

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 Porgiglia, Rino Romani, Sergio Sangiorgi, Massimo Sepielli, Leander Tapfer, Ezio Terzini, Marco Vittori Antisari, Gabriele Zanini

Comitato tecnico-scientifico

Osvaldo 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
Tel. 06-30486278 - giuliano.ghisu@enea.it

Comitato editoriale

Valerio Abbadessa, Flavia Amato, Daniela Bertuzzi, Paola Carrabba, Paola Cicchetti, Maria Luisa Cipullo, Antonino Dattola, Barbara Di Giovanni, Laura Di Pietro, Michele Mazzeo, Laura Miglorini, 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

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

Pubblicità

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

Finito di stampare nel mese di gennaio 2012

Editoriale

2 La sfida di misurare il benessere

Enrico Giovannini

4 Quando la natura alza la voce

Elisabetta Guidobaldi



World view

6



Focus sulle notizie

20

20 Rischio idrogeologico Le responsabilità del fango

M. Tozzi

21 Sviluppo a basse emissioni di carbonio L'ENEA al Parlamento Europeo per la Low Carbon Roadmap

M. Busuoli

23 Land grabbing e sicurezza alimentare Il land grabbing minaccia la sicurezza alimentare dei poveri e ne peggiora le condizioni di povertà

P. Perfetti

26 Telefoni cellulari e salute Uso del telefono cellulare e tumori intracranici: nessuna associazione nello studio di coorte danese con follow-up aggiornato al 2007

S. Lagorio, C. Marino

30 Materie prime critiche Allarme sul futuro sviluppo delle tecnologie energetiche per le rinnovabili

F. Zarlenga



Primo piano

32

Cambiamenti climatici

32 Cambiamenti climatici: una proposta per ridurre le emissioni

T. Fanelli, V. Artale, N.M. Caminiti, C. Manna

Desertificazione

38 La lotta alla desertificazione dopo la decima Conferenza delle Parti

M. Sciortino



Studi & ricerche

41

Review & assessment papers

41 Considerazioni economiche sulla produzione di energia eolica

V. Amicarelli, F.A. Tresca

49 Bacteria endosymbionts: a source of innovation in biotechnology for the control of vector-borne diseases

M. Calvitti

58 Free Electron Laser: current status and challenges ahead

M. Artoli, G. Dattoli, J.V. Rau

Research papers

65 Renewables' technological competitiveness and sustainable development in the new global economy

D. Palma, G. Coletta

72 The heterogeneous condensation. An effective way to adapt conventional dust removal techniques to new environmental challenges

M. Tammara, F. Di Natale, A. Saluzzo, A. Lancia

82 Alternative use of CO₂

V. Barbarossa, G. Vanga

86 A new method to obtain hybrid conducting nanocomposites based on polyaniline and carbon nanotubes

M.F. De Riccardis, V. Martina

Technical papers

96 Taking energy into account(s)

A. Tudini, A. Femia, G. Vetrella

103 Studying the "induction welding" process applied to thermoplastic- matrix composites

F. Caretto



Rubriche

112

112 dal Mondo

112 dall'Unione Europea

113 dalle Istituzioni nazionali

114 dai Giornali

116 Calendario eventi



La sfida di misurare il benessere

All'inizio di novembre l'Istat ha presentato il sito www.misuredelbenessere.it con lo scopo di aprire un luogo di discussione nazionale su ciò che è importante per il benessere dei cittadini e su come misurarlo. È una sfida per alcuni versi epocale che l'Istituto nazionale di statistica, come molti altri istituti statistici nel mondo, è chiamato a raccogliere.

Il benessere è un concetto complesso, che dipende da una grande varietà di fattori, dalla salute alle relazioni sociali, dalla soddisfazione per il proprio lavoro alla sicurezza economica, dalla qualità dell'ambiente in cui si vive alla fiducia nell'azione politica. Peraltro, il benessere dei singoli non necessariamente coincide con il benessere della società. Per questo è importante che il benessere sia distribuito tra i diversi gruppi sociali, che sia quindi "equo", e che sia garantito anche alle generazioni future, che sia quindi "sostenibile". Si dovrebbe dunque riuscire a misurare il Benessere Equo e Sostenibile (BES).

Aprire la discussione sul
benessere dei cittadini e su
come misurarlo.
Andando oltre il PIL.

Si tratta di una sfida che viene da lontano e che mi ha visto coinvolto in prima persona già dal 2001, quando ero a capo della Direzione Statistica dell'OCSE. In quegli anni ci si rese conto dell'esigenza diffusa di misurare il benessere dei cittadini e il progresso delle nazioni non solo dal punto di vista economico, tipicamente misurato attraverso la crescita del Prodotto Interno Lordo (PIL), ma anche attraverso misure che dessero conto delle reali condizioni di vita dei cittadini, delle loro aspirazioni e del loro giudizio. Approfondendo il tema si sono scoperte centinaia di esperienze in tutto il mondo che andavano nella stessa direzione: in Bhutan si calcolava la Felicità Interna Lorda; negli Stati Uniti i cosiddetti *Community indicators* erano in grado di dar conto delle priorità di vita dei cittadini nei piccoli centri; in Colombia l'esperienza "Bogotá Cómo Vamos" apriva la strada alla misurazione del benessere nelle grandi città sudamericane; in Francia una rete di economisti proponeva il BIP40, mentre in Italia la società civile che animava la campagna "Sbilanciamoci!" dava vita al Quars e il Sole24Ore proponeva un indice di qualità della vita nelle province. La lista potrebbe essere molto più lunga.

