hydride-polymer composite for hydrogen storage applications", Energy Conv. Manag. 50, 3140-3146.
- [5] M. Pentimalli, F. Padella, L. Pilloni, E. Imperi, P. Matricardi (2009) "AB<sub>5</sub>/ABS composite material for hydrogen storage", Int. J. Hydrogen Energy 34, 4592-4596.
- [6] M. Pentimalli, E. Imperi, M. Bellusci, C. Alvani, A. Santini, F. Padella (2012) "Silica-metal composite for hydrogen storage applications", Crystal, 2, 690-703.
- [7] M. Pentimalli, A. Frazzica, A. Freni, E. Imperi, F. Padella (2010) "Metal hydride-based composite material with improved thermal conductivity and dimensional stability properties", Adv. Sci. Tech. 72, 170-175.
- [8] F. Ehrburger (1998), *The Surface Properties of Silicas*, pp 83-137, A.P. Legrand ed., John Wiley & sons Ltd.





# Virtual Laboratory and Computer Aided Design for Free Electron Lasers outline and simulation

Free Electron Lasers (FEL) are becoming mature devices demanding for reliable design tools. In this paper we describe computer assisted design (CAD) programs, conceived to provide fast and accurate means, yielding an outline of the FEL device in its different configurations.

CAD software discussed in the paper is the results of the implementation of analytical and empirical formulae, benchmarked with different codes, modeling the FEL Physics, embedded in an engineering environment. Practical examples illustrating their potentialities are also presented

■ *Marcello Artioli, Giuseppe Dattoli, Pier Luigi Ottaviani, Simonetta Pagnutti*

## Laboratori Virtuali e strumenti CAD per la progettazione e simulazione di Laser a Elettroni Liberi (FEL)

La tecnologia dei Laser a Elettroni Liberi (FEL) sta diventando sempre più consolidata ed esige strumenti di progettazione affidabili. In questo articolo si descrivono programmi CAD, ideati per fornire mezzi veloci e accurati, delineando il dispositivo FEL nelle sue diverse configurazioni. Il software CAD qui descritto è il risultato dell'implementazione in ambito ingegneristico di formule analitiche ed empiriche, la cui validità è stata controllata tramite l'utilizzo di codici indipendentemente sviluppati per lo studio della Fisica dei FEL. Nel presente articolo sono anche illustrate le potenzialità del software proposto

**F**ree Electron Laser (FEL) devices provide electromagnetic radiation with the same coherence properties as those from conventional lasers, although the operating principles are substantively different. Instead of electrons, excited in bound atomic or molecular states, the active medium of FELs consists of a beam of free relativistic electrons moving in a magnetic field.

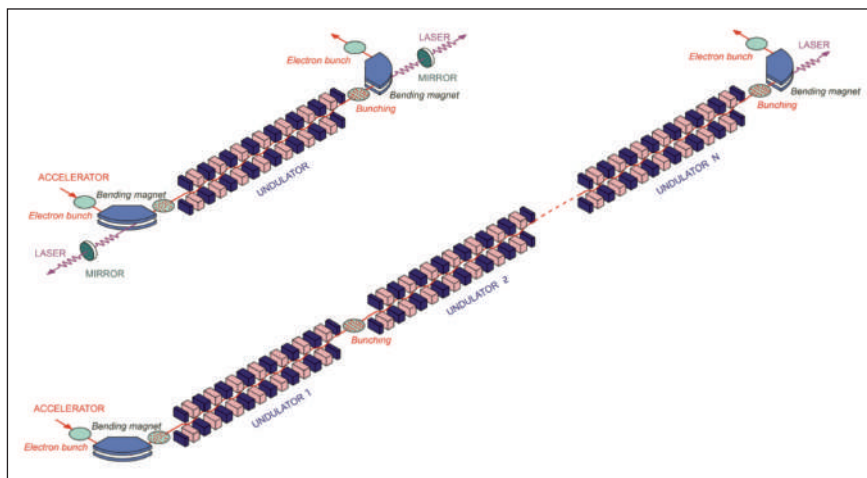
In Figure 1 we report two typical layouts of a FEL device, where we have sketched their essential components:

- 1) a beam of electrons provided by an accelerator (typically a Radio Frequency Linac);
- 2) the "undulator", namely an array of magnets with alternating poles, forcing the electrons of the beam to follow a sinusoidal path and therefore causing the deceleration of the electrons, with a consequent emission of synchrotron radiation;
- 3) an optical cavity, if the FEL operates in the oscillator configuration (Figure 1a); in this case the coherence develops after many passages in the optical cavity;
- 4) a series of undulator sections, if the device is designed for a Self-Amplified Spontaneous Emission

■ **Marcello Artioli, Giuseppe Dattoli**  
 ENEA, Technical Unit for Radiation Application Development, Frascati

■ **Pier Luigi Ottaviani**  
 INFN, National Institute of Nuclear Physics, Bologna

■ **Simonetta Pagnutti**  
 ENEA, Technical Unit for Reactor Safety and Fuel Cycle Methods, Bologna



**FIGURE 1** FEL layout:  
 a) oscillator configuration,  
 b) Self-Amplified Spontaneous Emission configuration

(SASE) operation (Figure 1b); in this configuration the coherence develops in one passage along the undulator chain.

The design of FEL devices has demanded for new engineering issues, capable of connecting a mosaic of different technologies (magnetic materials for undulators, high quality electron beams, new accelerators, etc.). Design methods have to be flexible enough to merge these different aspects: some have been developed in the past and have been accurately benchmarked. The planning of detailed simulation strategies is, therefore, not a secondary problem, and the various institutions interested in the construction of FELs have invested in the development of codes, conceived to satisfy two different requests (often in conflict), namely reliability and computational simplicity.

### Simulation and design issues

Simulation and design tools are the answers to different needs. The first is aimed at modeling the physical aspects of a new device including as much Physics as possible; it may become very heavy from the computational point of view, often it is not user-friendly and requires training to be properly used.

The design tool, or better, the CAD tool is a byproduct of numerical (simulation) and of analytical computation merged to provide the embedding, in a logical sequence, of a set of

engineering formulae, validated by a theoretical analysis and, possibly, by the benchmarking of more than one code. It must be conceived as a device capable of being:

- a) fast and reliable;
- b) self-explaining;
- c) easy to use.

The use of a CAD tool is in most cases an answer to simple needs: the user could have some equations modeling a physical or logical system and he may want to handle them for different purposes. Requested features are the possibility to easily change some parameters to see how they influence the results and the ability to save a particular configuration of parameters and related results, either for later use with the same simulation tool or for further manipulation by other software applications aimed at, e.g., reporting, graphical visualization, optimization, prototyping, etc.

The benefits of utilizing simulations, when an adequate tool is used, are clear both for the scientist and for the designer, but building up a good simulation code is a great work and many more problems arise in the case of multi-domain and multi-physics systems, which take into account phenomena of different nature, like mechanical, thermal, electrical effects, each one often related to different scales: macro-level, atomic level, sub-atomic level, etc.

In this case, a single software tool is hardly suited for every domain and, on the other hand, a general purpose simulation tool may not be optimized for solving a

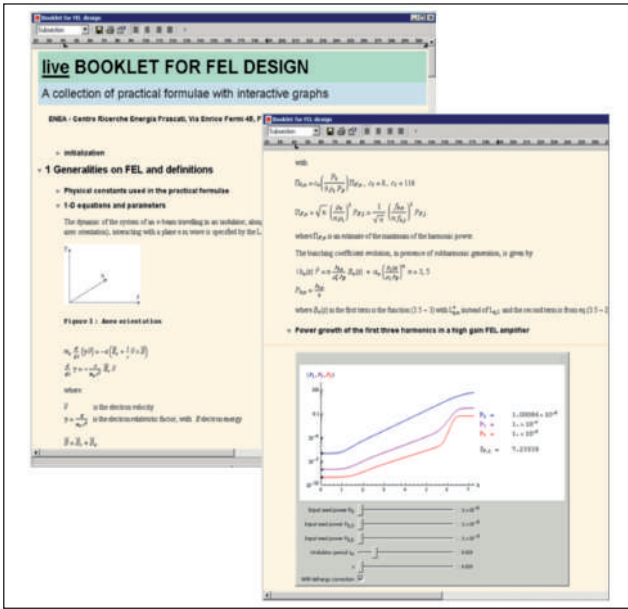


FIGURE 2 Live booklet for FEL design

certain class of problems with the requested accuracy or performance. Thus, one needs to use different tools or develop one's own simulation tools. This is particularly true for FEL design where a very sophisticated theoretical model has to be considered, with a lot of interdependent parameters. A reasonable (and usual, in fact) approach is to split the FEL system into functional sub-systems connected in a sort of pipeline (as Figure 1 itself suggests) and simulate them separately. Even in this case, simulations could be very long and difficult, but further decomposition into smaller sub-blocks is not generally advised, due to tightly interconnected phenomena.

### Live booklet

In the past years, the strategy we followed to achieve a fast and reliable description of FEL devices was that of combining numerical codes and theoretical models to get a set of semi-empirical formulae capable of describing the FEL in its different configurations. This conception<sup>[1]</sup> led the Authors to develop an interactive software tool based on these formulas.

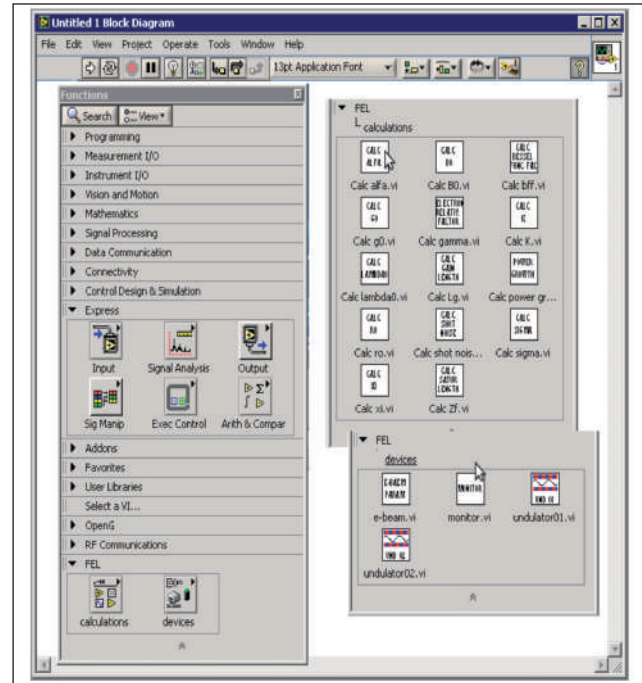


FIGURE 3 Some LabVIEW palettes customized for FEL applications

It is a kind of multimedia documentation about FEL design, where main formulae and model are presented and briefly commented. Being based on the Mathematica notebook format (by Wolfram Research, see Figure 2), formulae can be easily handled by the user and the results could be immediately visualized by animated graphs, which change their shape in real-time while design parameters are changed.

This simplified practical model allows a second-level, lighter but reasonably accurate simulation. Good accuracy and faster computation times (based on practical formulae, rather than on general models) are the key-point of this type of tools. They could also be a useful instrument to help scientists or students to better understand the behavior of FEL devices and assist the designer in defining project specifications, showing a viable path to build a framework for a future computer aided design environment targeted at FEL applications.

An effective design process requires a quick and reliable evaluation of the results for any change in specifications, constraints or assumptions: trial and error are

part of the process and lead to solutions where sophisticated theoretical models by themselves cannot lead to, as it usually happens in a real world laboratory. This suggests pursuing the convergence between CAD tools and virtual laboratories (VL).

### Virtual labs

In literature<sup>[2-4]</sup>, “virtual laboratories” are often proposed, along with “remote laboratories” for educational purposes. By definition, a remote lab is an experiment conducted and controlled remotely through the Internet. These experiments use real components or instrumentation at a different location from where they are being controlled or conducted. Software tools are used to imitate and replicate the physical interfaces at a distance: no simulation is needed. On the other hand, a virtual lab is based on software to simulate the lab environment while experiments based on the virtual instrument (VI) concept can be easily made ready for Internet delivery. Control devices, materials and devices under test, and the underlying interaction processes are simulated. The goal of a virtual lab for computer aided design (VLCAD) is to facilitate the design phase by making it possible for engineers, scientists and specialists (maybe from different fields) to develop their own devices, to estimate work hypothesis and run virtual tests. VLCAD should let the functions of single devices be analyzed and the working conditions of the whole system made by different interconnected units be evaluated. It should offer ready-made (virtual, of course) monitor and control devices like data loggers, signal generators, displays and every other equipment to diagnose and interact with the system under test. Being also a CAD tool it should let the user build (from scratch or from databases) both the units to be simulated and the control and monitor ones, along with their user interfaces.

### VLCAD for FEL

In setting up a VLCAD, a very critical aspect is choosing the programming environment.

Requested features are:

- modularity, to test individual modules easily and to develop applications quickly;

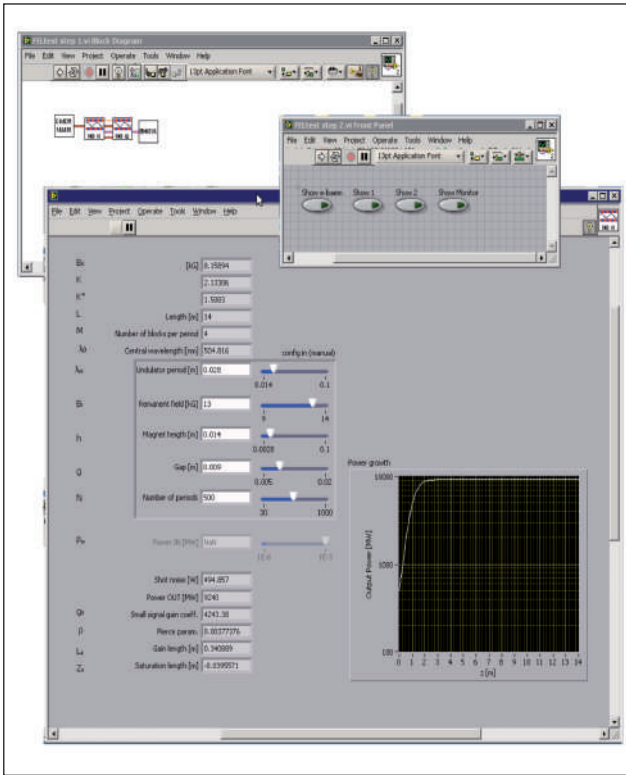
- extendable libraries, to let the designer build low- or high-level routines and outline the system hierarchically, to naturally second a top-down or bottom-up system design;
- intuitive Graphical User Interface (GUI), for user-friendly programming and application;
- security to avoid alteration, to hide the code or to create standalone applications;
- World Wide Web integration, to let applications, data and documents to be remotely accessed.