A livello istituzionale, il dibattito internazionale promosso dall'OCSE condusse nel 2007 alla "Dichiarazione di Istanbul", adottata dalla Commissione Europea, dall'OCSE, dall'Organizzazione della Conferenza islamica, dalle Nazioni Unite, dall'UNDP e dalla Banca Mondiale, evidenziando un consenso sulla necessità di "intraprendere la misurazione del progresso sociale in ogni paese, andando oltre le misure economiche convenzionali come il PIL pro capite". Sotto l'egida dell'OCSE, quindi, diedi vita al *Global Project on Measuring the Progress of Societies*, divenuto il punto di riferimento mondiale per quanti desiderano misurare e valutare i progressi delle loro società (www.wikiprogress.org).

Lo sviluppo dell'informazione statistica per giungere ad una misurazione valida del benessere si avvale oggi di molti contributi, ivi compreso quello della prestigiosa Commissione Stiglitz-Sen-Fitoussi, composta da 25 studiosi, compresi cinque premi Nobel. La Commissione (di cui ho avuto l'onore di far parte, dirigendo uno di tre gruppi di lavoro),

nel suo rapporto finale pubblicato nel settembre del 2009 ha identificato i limiti del PIL come indicatore della performance economica e del progresso sociale, ha individuato quali informazioni aggiuntive potrebbero essere necessarie per l'elaborazione di indicatori più pertinenti del progresso sociale e ha valutato la fattibilità di strumenti alternativi di misurazione.

Proprio seguendo le indicazioni dell'OCSE e della Commissione, nel 2011 l'Istat e il Consiglio Nazionale dell'Economia e del Lavoro (CNEL) hanno lanciato un'iniziativa per la misurazione del "Benessere Equo e Sostenibile", il quale mira a produrre una serie di indicatori in grado di offrire una visione condivisa di progresso per l'Italia. Essa sarà elaborata da studiosi dei temi che afferiscono al benessere e legittimata dalla consultazione di esperti, portatori d'interesse e cittadini attraverso incontri, audizioni e una consultazione on-line. Proprio la partecipazione nel processo delle rappresentanze degli imprenditori, dei lavoratori e del terzo settore è fondamentale per assicurare la legittimità di una tale operazione.

L'iniziativa prevede: a) la costituzione di un Comitato d'Indirizzo coordinato congiuntamente dal CNEL e dall'Istat con il compito di elaborare una definizione condivisa di progresso riferita alla società italiana; b) la creazione di un Comitato scientifico coordinato dall'Istat e composto da esperti delle diverse materie per selezionare indicatori statistici di elevata qualità rappresentativi delle diverse dimensioni del benessere; c) l'organizzazione di una consultazione pubblica e una vasta comunicazione ai cittadini dei risultati, così da informare la cittadinanza sui significati degli indicatori nel modo più accurato possibile.

Attualmente si è appena conclusa la prima fase. Il Comitato di Indirizzo istituito presso il CNEL ha formulato una proposta di dodici "domini" di analisi del benessere, raggiungendo un accordo tra le parti presenti al tavolo di lavoro (associazioni di categoria, sindacati e terzo settore). Tale proposta rappresenta di per sé un importante risultato. I dodici domini (Ambiente, Salute, Benessere economico, Istruzione e formazione, Lavoro e conciliazione dei tempi di vita, Relazioni sociali, Sicurezza, Benessere soggettivo, Paesaggio e patrimonio culturale, Ricerca e innovazione, Qualità dei servizi, Politica e istituzioni) contengono infatti una visione di ciò che è ritenuto prioritario per il presente e il futuro dei cittadini e del Paese. In questo senso, misurare il benessere supera il mero esercizio accademico, ma diventa un momento di elaborazione della direzione che vogliamo il nostro Paese intraprenda.

Tale visione è bene che sia ulteriormente rafforzata da una discussione pubblica che coinvolga istituzioni e centri di ricerca. A questo scopo sul sito *misuredelbenessere.it*, oltre a presentare diffusamente l'iniziativa, abbiamo lanciato un semplice questionario affinché tutti possano dare la propria opinione sulle scelte compiute finora e un blog dove meglio articolare punti di vista, critiche e osservazioni.

I prossimi passi prevedono l'identificazione di un set di indicatori capace di rappresentare i diversi domini e una ulteriore consultazione nazionale attraverso numerosi incontri da tenersi in tutte le regioni italiane. L'appuntamento finale del lavoro è per la fine del 2012, quando è programmata la pubblicazione del primo rapporto congiunto Istat-CNEL sulla misura del Benessere Equo e Sostenibile in Italia.



Quando la natura alza la voce

Nessuno, nemmeno i più esperti, per così dire, “abituati” a confrontarsi con i cambiamenti e i disastri, è riuscito a restare indifferente dinanzi alle immagini di un'Italia piegata dalle piogge.

Frane catastrofiche e alluvioni nella Cinque Terre, in Toscana e nella provincia di Messina. Genova, e non una città lontana o in mezzo a una foresta pluviale, ma la “nostra” Genova, è stata invasa da un fiume in piena nella sua vita quotidiana.

I disastri idrogeologici di quest'autunno 2011 hanno strappato sgomento e commozione non solo nell'opinione pubblica, ma soprattutto nei nostri geologi, climatologi e meteorologi.

I disastri idrogeologici di quest'autunno 2011 hanno strappato sgomento e commozione non solo nell'opinione pubblica, ma soprattutto nei nostri geologi, climatologi e meteorologi. Un dato, questo, della partecipazione emotiva della scienza, che entra di diritto nella triste cronaca di questi primi di novembre del 2011 e che ci mette di fronte, nella sua dirompente semplicità, alla gravità del momento.

Imputato numero uno il clima, ma, è stato fatto notare a noi giornalisti, non tutte le colpe possono essere attribuite ai cambiamenti climatici. In realtà il mondo dell'informazione nazionale si è trovata a fare i conti con i dati sull'urbanizzazione (spesso selvaggia e abusiva), con l'abbandono del territorio e la poca, anzi quasi inesistente, gestione delle idrovie.

Insomma un quadro in cui si innescano rabbia e incomprensione perché si tratta ancora una volta di una tragedia annunciata che ha lasciato dietro di sé vittime e distruzione. E lo si può affermare con certezza leggendo le catastrofi che hanno colpito il nostro Paese in 100 anni. La lista lascia senza fiato e si scopre che Genova ha subito gravi fenomeni già altre volte (1970-1992-1993) e che, secondo dati contenuti in un rapporto di Legambiente, nel capoluogo ligure oltre 100 mila persone, 1 abitante su 6, vivono o lavorano in aree ad elevato rischio idrogeologico. Le piogge che hanno colpito l'area genovese in questo primo di novembre 2011 hanno raggiunto un picco di 300 mm in sole 13 ore nel bacino del Rio Fereggiano. Ma non è tutto. Nell'85% dei Comuni liguri in cui vi siano aree ad elevato rischio idrogeologico che hanno partecipato all'indagine “Ecosistema rischio” di Legambiente e Protezione Civile, sono presenti abitazioni nelle aree golenali, in prossimità di alvei e nelle zone a rischio di frane, e nel 46% dei casi sono presenti in tali zone interi quartieri. Addirittura nel 56% dei Comuni intervistati sono stati edificati fabbricati industriali in zone soggette al pericolo di frane e alluvioni.

In Toscana la scena, purtroppo, si ripete. E questa volta, sempre secondo la puntuale descrizione di Legambiente, il disastro in Lunigiana sempre nell'autunno di quest'anno non era solo annunciato, dice Legambiente, ma ben segnalato (e da ben 13 anni) nelle mappe del rischio idraulico dell'Autorità di Bacino del Fiume Magra. Aulla nuova è stata costruita occupando ben metà dell'alveo del Fiume Magra. Quindi gli allagamenti all'Isola d'Elba sempre negli stessi giorni dell'emergenza genovese e ligure.

E quest'anno corrono anche i 60 anni dall'alluvione del Polesine.

Poi la storica alluvione di Firenze (4 novembre 1966), quindi Versilia (19 giugno 1996), Sarno (il 5 maggio del 1998) Soverato (9 settembre 2000), Giampileri Superiore e provincia di Messina (1 ottobre 2009), vicentino e padovano (1-2 novembre 2010). Solo per citare alcuni tra gli eventi di maggior impatto e drammaticità.

Una sequenza destinata a replicarsi se gli scienziati ci dicono che gli eventi estremi sono destinati ad aumentare. E l'Italia ovviamente non è immune.

Nel mondo solo negli ultimi 12 mesi, inondazioni in Australia, in Thailandia e in Brasile, con centinaia di vittime; alluvioni nello Sri Lanka e in Algeria; i tifoni che ad ottobre hanno ucciso 100 persone nelle Filippine o ancora la serie di tornado che ad aprile si sono abbattuti nel sud degli Stati Uniti, con un bilancio di oltre 300 vittime, il più grave della storia USA dal 1925.

Dall'altra parte però il Corno d'Africa con una grave siccità che mette a dura prova soprattutto i bambini.

Sembrirebbe che la natura stia alzando la voce per farsi sentire, che voglia dirci qualcosa che ancora l'uomo non è in grado di capire.

Gli eventi estremi ci hanno messo infatti di fronte a un nuovo vocabolario al quale dovremmo abituarci presto se non vogliamo proseguire a registrare altre date e altri morti.

Si parla di *flash floods*, alluvioni lampo, che, come quella di Genova, hanno portato via vite, anche di bambini, macchine, attività commerciali tirate su per un'intera esistenza. Ma si parla anche di città "resilienti", cioè in grado di resistere ad alluvioni, ondate di calore, nevicate eccezionali.

Sì, ma resistenti come? Ecco la sfida, l'unica sfida che dobbiamo affrontare con urgenza.

È su questo che la scienza sta puntando l'attenzione. Il mondo dell'informazione ancora sembra lontano da questi temi, i decisori ancora di più.

Ma il mondo chiama a una svolta. Adattamento e resistenza sono le due nuove categorie che devono entrare nelle politiche delle singole amministrazioni per riprogettare le città, i nuclei più esposti ai rischi del clima futuro e dove vivrà il 75% dei 9,3 miliardi di popolazione mondiale al 2050.

World View



Nazioni Unite: il 2012 dedicato alle imprese cooperative, oltre che all'energia sostenibile

Le Nazioni Unite, con la Conferenza di Rio+20, dedicano l'anno 2012 allo sviluppo sostenibile e alla *green economy* nei suoi multiformi aspetti, dunque anche come grande opportunità per uscire dalla crisi economica mondiale. Dopo aver proclamato il 2012 anno dell'energia sostenibile e accessibile a tutti, il 31 ottobre scorso a New York, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha lanciato il 2012 anche come anno internazionale delle imprese cooperative, con il motto: "Le imprese cooperative costruiscono un mondo migliore". Il presidente dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite Nassir Abdulaziz Al-Nasse, nell'aprire i lavori, ha posto l'accento sul ruolo che hanno le imprese cooperative nell'integrazione sociale, nella