After testing a wide range of commercial and non-commercial software suites, the Authors opted for LabVIEW (by National Instruments), which is a *de facto* standard for virtual instrumentations. It also offers a rich library of functions (from mathematics to data and signal processing and beyond) in a graphical programming environment, that can be obviously extended and customized with user functions, as depicted in Figure 3 where some palettes for FEL applications are shown.

Under LabVIEW, programs and models are coded by block diagrams, that is, by putting function blocks on a dashboard and connecting them logically by drawing wires between their input and output terminals. Each program, or even each function block can be set and monitored through a so-called “front panel”, which contains interactive controls for setting and displaying quantities, like buttons, numerical indicators, sliders, charts, etc.

Figure 4 shows different typical elements of the proposed VLCAD:

- a block diagram that mimics the logical layout of a possible FEL system: the output of an electronic beam (“e-beam source” block) is fed at the input of a first undulator (“und-01” block), which in turn feeds a second one (“und-02” block) that is also connected to a diagnostic device (“monitor” block) to display related quantities;
- a small front panel with buttons to make specific front panels of the blocks show up in the diagram;
- the front panel of a generic undulator block, which shows, for example, some sliders to set the desired values of working parameters, a chart displaying the power growth along the z axis, plus other control values, coming from the whole system simulation setup.



**FIGURE 4** Block diagram and some related front panels of a small test FEL application

## Conclusion

The international community has strongly appreciated the idea of benchmarking the results of FEL experiments by the use of semi-analytical formulae, which have been successfully exploited to analyze the experimental results at Jefferson Lab [5] where a high power FEL operating in the IR region has been realized and at UVSOR [6] for the analysis of the non-linear harmonic generation. The “in-house” FEL experiment SPARC [7] has also benefited from the use of the benchmarking procedure, the remarkable feature has been the possibility of a very fast and accurate analysis of the experimental results and an on-line check of the effect of the transport line on the laser performances.

In the past, we tested the procedure on other experimental configurations like the ELBE mid-IR FEL [8] and the Dutch FEL (FELIX) [9] was designed just using the semi-analytical formulae.

Further developments provide the use of the FEL-CAD to assist the design and the development of X-ray source based on the intra-cavity Compton backscattering of free electron laser Infra-Red photons.

Finally the implementation of the procedure in a virtual laboratory frame will be aimed at “testing” the performances of a FEL device in its different configurations. ●

## Acknowledgments

The Authors express their sincere appreciation to the colleagues who, in the course of the years, supported with their interest our initiative. In particular we wish to thank Prof. W. B. Colson and Dr. S. Benson for testing the semi-analytical method either from the theoretical and experimental points of view. We are also grateful to Drs. G. Lambert, L. Giannessi and V. Petrillo for applying our procedure to the experimental analysis of non-linear harmonic generation at UVSOR and at SPARC. Finally, we owe our gratitude to Drs. Emanuele Di Palma and Alberto Petralia for many numerical and graphical implementations of the procedure.

## references

- [1] G. Dattoli, P.L. Ottaviani and S. Pagnutti, “Booklet for FEL design – A Collection of Practical Formulae”, Published by ENEA-Edizioni Scientifiche (Frascati), Rome, Italy (2008).
- [2] N. Ertugrul, “Toward Virtual Laboratories: A Survey of LabView-based Teaching and Learning Tools and Future Trends”, The Special Issue on Applications of LabVIEW in Engineering Education, *International Journal of Engineering Education*, 2000, No. 16, Vol. 3, p.p. 171-179.
- [3] X. Chen, G. Song and Y. Zhang, “Virtual and Remote Laboratory Development: A Review”, *Proceedings of Earth and Space 2010*, Honolulu, HI, pp. 3843-3852, (March 2010).
- [4] O. Palagin, V. Romanov, I. Galelyuka, M. Kachanovska, “Virtual Laboratory for Computer-Aided Design of Biosensors”, *International Journal of Computing*, 2007, Vol. 6, Issue 2, p.p. 68-76.
- [5] <http://www.jlab.org>.
- [6] <http://www.uvsor.ims.ac.jp/defaultE.html>.
- [7] L. Giannessi et al., *Phys. Rev. Lett.*, to be published.
- [8] G. Dattoli, P. L. Ottaviani, S. Pagnutti and P. Evtuschenko, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, Volume 545, Issue 1-2, p. 475-479 (2005).
- [9] D. Oepts, A. F. G. van der Meer and P. W. van Amersfoort, *Infrared Physics and Technology*, 36, 297 (1995).



1 2 3 4  
5 6 7 8  
9 10 11



dal  
**Mondo**

Si è aperto l'8 maggio l'**Exposizione internazionale 2012** che si svolgerà fino al 12 agosto a Yeosu, Corea del Sud, con la partecipazione di circa cento Paesi, dieci organizzazioni internazionali e numerose imprese multinazionali. Il tema scelto per la Expo 2012 è "Costa e Oceani che vivono - Diversità di Risorse e Attività sostenibili" e si pone in continuità col tema "Acqua e sviluppo sostenibile" scelto per la Expo 2008 di Saragozza. Obiettivo della manifestazione è sensibilizzare l'opinione pubblica mondiale sul tema della salvaguardia dell'ambiente marino e dello sviluppo delle tecnologie riguardanti il mare e accrescere la consapevolezza dei pericoli che minacciano le coste e i mari. L'organizzazione coreana vuole affrontare temi quali la distruzione dell'ecosistema marino e la scarsità di risorse, proporre nuovi equilibri attraverso Scienza e Natura, anche attraverso la creazione di nuove tecnologie eco-compatibili, approfondire il problema della competizione per lo sfruttamento del mare e ragionare su

una nuova cultura del mare che possa portare a scelte e decisioni comuni fra tutti i Paesi, col fine di non intaccare gli equilibri marini.

Dopo tre anni di discussioni, la Commissione delle **Nazioni Unite** sulla Sicurezza Alimentare Mondiale (WFS, World Food Security) ha adottato l'11 maggio le "Direttive Volontarie per una Governance Responsabile dei regimi di proprietà applicabili alla terra, alla pesca e alle foreste nel contesto della sicurezza alimentare nazionale". Il documento contiene le linee guida per proteggere le popolazioni locali, in particolare quelle africane, contro il land grabbing, cioè la pratica dell'accaparramento di vaste aree rurali nei Paesi poveri da parte di Governi stranieri, multinazionali o fondi di investimento.

Il 5 giugno 2012 si è celebrata la 40esima **Giornata mondiale dell'ambiente**, istituita dall'ONU nel 1972, durante la Conferenza di Stoccolma che diede vita al Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite (UNEP - United Nations Environment Programme), con lo scopo di far crescere in tutto il mondo la sensibilità nei confronti delle tematiche ambientali e favorire politiche e azioni per uno sviluppo sostenibile.