creazione di posti di lavoro e soprattutto nelle loro capacità di adattamento alle esigenze dello sviluppo armonico del territorio nel quale operano, preservandone nel contempo la cultura, le tradizioni e l'ambiente naturale. Nelle cooperative, impresari sono gli stessi lavoratori e la produzione di beni e servizi è commisurata alle esigenze sia di chi lavora, sia del territorio su cui queste imprese operano. Lo sviluppo è un diritto umano, come ha affermato la dichiarazione delle Nazioni Unite del 4 dicembre 1986. Ogni persona ha il diritto di partecipare e contribuire allo sviluppo economico, sociale e culturale, così come di usufruire dei benefici dello sviluppo, perché nello sviluppo si realizzano i diritti umani e le libertà fondamentali degli individui. Ebbene, l'attuale modello di sviluppo economico mondiale non è tale da realizzare questo diritto, come ha sostenuto il Direttore generale dell'ILO (l'Organizzazione Internazionale del Lavoro delle Nazioni Unite), Juan Somavia. Lo sviluppo economico attuale, infatti, ha aumentato le disuguaglianze e le iniquità e alimenta un crescente senso di emarginazione sociale per tanti popoli. La

disoccupazione è in crescita in tutto il mondo, i posti di lavoro diminuiscono nonostante la popolazione aumenti, la qualità del lavoro di chi è occupato è in una generale fase di degrado e, con la crisi economica, si sta profilando una crisi ancor più grave, quella dello sviluppo umano, soprattutto nei paesi in via di sviluppo.

L'anno internazionale delle imprese cooperative rappresenta l'opportunità per dimostrare che l'integrazione sociale, la creazione di posti di lavoro, la dignità del lavoro e l'equità tra i lavoratori possono essere raggiunte con una economia basata sulle imprese cooperative. Proprio per questo, le politiche di sviluppo economico devono sostenere prioritariamente il lavoro cooperativo, anche attraverso l'integrazione delle imprese cooperative e la formazione dei giovani al lavoro cooperativo. Come ha osservato Sha Zukang, il Sotto-segretario Generale delle Nazioni Unite per gli affari sociali e Presidente della prossima Conferenza Rio+20, il modello di imprese cooperative, se opportunamente incoraggiato e sostenuto anche dall'innovazione tecnologica e dal trasferimento di nuove tecnologie, rappresenta la base per lo sviluppo di una economia sostenibile, rispettosa dell'ambiente e capace di promuovere la crescita e l'integrazione sociale; in altre





parole, rappresenta una premessa concreta per lo sviluppo della *green economy* e la creazione di *green jobs*.

“Siamo perfettamente consapevoli dell'importanza delle imprese cooperative, così come delle piccole e medie imprese tipiche della nostra realtà italiana, per promuovere e attuare le iniziative internazionali sulla *green economy* e per le loro capacità di

promuovere i *green jobs*” – ha detto Marco Casagni, responsabile delle attività di trasferimento tecnologico dell'ENEA. “Il ruolo ENEA come Agenzia per lo sviluppo economico sostenibile è proprio quello di favorire in Italia l'avvio di una *green economy* e di una nuova formazione professionale, non solo attraverso la sostenibilità degli usi dell'energia, ma

soprattutto attraverso i processi di innovazione tecnologica delle piccole e medie imprese e il trasferimento dei risultati della ricerca, utilizzando anche la *Enterprise Europe Network* per assicurare il necessario apporto di conoscenze e competenze multidisciplinari utili per la transizione verso la *green economy*”.

(Paola Molinas)

Il World Energy Outlook 2011: improbabile l'attuazione degli obiettivi climatici

L'uso delle energie rinnovabili nel mondo è in crescita, ma non procede abbastanza velocemente da far sperare in un mondo futuro svincolato dalla dipendenza dei combustibili fossili. Il rapporto dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), *World Energy Outlook 2011*, pubblicato il 9 novembre scorso (<http://www.iea.org/weo/>), dedica particolare attenzione alla questione climatica, al fatto, cioè, che con le tendenze attuali il riscaldamento climatico globale potrebbe raggiungere i 3,5 °C e, dunque, non sarà possibile mantenere sotto i 2 °C il surriscaldamento del pianeta, come sancito negli accordi che tutti i paesi hanno sottoscritto in sede ONU (Copenhagen 2009 e Cancùn 2010). Non s'intravede, dice il rapporto, una svolta nelle tendenze energetiche mondiali ed è probabile che il mondo rimarrà bloccato nell'attuale sistema energetico inefficiente e ad alta intensità di carbonio almeno fino al 2035.

Dopo un rallentamento nel 2009, la domanda globale di energia primaria è tornata a crescere a ritmi del 5% per anno e, con essa, sono cresciuti i consumi di combustibili fossili, causando un'impennata record delle emissioni di anidride carbonica nel 2010. Nonostante molti paesi abbiano dato priorità al miglioramento dell'efficienza energetica, l'intensità energetica mondiale è peggiorata per il secondo anno consecutivo. Nel contempo, le preoccupazioni legate alla crisi economica e ai debiti sovrani degli Stati coinvolti hanno allontanato l'attenzione dei governi dalla politica energetica e limitato i loro strumenti di intervento.

Le analisi del rapporto IEA presentano tre scenari globali e molteplici casi di studio, compreso il ruolo della Russia nel mercato mondiale dell'energia. Lo scenario principale proposto in questa edizione è basato sulle “nuove politiche”, in cui si ipotizza che i recenti impegni assunti dai

governi siano attuati solo parzialmente, come sta, di fatto, avvenendo. Secondo questo scenario, basato sulle tendenze in corso, la domanda di energia crescerà in modo sostenuto, aumentando di un terzo tra il 2010 e il 2035, la maggior parte della quale verrà dai paesi non OECD ed in particolare da Cina, India, Indonesia, Brasile e Medio Oriente. Aumenterà, quindi, il consumo di tutte le fonti fossili, anche se la loro percentuale sulla domanda globale di energia primaria diminuirà leggermente, scivolando dall'81% nel 2010 al 75% nel 2035. Ma il gas naturale non subirà alcuna flessione, anzi un incremento nel mix energetico mondiale.

Sul versante degli usi dell'energia, il settore elettrico vedrà un rilevante ricorso alle fonti rinnovabili (soprattutto in campo idroelettrico ed eolico), che rappresenteranno il 50% della nuova capacità installata volta a soddisfare la crescita della domanda.

Viceversa, nel settore dei trasporti il consumo di prodotti petroliferi subirà un forte aumento a causa della domanda di trasporti delle



economie emergenti, dal momento che la crescita economica di questi paesi sostiene la domanda di mobilità di persone e merci. Questo è il settore più critico ai fini degli impegni di riduzione delle emissioni. Anche se saranno disponibili tecnologie motoristiche alternative che consumano petrolio in modo più efficiente o che non lo utilizzano affatto (ricorrendo a vettori energetici o combustibili alternativi), ci vorrà tempo prima che riescano a diffondersi su scala commerciale e a penetrare i mercati. Nel settore industriale le tecnologie CCS (cattura e sequestro del carbonio) saranno una delle principali opzioni di

abbattimento delle emissioni, ma solo nel decennio 2020-2030 raggiungeranno il loro picco di diffusione, concorrendo efficacemente al conseguimento degli obiettivi climatici mondiali. Infine, il ricorso alla fonte nucleare non potrà ridursi, nonostante Fukushima, perché rimane un'opzione necessaria per ridurre la domanda di combustibili fossili e per diminuire le emissioni di anidride carbonica. Non minore attenzione va rivolta ai sussidi. I combustibili fossili godono di sussidi valutati in oltre 400 miliardi di dollari l'anno. Ridurre tali sussidi aiuterà la transizione ad uno sviluppo a bassa intensità di carbonio. Lo sviluppo delle fonti rinnovabili, invece, ha

bisogno di un aumento di sussidi, per renderle competitive nei mercati elettrici. Il costoso ricorso a sussidi nelle rinnovabili, soprattutto nel prossimo futuro, trova giustificazione nei benefici a lungo termine che le rinnovabili apportano ai fini della sicurezza energetica e della protezione ambientale.

(Giuliano Ghisu)



Troppi sussidi ai combustibili fossili: sono un ostacolo alla *green economy*

Le recenti stime di OECD ed IEA condotte sui paesi industrializzati e a livello mondiale (<http://www.oecd.org/g20/fossilfuelsubsidies>) fotografano una situazione paradossale in cui, pur volendo ridurre le emissioni di anidride carbonica, svincolarsi dall'uso di combustibili fossili e agevolare la transizione verso una *green economy*, vengono favorite o addirittura aumentate le sovvenzioni per accrescere l'uso degli stessi combustibili fossili. Il censimento OECD-IEA ha analizzato, nei 24 paesi maggiormente industrializzati, circa 250 diverse forme di sovvenzioni che favoriscono l'uso dei combustibili fossili (agevolazioni fiscali, detassazioni, incentivi a produzione *energy intensive*, trasporti inquinanti ecc.); i risultati mostrano che in questi paesi i combustibili fossili

vengono finanziati per importi compresi fra i 45 e i 75 miliardi di dollari all'anno (media 2005-2010) di cui in media il 54% va al petrolio, il 24% al carbone e il 22% al gas naturale. Nel resto del mondo la situazione non è migliore. I sussidi ai combustibili fossili elargiti complessivamente nel mondo ammontano nel 2010 a ben 409 miliardi di dollari, una somma aumentata di 110 miliardi rispetto ai sussidi elargiti nel 2009. Maggior beneficiario è il petrolio con 193 miliardi e il gas naturale con 91 miliardi, ma indirettamente tutti i combustibili fossili impiegati per la produzione di elettricità, che viene pagata sottocosto dai consumatori di molti Paesi. I Paesi che sovvenzionano di più i combustibili fossili sono l'Arabia Saudita, l'Iran e i paesi in via di sviluppo emergenti. La crisi

mondiale sembrava aver diminuito questi sussidi nel 2008 e nel 2009, ma ora siamo di nuovo in corsa e di questo passo nel 2020 i finanziamenti ai combustibili fossili sotto forma di sussidi ammonteranno, secondo l'OECD, a 660 miliardi di dollari cioè allo 0,7% del prodotto lordo mondiale. Questa enorme massa di sussidi non aiuta nessuno a svincolarsi dai combustibili fossili e tanto meno incoraggia i paesi in via di sviluppo, dove la crescita della domanda di energia è più forte e dove le emissioni di CO₂ stanno crescendo più rapidamente, a intraprendere uno sviluppo pulito e a basse emissioni di anidride carbonica. Anche in Europa la situazione è contraddittoria. L'Europa si è impegnata, con la nota strategia del 20-20-20, a ridurre entro il 2020 le proprie emissioni del 20% e a aumentare l'uso delle energie rinnovabili del 20%, favorendo lo sviluppo di nuove tecnologie per l'efficienza energetica e diminuendo la sua dipendenza

dalle importazioni di combustibili fossili. Qualche paese virtuoso sta seguendo questa strada, tra cui soprattutto la Germania e la Danimarca; per il resto, se da una parte sono imposte limitazioni per rispettare gli impegni presi per ridurre le emissioni derivanti soprattutto dai combustibili fossili, dall'altra vengono elargiti sussidi che aumentano l'uso di combustibili fossili.