Il tema di quest'anno "Economia Verde: tu ne fai parte?" ha posto l'accento sull'esigenza che ognuno di noi dia il proprio contributo per mantenere l'umanità sul sentiero dell'ecologia entro i confini del nostro pianeta. L'evento ufficiale si è svolto a Rio De Janeiro, proprio la città che ospita la conferenza mondiale sullo sviluppo sostenibile - Rio+20.

Ancora a Rio de Janeiro si è tenuto dal 13 al 15 giugno il terzo e ultimo incontro del **Comitato Preparatorio per la Conferenza Rio+20** (PrepCom3) per discutere i risultati attesi e negoziare i documenti conclusivi della conferenza. Con l'apertura di Rio+20, il tema della crescita verde è stata messa al centro del dibattito internazionale. L'**OCSE**, tra gli altri, ha calendarizzato eventi e pubblicazioni dedicate alla materia. In particolare, a maggio congiuntamente a Banca mondiale e Nazioni Unite, in occasione del suo "G20 green growth seminar", l'OCSE ha presentato in un nuovo rapporto alcune indicazioni su come inquadrate crescita verde e sviluppo sostenibile all'interno di riforme strutturali. In particolare si tratta

di: misure fiscali e regolamentari quali tassazione, sostegno all'innovazione ed orientamento della forza lavoro verso attività poco inquinanti; incentivi all'uso efficiente delle risorse naturali e strumenti per rendere l'inquinamento più costoso.

Sempre l'OCSE ha poi pubblicato altri due documenti, ovvero un work of relevance in vista di Rio+20 dal titolo "Inclusive green growth: for the future we want", che ripercorre gli studi effettuati dall'avvio della green growth strategy, nonché "Jobs Potential of a Shift towards a low-carbon Economy", pubblicato con il sostegno finanziario della Commissione Europea.

Sempre in ambito OCSE, ma relativamente all'**Agenzia per l'Energia Nucleare** (NEA), di peculiare rilievo è lo scambio ufficiale di lettere tra il segretario OCSE e il Ministero degli Esteri della Federazione Russa sull'ingresso di quest'ultima nella NEA. L'adesione, che fa comunque seguito ad una storica e stretta collaborazione, è tanto più significativa quanto più si considera che il paese detiene il quarto programma nucleare al mondo, dopo USA, Francia e Giappone.

(Flavia Amato, Paola Cicchetti)



dalle  
**Istituzioni nazionali**

### Fonti energetiche rinnovabili

Il 12 aprile sono stati varati, dal Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto col Ministro dell'Ambiente e con il ministro dell'Agricoltura, due schemi di decreti ministeriali in materia di energie rinnovabili. I due provvedimenti definiscono i nuovi incentivi per l'energia fotovoltaica (Quinto Conto Energia) e per le rinnovabili elettriche non fotovoltaiche. Le principali finalità sono di raggiungere e superare gli obiettivi europei delle energie rinnovabili fissati per il 2020 attraverso una crescita virtuosa, basata su un sistema di incentivazione equilibrato e vantaggioso per il sistema Paese e tale da ridurre l'impatto sulle bollette di cittadini e imprese. Vengono favorite le tecnologie con maggior ricaduta sulla filiera economico-produttiva nazionale

e ad alto contenuto innovativo, introducendo inoltre meccanismi per evitare distorsioni a livello territoriale e conflitti con altre filiere produttive nazionali, in particolare con quella alimentare. Il sistema entrerà in vigore al superamento della soglia di 6 miliardi di incentivi per il fotovoltaico e l'1 gennaio 2013 per il non fotovoltaico.

In relazione ai decreti, sono state presentate al Senato varie mozioni e ordini del giorno da parte di tutti i gruppi parlamentari sulla normativa relativa alle fonti energetiche rinnovabili. Le mozioni evidenziano che i ritardi finora accumulati hanno prodotto una situazione di incertezza che scoraggia gli investimenti nazionali ed esteri, con effetti negativi anche dal punto di vista occupazionale. Da più parti è stata sottolineata la necessità di accertare e meglio definire i rapporti legati al regime di aiuti che deve essere finalizzato ad agevolare l'ulteriore ricorso alla produzione elettrica da fonti rinnovabili e a determinare nuove opportunità per le Regioni meridionali. Tutte le mozioni e gli ordini del giorno sono stati approvati dal Senato. Il Governo ha sottolineato il valore strategico dello sviluppo delle energie rinnovabili ed ha ribadito l'impegno a superare gli obiettivi già fissati in sede europea per il 2020. I senatori hanno espresso da una parte la soddisfazione per la chiara correzione di rotta operata dal Governo in materia energetica, dall'altra la preoccupazione per la perdurante assenza di una strategia energetica nazionale. Anche presso la Camera dei Deputati sono state presentate diverse interrogazioni mirate a richiedere chiarimenti al Governo sulle nuove forme di incentivazione previste dai decreti. Il Sottosegretario Tullio Fanelli, nel rispondere ad alcune di esse, ha evidenziato che le fonti rinnovabili devono costituire un pilastro della politica energetica e che con gli schemi di decreti si sono effettuate scelte mirate a meglio orientare le politiche di sostegno e a perseguire la sostenibilità economica e sociale delle stesse politiche di sostegno. I decreti sono attualmente all'attenzione della Conferenza Unificata.

### Strategia Energetica Nazionale

Presso la Commissione Industria del Senato prosegue l'indagine conoscitiva sulla Strategia Energetica Nazionale. Nella seduta del 26 aprile, si è svolta

l'audizione del *Ministro dello Sviluppo Economico* Corrado Passera (vedi riquadro nella rubrica *L'intervista*). Nella seduta del 30 maggio si è svolta l'*audizione dell'ENEA*. Il Commissario, ing. Lelli, si è soffermato sull'evoluzione e sulle prospettive della domanda globale di energia nonché sugli obiettivi a lungo termine. Per quanto concerne il sistema energetico nazionale, ha evidenziato come le scelte di politica energetica abbiano radicalmente ridotto i consumi così come la quantità di emissioni nocive in atmosfera. Per quanto concerne la *green economy*, ha sottolineato la necessità di uno sforzo ulteriore a sostegno della ricerca nazionale per stimolare la produzione e colmare il gap rispetto ad imprese straniere dalle quali importiamo prodotti che finiscono per gravare sulla bilancia commerciale. Ha richiamato infine gli interessanti risultati ottenuti sul fronte della ricerca in materia di biocarburanti e per lo sviluppo di nuovi pannelli fotovoltaici ingegnerizzati da installare direttamente nelle abitazioni. *L'Autorità per l'energia elettrica e il gas*, audita nel mese di aprile, ha sottolineato l'interesse dell'Italia al raggiungimento di obiettivi di medio-lungo termine sul fronte della *white green economy*.