In questa situazione, poiché i combustibili fossili sono fortemente sovvenzionati, le energie rinnovabili non potranno mai diventare competitive, ma cosa ancora più importante, non potrà mai decollare una vera *green economy*. Secondo Achim Steiner, Direttore esecutivo dell'UNEP, l'Agenzia delle Nazioni Unite che è in prima linea per promuovere la conversione verso la *green economy*, per poter avviare rapidamente la transizione verso lo sviluppo sostenibile basterebbe eliminare i sussidi ai combustibili fossili nei due settori particolarmente beneficiari, quello della produzione di energia elettrica e quello del settore trasporti.

"L'eliminazione dei sussidi ai combustibili fossili sarebbe un forte segnale politico", ha detto Massimo Busuoli, responsabile della Rappresentanza ENEA di Bruxelles, in una recente audizione (19 ottobre 2011) presso il Parlamento Europeo, in relazione alla "*Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050* (COM(2011) 112 final), "e il reinvestimento delle somme risparmiate a favore di meccanismi di supporto allo sviluppo delle energie rinnovabili consentirebbe di recuperare, a costo zero, risorse finanziarie utili per accelerare il processo di transizione verso la *green economy*".

(Caterina Vinci)

Euro-obbligazioni contro la crisi economica per finanziare grandi progetti infrastrutturali

I grandi progetti europei infrastrutturali saranno finanziati da euro-obbligazioni emesse sul mercato finanziario da compagnie private in collaborazione con l'Unione Europea (UE) e la Banca Europea per gli Investimenti (BEI). Si chiameranno "*Project Bonds*". Lo ha annunciato, lo scorso 19 ottobre, il Presidente della Commissione Europea José Manuel Barroso, che ha anche lanciato la proposta di mobilitare 50 miliardi di euro, attraverso appunto i *Project Bonds*, per realizzare i grandi progetti infrastrutturali nei trasporti, nel sistema delle reti elettriche e nelle reti telematiche. Il budget di 50 miliardi di euro sarà suddiviso in tre settori: 31,7 miliardi di euro per potenziare le infrastrutture di trasporto europee, 9,1 miliardi di euro per le infrastrutture energetiche trans-europee e 9,2 miliardi di euro per le reti a banda larga veloce e per i servizi digitali pan-europei.

L'iniziativa dei *Project Bonds* europei risale al 7 settembre 2010 quando fu proposta dallo stesso Presidente Barroso in occasione della presentazione dello "Stato dell'Unione" al Parlamento Europeo, e dovrebbe diventare pienamente operativa a partire dal 2014, quando sarà incorporata nel piano "*Connecting Europe Facility* (CEF), piano ancora da approvare e da finanziare con un fondo di investimento proveniente dal bilancio UE 2014-2020. Ora, però, il Presidente Barroso, dopo una pubblica consultazione

effettuata dalla Commissione Europea da cui è emerso un largo consenso all'iniziativa, intende mettere in atto per il biennio 2012-2013 una "fase pilota" per sperimentare concretamente i *Project Bonds* europei.

Per la fase pilota saranno utilizzati fino a 230 milioni di euro del bilancio attuale per arrivare, insieme con il settore privato, a circa 4,5 miliardi di euro. La sperimentazione sarà basata sulle esperienze acquisite dal *Loan Guarantee Facility for Trans-European Networks Transport* e dal *Competitiveness and Innovation policy*, e riguarderà inizialmente un numero limitato di progetti (10) che saranno selezionati tra quelli che si trovano in uno stadio avanzato di sviluppo e finanziamento. A partire dal 2014, i *Project Bonds* europei, una volta messi a punto dopo un'attenta valutazione della fase pilota, potranno essere estesi ad altri progetti di infrastrutture quali quelle sociali, quelle riguardanti le rinnovabili e quelle per le attività spaziali.

Il meccanismo di finanziamento si baserà sul principio della suddivisione del debito per aumentare l'affidabilità dei "bonds" emessi. In pratica, il debito sarà composto da un "debito senior" finanziato dal settore privato, e da un "debito junior o subordinato" finanziato dall'Unione Europea e dalla BEI, che si accolleranno parte dei rischi del "debito senior". Questa suddivisione permetterà di fornire dall'Unione Europea e dalla BEI due tipi di garanzie: garanzie fino al 20% del debito senior finanziato dai privati oppure le garanzie offerte dal debito junior che sarà finanziato direttamente dalla UE e dalla BEI. In questo modo, la UE diventerebbe proprietaria delle infrastrutture e, con la loro realizzazione, gli investitori

pubblici e privati avrebbero concrete garanzie. Inoltre, potrà essere aumentato il flusso di cassa e la capacità di rimborsare il debito senior, a cui sarà data la priorità, mentre il debito junior, in quanto subordinato, sarebbe rimborsato per ultimo assieme ai guadagni da distribuire agli azionisti. Infine, questo meccanismo di finanziamento permetterà di aumentare il *rating* del debito senior che si accollano i privati, giacché, con le garanzie di base per i creditori offerte dalla UE e dalla BEI, saranno certamente ridotti i rischi di insolvenza sul “debito senior”. L’iniziativa dei *Project bonds* è stata accolta con molto favore da tutti i soggetti pubblici e privati interessati alla realizzazione delle grandi infrastrutture europee, poiché intende, tra l’altro, integrare i diversi investimenti finanziari e promuovere una nuova categoria di titoli sul mercato dei capitali che agevola l’accesso al credito e che favorisce la cooperazione tra Enti pubblici e privati interessati ai progetti infrastrutturali. Tuttavia, l’iniziativa dei *Project Bonds* presenta, secondo gli esperti, ancora alcuni punti da chiarire, prima di poter essere attuata nella fase pilota. Si tratta in particolare delle modalità di selezione dei progetti da finanziare, della minimizzazione dei rischi a carico delle istituzioni europee e delle priorità da considerare nel bilancio dei costi e dei benefici sociali tra le diverse infrastrutture da realizzare. Il Presidente della Commissione Europea José Manuel Barroso ha invitato il Consiglio Europeo e il Parlamento a esaminare l’iniziativa dei *Project Bonds* come una priorità e ad adottare il più presto possibile la fase pilota, che oltre ad essere una sperimentazione è anche un’opportunità per rilanciare la crescita e lo sviluppo europeo in questa fase di crisi economica.

(Valerio Abbadessa, Federico Abruzzini)

Su sviluppo e ambiente conclusioni deludenti al G-20 di Cannes

Il summit dei G-20, vale a dire dei 20 paesi mondiali che rappresentano l’85% del prodotto mondiale lordo, si è tenuto quest’anno a Cannes (Francia) dal 3 al 5 novembre 2011. Si trattava del summit conclusivo dell’anno di presidenza francese, dopo le 5 riunioni ministeriali tematiche tenute in Francia fra febbraio e ottobre 2011 su questioni quali i mercati finanziari, l’economia, il lavoro, l’occupazione e l’agricoltura. Il summit conclusivo di Cannes aveva 20 temi in discussione su cui decidere o quanto meno indicare strategie di attuazione. I temi riguardavano sia le questioni economiche e finanziarie, sia le questioni ambientali, sia le questioni sociali, sia, infine, gli aiuti ai paesi più poveri (vedasi: <http://www.g20-g8.com/g8-g20/g20/english/the-2011-summit/the-summit-by-theme/the-cannes-summit-what-outcomes.1558.html>). Ebbene, nonostante la dichiarazione finale elenchi argomenti quali la crescita verde, la *green economy* e lo sviluppo di *green jobs*, lo sviluppo di energia pulita e di tecnologie di efficienza energetica, la lotta contro i cambiamenti climatici e la protezione dell’ambiente marino, in realtà tutta l’attenzione si è concentrata sulle questioni economiche e finanziarie, e neppure tutte quelle in agenda, ma solo quelle connesse all’attuale crisi economica mondiale, al ruolo del Fondo monetario Internazionale in questa crisi e alle tensioni del mercato finanziario causate nell’area dell’euro dai rischi dei titoli di stato legati al

debito sovrano, soprattutto di Italia e Grecia.

Argomenti quali il rilancio dello sviluppo sostenibile, il blocco delle speculazioni finanziarie sui prodotti alimentari, gli investimenti in agricoltura per combattere la fame nel mondo, la lotta contro i disastri ambientali, gli aiuti umanitari al corno d’Africa flagellato da siccità e carestie non sono stati presi neanche in considerazione, salvo fugaci e generiche declamazioni di buona volontà per risolvere i problemi. La lotta ai cambiamenti climatici, che in precedenti riunioni dei G-20 era stata dichiarata una priorità anche come strumento non solo per promuovere lo sviluppo sostenibile ed a basse emissioni di anidride carbonica nei paesi industrializzati, ma anche per sostenere uno sviluppo pulito nei paesi in via di sviluppo, appare declassata ad argomento secondario e viene rimandata ai prossimi vertici dei G-20, anche se si ribadisce la volontà di giungere ad azioni concordate ed efficaci. L’impegno assunto a Copenhagen dai paesi industrializzati per costituire un *green climate fund* con 30 miliardi per anno nel periodo 2010-2012 e di 100 miliardi per anno dal 2013 al 2020, per incentivare la *green economy* nei paesi in via di sviluppo, rimane ancora sulla carta, a causa della crisi mondiale che non permette ai paesi industrializzati di mettere a disposizione fondi aggiuntivi. Eppure, la World Bank e l’OECD avevano condotto uno studio, presentato a Cannes, che propone di ridurre, fino ad eliminarli, i sussidi ai combustibili fossili che ammontano ad oltre 400 miliardi di dollari all’anno per recuperare, a costo zero, le risorse finanziarie necessarie ad alimentare il *green climate fund*. In realtà, nel documento finale dei G-20 compare una risposta parziale al problema del finanziamento del *green climate fund*. Il G-20, infatti, prende atto



della necessità di istituire una tassa sulle transazioni finanziarie (la *Tobin tax*) che potrà in futuro essere introdotta, non necessariamente a livello globale, ma anche soltanto da gruppi di paesi. E la Commissione Europea ha deciso di mettere in agenda, per il prossimo Consiglio europeo del gennaio 2012, la questione della *Tobin tax*. Tuttavia, questa tassa, pensata inizialmente per recuperare risorse finanziarie utili ad aiutare i paesi in via di sviluppo verso una crescita verde, ora, invece, appare paradossalmente utile per aiutare i paesi industrializzati in difficoltà, come l'Italia, soprattutto se la crisi economica mondiale dovesse perdurare. È stato calcolato dalla presidenza francese, interessata prioritariamente ai temi dell'agricoltura, che con una imposizione minima (al di sotto dell'1%) si potrebbero frenare le speculazioni finanziarie sui prodotti alimentari e si fornirebbero risorse prioritarie per finanziare l'agricoltura e la sicurezza alimentare nei paesi in via di sviluppo. Sul problema più generale della sicurezza alimentare, i G-20, però, non hanno preso alcun impegno per regolamentare i mercati internazionali dei prodotti agroalimentari e per combattere la volatilità dei prezzi determinata soprattutto dalla produzione di biocarburanti, in concorrenza con la produzione agroalimentare. Infine, sui problemi dello sviluppo sostenibile, della *green economy* e della lotta contro i cambiamenti climatici, rimangono solo dichiarazioni di principio e generiche affermazioni di buona volontà, nonostante il 2012 sia l'anno della Conferenza di Rio+20 sullo sviluppo sostenibile e la *green economy*, e nonostante alla fine del 2012 scada il protocollo di Kyoto, senza concrete prospettive di lotta contro i cambiamenti climatici dopo il 2012.