### Ambiente

È in corso presso la Commissione Ambiente della Camera l'indagine conoscitiva sullo stato della sicurezza sismica in Italia. Lo scopo è acquisire elementi di informazione e di valutazione nei seguenti settori: stato dello sviluppo di metodologie di valutazione della pericolosità e del rischio sismico e loro applicazione; stato delle metodologie di «previsione» ed allerta dei sismi; stato dello sviluppo e dell'applicazione delle normative costruttive antisismiche, riguardanti gli edifici, i ponti e gli impianti, anche in relazione al consolidamento di quelli esistenti ed all'utilizzo di tecniche di isolamento sismico; situazione delle attività di verifica degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali di grande impatto e rischio sulla popolazione in caso sisma; situazione degli interventi su edifici, infrastrutture ed impianti ad alta vulnerabilità sismica; stato della sicurezza sismica ed a fronte di un maremoto degli impianti industriali soggetti a rischio di incidente rilevante (RIR); situazione del sistema di intervento e soccorso nel caso di eventi sismici.

Il 30 maggio si è svolta l'audizione degli esperti ENEA.

È iniziato presso le Commissioni riunite Affari Costituzionali e Ambiente della Camera l'esame del *decreto-legge n. 59/2012: Disposizioni urgenti per il riordino della Protezione civile*. Il provvedimento include alcune rilevanti novità in relazione: alla dichiarazione dello stato di emergenza, tra le quali la possibilità di dichiarare lo stato di emergenza anche «nell'imminenza» del verificarsi degli eventi calamitosi e l'introduzione di una durata massima; alla disciplina relativa all'emanazione delle ordinanze di protezione civile, con attribuzione diretta del potere di ordinanza al Capo del Dipartimento della protezione civile; alle disposizioni sul finanziamento degli oneri connessi agli interventi per eventi calamitosi, per cui viene disposto l'utilizzo prioritario delle risorse statali. In evidenza *l'articolo 2 che, al fine di consentire l'avvio di un regime assicurativo per la copertura dei rischi derivanti da calamità naturali sui fabbricati, a qualunque uso destinati, e di garantire adeguati, tempestivi ed uniformi livelli di soddisfacimento delle esigenze di riparazione e ricostruzione di beni immobili privati destinati ad uso abitativo, prevede la possibilità di estendere ai rischi derivanti da calamità naturali le polizze assicurative contro qualsiasi tipo di danno a fabbricati di proprietà di privati*. Su questo ultimo punto, la discussione nelle Commissioni è accesa soprattutto riguardo l'efficacia e adeguatezza delle norme in materia di copertura assicurativa volontaria dal rischio sismico degli immobili privati. Il ministro dell'Ambiente, Corrado Clini, ha presentato il 17 aprile al CIPE il Piano per la riduzione delle emissioni al 2020 per l'Italia, incardinato negli obblighi europei e nella strategia UE al 2050. Le misure prevedono l'istituzione di un catalogo di tecnologie, sistemi e prodotti per decarbonizzare l'economia italiana; l'introduzione della *carbon tax*; l'efficientamento energetico, la generazione distribuita e lo sviluppo di reti intelligenti per *smart cities*; l'eco-edilizia e l'estensione al 2020 del credito di imposta (55%) per investimenti a bassa CO<sub>2</sub> in economia; infine la gestione del patrimonio forestale sia come serbatoi di cattura della CO<sub>2</sub> sia per la produzione di biomassa e biocombustibili.

Il Senato ha approvato, in seconda lettura e con modificazioni, il disegno di leg-

ge n. 3162 recante modifiche al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, in materia di sfalci e potature, di miscelazione di rifiuti speciali e di oli usati nonché di misure per incrementare la raccolta differenziata. Il provvedimento è stato approvato con il nuovo titolo "Modifiche al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e altre disposizioni in materia ambientale" ed è stato trasmesso alla Camera dei deputati per la terza lettura.

### Energia

Il Consiglio dei Ministri ha approvato il decreto legislativo che recepisce la direttiva 2010/30/UE sull'indicazione del consumo di energia e di altre risorse dei prodotti connessi all'energia, mediante l'etichettatura e informazioni uniformi relative ai prodotti. Il provvedimento estende l'ambito dell'etichettatura energetica a tutti i prodotti connessi all'energia che hanno un impatto diretto o indiretto significativo sul consumo di energia durante il loro uso, individuando nel Ministero dello Sviluppo Economico l'autorità di vigilanza interna (con l'ausilio delle Camere di Commercio, della Guardia di finanza e dell'ENEA) e nell'Agenzia delle Dogane l'autorità di vigilanza per le frontiere esterne. È stato pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 111 del 14.05.2012 la legge n. 56 dell'11 maggio 2012 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 15 marzo 2012, n. 21, recante norme in materia di poteri speciali sugli assetti societari nei settori della difesa e della sicurezza nazionale, nonché per le attività di rilevanza strategica nei settori dell'energia, dei trasporti e delle comunicazioni". Il provvedimento interviene sulla disciplina della cosiddetta *golden share*, riformulando le condizioni e l'ambito di esercizio dei poteri speciali dello Stato sulle società operanti nei settori considerati.

### Spesa pubblica

Nella Gazzetta Ufficiale n. 106 dell'8 maggio 2012 è stato pubblicato il decreto-legge 7 maggio 2012, n. 52, "Disposizioni urgenti per la razionalizzazione della spesa pubblica", attualmente all'attenzione del Senato. Il decreto-legge istituisce un Comitato interministeriale per la revisione della spesa pubblica, che svolge attività di indirizzo e coordinamento in materia di revisione dei programmi di spesa e dei trasferimenti

a imprese, razionalizzazione delle attività e dei servizi offerti, ridimensionamento delle strutture, riduzione delle spese per acquisto di beni e servizi, ottimizzazione dell'uso degli immobili e altre materie con riferimento a tutte le amministrazioni pubbliche autorità, anche indipendenti, organismi, uffici, agenzie o soggetti pubblici, enti locali, nonché società a totale partecipazione pubblica diretta e indiretta e amministrazioni regionali commissariate per il disavanzo sanitario. Sono invece escluse la Presidenza della Repubblica, il Senato, la Camera e la Corte costituzionale. Il Consiglio dei Ministri ha affidato a Enrico Bondi l'incarico di Commissario Straordinario per la revisione della spesa pubblica, con poteri di chiedere informazioni e documenti, di controllo e segnalazione al Governo delle norme che determinano spese o voci di costo delle amministrazioni e propone i necessari provvedimenti. Il Comitato Interministeriale si è riunito per la prima volta il 28 maggio; il Commissario ha presentato il "Cronoprogramma" per la razionalizzazione della spesa dell'acquisto di beni e servizi. Le macro aree d'intervento individuate dal Commissario sono: ottimizzazione dei prezzi/costi unitari; ottimizzazione delle quantità/consumi unitari; integrazione e razionalizzazione degli strumenti già esistenti. Emerge che grazie alla creazione di un sistema "a rete" per gli acquisti e all'individuazione di indicatori per le quantità, già nella seconda parte del 2012 possa essere conseguito un risparmio rispetto agli attuali volumi di spesa. Entro il mese di giugno saranno varati tutti gli strumenti operativi per ottenere le riduzioni di spesa programmate, pari ad almeno 4,2 miliardi di euro.

(Laura Migliorini)



dall'  
**Unione Europea**

### Commissione Europea

Le principali iniziative della Commissione europea (CE) nel periodo maggio-giugno 2012 riguardano:

- la elaborazione, in data 2 maggio, di un piano destinato a garantire ai bambini e adolescenti le competenze e

gli strumenti necessari per beneficiare pienamente e in modo sicuro del *mondo digitale*. La strategia delinea una serie di misure per incoraggiare le imprese europee a sviluppare contenuti online di qualità per i minori, creare un ambiente sicuro per i minori che navigano in Internet, e aiutare questi utenti fornendo loro gli strumenti e i sistemi necessari per proteggersi e sviluppare le competenze informatiche;

- la pubblicazione, in data 2 maggio, delle linee guida per la *revisione tecnica degli inventari dei gas serra* degli Stati membri, passo necessario verso la creazione di limiti nazionali per il 2013-20 in materia di emissioni che non rientrano nel sistema UE di scambio di emissioni (Emissions Trading System, ETS). Le linee guida sono state preparate per la Commissione dall'Agenzia europea dell'ambiente;
- la celebrazione, in data 21 maggio, del 20° anniversario di due strumenti fondamentali per la conservazione e l'uso sostenibile della natura nell'UE: la direttiva *Habitat e LIFE*, il programma di finanziamenti per l'ambiente dell'UE. Entrambi gli strumenti mirano alla salvaguardia delle specie e degli habitat maggiormente minacciati dell'intera Europa. Nel corso del tempo, la direttiva Habitat ha istituito zone protette nell'ambito della rete Natura 2000, al cui sviluppo lo strumento finanziario LIFE ha apportato un sostegno strategico;
- l'avvio, in data 21 maggio, di un progetto pilota per aiutare i giovani a trovare lavoro in un altro paese dell'UE. Nella sua fase iniziale "*Il tuo primo posto di lavoro EURES*" intende migliorare la mobilità transfrontaliera di 5 000 persone. Esso servirà anche quale banco di prova per trasformare EURES - la rete dei servizi dell'occupazione degli Stati membri - in un servizio dell'occupazione paneuropeo;
- il lancio, in data 22 maggio, della campagna che affronta il tema *dell'uso eccessivo dell'acqua* al fine di promuovere abitudini di consumo responsabili. Essa fa parte dell'iniziativa "Generation Awake!", che ha come obiettivo la sensibilizzazione dell'opinione pubblica sulle conseguenze ambientali, economiche, sociali e personali dell'uso non sostenibile di risorse preziose e quindi di incoraggiarne un uso efficiente;



- l'apertura, in data 22 maggio, della 12a edizione della Settimana verde, la principale conferenza europea a tema ambientale, la cui edizione di quest'anno, intitolata "La sfida dell'acqua - ogni goccia conta", è dedicata alle *risorse idriche*. Gli eventi della Settimana, che ospita anche 3a conferenza europea sull'acqua, si inseriscono nel piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee previsto dalla Commissione per novembre di quest'anno;
- l'adozione, in data 30 maggio di un pacchetto di raccomandazioni riguardanti misure di bilancio e riforme economiche per rafforzare la *stabilità finanziaria*, rilanciare la *crescita* e creare occupazione in tutta l'UE. La Commissione ha formulato raccomandazioni sia per ciascuno Stato membro che per la zona euro considerata nel suo insieme e ha illustrato l'azione politica a livello di UE che deve integrare le misure nazionali per arrivare a un'ambiziosa iniziativa europea per la crescita;
- la proposta, in data 31 maggio, di un nuovo approccio alla valutazione delle *miscele chimiche tossiche*. Poiché il numero di potenziali combinazioni chimiche è molto elevato, la prima sfida consisterà nell'individuare le miscele prioritarie in modo da concentrare le risorse sulle combinazioni potenzialmente più nefaste. Entro il 2014 la Commissione metterà a punto anche una serie di orientamenti tecnici intesi a codificare le migliori prassi ai fini della valutazione delle miscele prioritarie;
- la proposta, in data 4 giugno, di nuove norme per consentire *transazioni elettroniche transfrontaliere* sicure in Europa. Il regolamento proposto garantirà che i cittadini e le imprese possano utilizzare i loro regimi nazionali di identificazione elettronica (eID) per accedere ai servizi pubblici negli altri paesi dell'UE in cui la eID è disponibile. Crea inoltre un mercato interno per le firme elettroniche e i servizi fiduciari online connessi, che opereranno così attraverso le frontiere con il medesimo valore legale dei processi tradizionali su base cartacea;
- l'inaugurazione, in data 5 giugno, da parte del Commissario per l'Ambiente Janez Potočnik della *piattaforma europea sull'efficienza nell'impiego delle risorse* destinata a fornire indicazioni

e consulenze di alto livello sulle misure politiche intese ad orientare l'economia europea verso un modello di crescita più sostenibile. L'efficienza nell'uso delle risorse è uno dei pilastri della strategia "Europa 2020", e costituisce pertanto una priorità assoluta per la Commissione;

- l'impegno da parte della UE di raggiungere una quota del 20% di energie rinnovabili entro il 2020. Nella comunicazione adottata il 6 giugno la Commissione invita pertanto, da un lato, a privilegiare un approccio europeo più coordinato per stabilire e riformare i regimi di sostegno e, dall'altro, a ricorrere più diffusamente ai *meccanismi di scambio di energie rinnovabili* tra gli Stati membri. Inoltre, la necessità da parte degli investitori di poter contare su certezze in materia normativa rende pressante l'avvio della discussione sul futuro e della costruzione di un solido quadro di riferimento che vada oltre il 2020;
- l'annuncio, in data 6 giugno nel corso della presentazione della relazione CARS 21, di azioni concrete per reagire all'attuale situazione economica e per aiutare l'*industria automobilistica* a riprendere quota. Le misure proposte costituiranno il piano d'azione della Commissione a sostegno dell'industria automobilistica che sarà adottato nell'autunno di quest'anno nella forma di una comunicazione sui risultati di CARS 21;
- l'adozione, in data 8 giugno, del "services package" che definisce le azioni per stimolare la crescita nel settore dei servizi. Il pacchetto è costituito dalla Comunicazione sull'attuazione della Direttiva Servizi "Un nuovo partenariato per la crescita nel settore dei servizi 2012 - 2015" ed è accompagnato da tre documenti di lavoro relativi alla attuazione della direttiva, alla verifica dei test di efficienza delle diverse norme dell'UE applicate alle imprese ed al principio di non discriminazione dei destinatari dei servizi a motivo del paese di residenza.

Tra le *consultazioni pubbliche* avviate nell'ultimo periodo dalla CE, occorre menzionare quella relativa alla valutazione del l'impatto di un eventuale *marchio europeo del turismo di qualità* che mira ad accrescere la trasparenza e la coerenza dei sistemi di valutazione della qualità a livello di UE, aperta sino

al 13 luglio. La consultazione sui diritti dei cittadini, aperta dal 9 maggio al 9 settembre, rappresenta la più grande consultazione pubblica mai condotta nell'Unione per definire l'agenda politica dei prossimi anni e delineare il futuro dell'Europa. La consultazione, che prelude alla proclamazione del 2013 "Anno europeo dei cittadini", darà l'occasione ai cittadini europei di dire quali sono gli ostacoli che impediscono l'esercizio della cittadinanza dell'Unione, ad esempio quando viaggiano in Europa, quando votano o si candidano alle elezioni. I risultati della consultazione verranno usati dalla Commissione per definire l'agenda politica e elaborare la relazione sulla cittadinanza europea del 2013. Il 21 maggio è stata lanciata la consultazione, aperta fino al 20 agosto, che mira a raccogliere le opinioni delle parti interessate e di esperti in materia di adattamento al *cambiamento climatico*, al fine di ottenere informazioni aggiuntive per la preparazione della strategia di adattamento europea (EU Adaptation Strategy). Un'altra consultazione, aperta dal 29 maggio al 7 agosto, è quella destinata a fornire un input per il *riesame intermedio della comunicazione sulla politica industriale*, previsto per il settembre 2012. Questo riesame si concentrerà sullo sviluppo di un numero limitato di nuove iniziative politiche che dovrebbero avere un impatto dimostrabile e significativo sulla competitività delle industrie europee, la crescita e l'occupazione.

#### Parlamento e Consiglio Europeo

Il 24 maggio, il Consiglio ha adottato il *Progress Report sul pacchetto "Horizon 2020"*, che include le proposte per il programma specifico, le nuove Regole di Partecipazione ed il programma EURATOM.

Il 12 giugno, il Consiglio ha approvato il lancio del partenariato europeo per l'innovazione sull'acqua (EIP Water Efficiency). L'approvazione segna l'inizio dello sviluppo della fase operativa della EIP sull'acqua, la cui prima azione sarà quella di stabilire il "Gruppo direttivo ad alto livello" che darà il mandato per lo sviluppo di un piano di attuazione strategico che indichi i settori prioritari di intervento nel settore. Il kick-off meeting del gruppo direttivo di alto livello è previsto per settembre 2012.

(Valerio Abbadessa)



*Lo scenario generale che appare evidente leggendo i giornali in questi mesi è ancora uno scenario di crisi; l'annuale Rapporto ISTAT fotografa un'Italia "ingessata" e più povera in cui ci sono poca mobilità sociale ed ampie differenze tra i generi e tra nord e sud. Anche l'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) afferma che "l'Italia non riparte"; secondo il ministro dello Sviluppo Economico, Passera, sono 28 milioni gli italiani colpiti dalla crisi. Di seguito un panorama dei temi energetici, ambientali e della ricerca che hanno trovato un'eco sugli organi di stampa.*

### Fonti energetiche rinnovabili

Continua il dibattito sui decreti che dovrebbero rimodulare gli incentivi alle rinnovabili, gli interessi in campo sono enormi, l'Autorità per l'Energia chiede ulteriori riduzioni per il fotovoltaico; si assiste ad un serrato confronto con la Conferenza Stato-Regioni e con le associazioni del settore. Il Ministero dello Sviluppo Economico conta di approvare quanto prima i due decreti di cui si discute da mesi: quello sul quinto conto energia per il solare fotovoltaico e quello sulle altre fonti rinnovabili; sembra essere prevista una fase "cuscinetto" in grado di accompagnare il mercato e le imprese del settore verso i maggiori rigori del nuovo regime.

### Nucleare

Il 16 giugno il governo giapponese ha deciso di riavviare due reattori della centrale nucleare di Oi, nel Giappone occidentale: i picchi estivi del consumo elettrico e il rischio di blackout che colpirebbe le aziende industriali locali hanno motivato la decisione governativa di riprendere la produzione elettro-nucleare, precedentemente sospesa; rimarrebbe comunque ferma l'intenzione di ridurre la dipendenza dal nucleare nel medio-lungo-termine. Intanto, appaiono rassicuranti i risultati di due diversi rapporti indipendenti sugli effetti delle radiazioni atomiche redatti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità e dal Comitato Scientifico delle Nazioni Unite. Secondo questi due rapporti la vera emergenza

riguarda i livelli record di sindromi post traumatiche da stress: è soprattutto la salute mentale dei giapponesi a destare preoccupazione. Come conseguenza dell'incidente di Fukushima, si nota il fatto che oggi i cittadini giapponesi hanno sempre più potere nelle decisioni sull'energia. Infine, si stima che costerà circa 32 miliardi di euro alla Germania la scelta di dire addio al nucleare, questo il costo stimato per la costruzione di nuove centrali a gas e a carbone e per il potenziamento della rete di distribuzione.

### Ricerca

Ripensare il sistema ricerca per aprire la strada della ripresa: è questo l'imperativo alla base della scelta del ministro Profumo di nominare 7 saggi cui affidare le sorti dei finanziamenti della nostra ricerca. Si tratta del Comitato nazionale dei garanti per la ricerca cui è affidato il compito di valutare ex ante i progetti di ricerca presentati su bando del Ministero. L'obiettivo è arrivare preparati alla partenza di Horizon 2020, l'ottavo programma quadro dell'Unione Europea, nella primavera del 2014. Intanto è atteso per il 9 luglio il maxi bando UE sull'innovazione da 9 miliardi. Tra i temi al centro del bando ci saranno i settori dell'energia, dell'agricoltura, e dell'ambiente.

Corpose le osservazioni sul bonus contenuto nella bozza di decreto legge sugli incentivi alla ricerca, il cui punto centrale è il credito di imposta del 30% concesso a tutte le imprese che effettuano ricerca e sviluppo. È iniziato l'esame, che si preannuncia lungo e dibattuto, anche sul cosiddetto "pacchetto merito", voluto dal ministro Profumo, che prevede incentivi fiscali alle aziende che assumono gli studenti più meritevoli, e misure per favorire l'internazionalizzazione dei nostri atenei e l'ingresso di quelli stranieri in Italia.

Dall'annuale Rapporto Alma Laurea emerge infine un quadro in chiaroscuro: la regolarità degli studi è in crescita, l'età della laurea scende, pur restando elevata, la mobilità sociale è anch'essa in aumento. I dati più preoccupanti riguardano gli sbocchi professionali: l'Italia è il solo paese europeo in cui scendono le assunzioni ad "alta specializzazione".

### Ambiente

Tre gli argomenti di cui si è discusso maggiormente: i rifiuti urbani a Roma, la

Conferenza di Rio e, soprattutto, il terremoto in Emilia.

Per quanto riguarda i rifiuti romani, il sito di Pian dell'Olmo a Riano è stato considerato idoneo dal commissario governativo ad ospitare la discarica provvisoria dopo la chiusura di Malagrotta. Inevitabili le proteste della popolazione, che lamenta criticità relative alla situazione idrogeologica del sito. Intanto arriva l'ultimatum della Commissione Europea che concede all'Italia due mesi di tempo per conformarsi alle norme europee sul trattamento dei rifiuti destinati alla discarica di Malagrotta stessa.

Nel frattempo Rio si prepara ad ospitare, tra il 20 e il 22 giugno prossimi, Rio+20, l'evento organizzato dall'ONU con l'obiettivo di riunire i governi per promuovere lo sviluppo sostenibile. Alcuni capi di governo (Obama, Merkel e Cameron) non parteciperanno e questo ha indotto alcuni analisti a parlare di un flop di Rio+20, durante il quale si chiederà che almeno il 2% del PIL mondiale venga destinato alla sostenibilità ambientale.

Dopo il terremoto di magnitudo 5.9 del 20 maggio 2012, avvertito in gran parte del nord Italia e localizzato tra le province di Ferrara, Modena, Mantova e Bologna, il 29 maggio si verifica un nuovo evento sismico in provincia di Modena di magnitudo 5.8. Diverse repliche interessano anche le province di Reggio Emilia e Mantova. Intere pagine di giornali sono dedicate all'evento, con interventi di esperti, sismologi, geologi, ingegneri sismici, ma anche ministri e amministratori pubblici; si discute se sia o meno possibile prevedere i terremoti, si afferma la necessità di rivedere le mappe sismiche, di occuparsi della messa in sicurezza degli edifici esistenti, si studiano i modi per valutare la sicurezza delle abitazioni.

Gli esperti dell'ENEA affermano che in Italia il 70% degli edifici non rispetta le normative e propongono una polizza assicurativa legata alla classificazione sismica degli edifici: attraverso un Fondo per la sicurezza e l'efficienza energetica, nel giro di qualche decennio si potrebbe mettere in sicurezza gran parte del costruito.

Infine, i giornali hanno ospitato l'opinione di esperti secondo i quali potrebbe succedere un terremoto disastroso al sud, in particolare in Calabria e Sicilia.

(Laura Di Pietro)

## Calendario eventi

### ■ GREEN JOBS: LINKING THE ENVIRONMENT, CLIMATE CHANGE AND THE WORLD OF WORK

Organizzata dall'International Training Centre dell'International Labour Organization (ILO) per promuovere posti di lavoro "verdi" in ogni Paese, con focus sulle dimensioni sociali e occupazionali della green economy.

**16-20 luglio, Torino, Italia**

[http://greenjobs.itcilo.org/coming-soon/copy\\_of\\_open-course-on-green-jobs-linking-climate-change-and-the-world-of-work-turin-italy-18-2013-22-july-2011](http://greenjobs.itcilo.org/coming-soon/copy_of_open-course-on-green-jobs-linking-climate-change-and-the-world-of-work-turin-italy-18-2013-22-july-2011)

### ■ SECOND GLOBAL CONFERENCE ON AGRICULTURE, FOOD SECURITY AND CLIMATE CHANGE

Organizzata dai governi di Viet Nam e Paesi Bassi, in collaborazione con World Bank e FAO, intende impostare nuove e più concrete priorità per un'agricoltura compatibile con il clima e come driver della crescita "verde".

**3-7 settembre, Hanoi, Viet Nam**

<http://www.afccconference.com/>

### ■ IUCN WORLD CONSERVATION CONGRESS 2012

Il Congresso è focalizzato sulla tutela degli ecosistemi e delle specie a rischio nel mondo. Sessioni tematiche tratteranno natura e clima, natura e risorse viventi, natura ed energia, natura ed economia.

**6-15 settembre, Jeju, Sud Corea**

[http://www.iucn.org/2012\\_congress/about/](http://www.iucn.org/2012_congress/about/)

### ■ THIRD SESSION OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHEMICALS MANAGEMENT

Il convegno è focalizzato principalmente sulla tossicità indotta dalle nuove nanotecnologie e nanomateriali. Altro argomento in discussione riguarda i rischi sanitari di materiale elettrico ed elettronico.

**17-21 settembre, Nairobi, Kenya**

<http://www.saicm.org>

### ■ INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT

La Conferenza intende individuare metodi e procedure che possano garantire la riduzione dell'impatto ambientale e sanitario degli elementi metallici tossici ed in particolare dei metalli pesanti.

**23-27 settembre, Roma, Italia**

<http://ichmet16.iaa.cnr.it/>

### ■ WORLD ENERGY FORUM 2012

Il Forum organizzato dalle Nazioni Unite riunisce tutti gli stakeholder interessati per discutere le strategie idonee a garantire l'accesso universale all'energia ed ai servizi energetici, l'uso sostenibile dell'energia e la sicurezza degli approvvigionamenti.

**22-24 ottobre, Dubai, Emirati Arabi Uniti**

<http://www.worldenergyforum2012.org/>

### ■ FIRST INTERNATIONAL OFF-GRID RENEWABLE ENERGY CONFERENCE

La conferenza, organizzata dalle Nazioni Unite, intende discutere l'eccesso all'energia elettrica, lo stato dell'elettrificazione rurale nei paesi in via di sviluppo e la cooperazione che i paesi industrializzati sono chiamati a dare in questo settore.

**1-2 novembre, Accra, Ghana**

<http://ecreee.vs120081.hl-users.com/website/index.php?ecowas-high-level-forum>



# Sostenibilità dei sistemi produttivi

## Strumenti e tecnologie verso la green economy

Il tema della *green economy* come strumento di uscita dalla crisi economica mondiale è al centro della Conferenza delle Nazioni Unite sullo Sviluppo Sostenibile denominata "Rio+20" (Rio de Janeiro, giugno 2012). Parlando di *green economy* si corre il rischio di associare quest'espressione soltanto a una parte dell'economia, l'economia verde, in contrapposizione all'economia tradizionale. Invece con *green economy* si intende un nuovo sistema socio-economico da attuare con l'applicazione integrata di un insieme di strumenti di pianificazione e regolazione, metodologici e strategici, tecnici e tecnologici, realizzativi, di monitoraggio e controllo. Si tratta di un vero e proprio cambiamento radicale che implica una riconversione di tutto il sistema produttivo, e non solo della cosiddetta "industria ambientale", verso processi e prodotti sostenibili.



Il volume ENEA, a cura di Laura Cutaia e Roberto Morabito, offre una panoramica su tecnologie, politiche, strategie, normative e strumenti legislativi, necessari sul percorso della sostenibilità; costituisce un tentativo di descrizione sistematica, seppur non esaustiva, della "tool box" da utilizzare per rendere sostenibili i sistemi produttivi.

Il volume è scaricabile gratuitamente dal sito [www.enea.it](http://www.enea.it)

## SPECIALE

### Verso la green economy: strategie, approcci e opportunità tecnologiche

La *green economy* non deve essere considerata semplicemente come la parte “verde” dell’economia, operante esclusivamente all’interno del settore della cosiddetta “industria ambientale” (ad esempio, il settore delle energie rinnovabili), ma deve essere considerata come uno strumento da applicare a tutti i settori della produzione di beni e servizi, oltre che per la conservazione e l’utilizzo sostenibile delle risorse naturali, ai fini di una transizione verso un modello di sviluppo migliore e più equo.

La *green economy* costituisce quindi una formidabile occasione di sviluppo e di miglioramento ambientale, a patto che le autorità e le imprese abbiano comportamenti proattivi, e non semplicemente reattivi, che vengano elaborate e messe in atto le giuste politiche, che le imprese possano destinare una quota adeguata dei loro guadagni in ricerca e sviluppo.



Con questo Speciale della rivista *Energia, ambiente e innovazione*, l'ENEA vuole dare un contributo alla discussione per avviare la transizione verso la *green economy*.

Pur non essendo esaustivo, lo Speciale intende fornire un quadro, schematico ma completo, dei campi da considerare e degli strumenti da utilizzare sul percorso della *green economy*.

Il volume è scaricabile gratuitamente dal sito [www.enea.it](http://www.enea.it)

**energia  
ambiente  
e innovazione**

bimestrale dell'ENEA

anno 58

maggio - giugno 2012