(Paola Molinas)

La tecnologia eolica italiana arriva negli USA con il vento in poppa

Accelerare il ricorso alle tecnologie eoliche è uno degli obiettivi chiave fissato dal *Department of Energy's Wind and Water Power Program* del governo americano. Promuovendo il ricorso all'energia eolica, gli Stati Uniti puntano a sviluppare l'economia regionale, avere più opzioni per la generazione di potenza elettrica, proteggere l'ambiente, accrescere la sicurezza sulla disponibilità di energia per la nazione. Secondo un rapporto del National Renewable Energy Laboratory del DoE (Assessment of Offshore Wind Energy Resources for the United States) gli Stati Uniti avrebbero una capacità di generare potenza elettrica da fonte eolica pari a massimo 4.150 GW, di cui il 30% negli Stati della costa orientale. Per capire di che si tratta, si consideri che nel 2008 la capacità di generazione complessiva di potenza elettrica degli USA, da tutte le fonti energetiche, ha superato di poco i 1.000 GW. Nel presentare il proprio programma di sviluppo per l'energia eolica (<http://www1.eere.energy.gov/wind/pdfs/51240.pdf>), il DoE (il Ministero dell'Energia americano) indica, come obiettivo ragionevole, che l'energia dal vento possa contribuire per il 20% alla produzione di potenza elettrica entro il 2030. In effetti, nel 2009 e nel 2010 il settore eolico ha visto investimenti per circa 27 miliardi di dollari e ha dato lavoro a circa 85.000 persone. Il 25% della nuova potenza elettrica installata nel 2010 negli USA è costituita da impianti eolici.

Lo Stato del New Jersey (costa orientale), che nell'ambito del programma decennale "2011 Energy Master Plan" sta attuando diverse iniziative con l'ambizioso obiettivo di ottenere entro il 2030 il 30% della produzione da fonti rinnovabili, è impegnato come tutti gli altri Stati dell'Unione nell'incrementare la produzione da eolico. In questo mercato in rapida espansione è presente anche l'impresa italiana, evidente segno che la nostra tecnologia è competitiva nel mondo e viene esportata. Su incarico del municipio di Bayonne infatti verrà installato, sulla riva dell'Hudson, circa sette chilometri a sud di New York, una turbina eolica con una potenza nominale di 1,5 MW. L'energia pulita verrà messa a disposizione all'*Oak Street Pumping Station*, una stazione che combina la depurazione per acque meteoriche e lo scolo della città di Bayonne. Alcuni dettagli sulle caratteristiche della macchina costruita in Italia definiscono la





qualità del prodotto. La turbina è del tipo *direct-drive*, ossia con accoppiamento diretto tra rotore e generatore elettrico, una tecnologia avanzata finalizzata ad accrescere l'affidabilità della macchina e ridurre i costi di manutenzione. Particolarmente innovativo inoltre è il generatore elettrico, del tipo sincrono a magneti permanenti con parte attiva segmentata. In questa particolare soluzione gli avvolgimenti statorici ed i poli magnetici rotorici sono realizzati in segmenti indipendenti, estraibili e sostituibili dall'interno della navicella anche con generatore montato, permettendo una sensibile riduzione dei costi di intervento in caso di guasto.

La storia di questo successo italiano merita un'ultima considerazione. La competitività non è un dato acquisito una volta per tutte, ma un valore che va continuamente affermato, in particolare in un settore quale quello dell'energia eolica, in continua e rapida evoluzione. A tale proposito, è da notare che le risorse eoliche stimate per Stato del New Jersey sono localizzate soprattutto nella fascia costiera ed offshore, ed in tale direzione si muoverà lo sviluppo dell'energia eolica nella regione: questa particolare situazione è l'ulteriore conferma dell'importanza dello sviluppo della tecnologia offshore per il settore eolico in cui è coinvolta anche l'Italia. Infatti, la possibilità di offrire soluzioni collaudate a costi vantaggiosi farà la differenza tra i *competitors* per l'accesso a questo mercato, previsto in grande crescita nel prossimo futuro: una sfida ed un'opportunità per il nostro sistema industriale.

(Giacomo Arsuffi, Antonino Dattola)

Pellicola superelastica per applicazioni mediche, robotiche e computazionali

Usando nanotubi di carbonio compressi come una molla, un team di ricercatori della Stanford University ha sviluppato un sensore trasparente, sottile come una pelle, ma soprattutto estremamente elastico. I risultati ottenuti sono stati recentemente pubblicati su *Nature Nanotechnology* (23 October 2011, doi: 10.1038/nnano.2011.184). Il sensore, costituito da un nuovo materiale composto da un substrato flessibile polimerico (PDMS) ed elastomero al silicone (EcoFlex) e da un film spray di nanotubi di carbonio a parete singola, può essere stirato per oltre il doppio delle sue dimensioni in qualsiasi direzione, senza perdere le sue caratteristiche, e ritornare alle sue dimensioni originali una volta eliminata la forza di stiramento. In pratica, questo sensore può sentire la debole forza generata da un semplice pizzicotto ma può misurare, senza subire deformazioni, anche pressioni generate da diverse tonnellate di peso, come quella di un elefante che sta in equilibrio su un piede solo.

L'innovazione di tale sensore superelastico è la combinazione tra materiali primari con proprietà specifiche per ottenere materiali innovativi avanzati, con caratteristiche di elevata conduzione elettrica, alta trasparenza ottica e notevole flessibilità. I nanotubi di carbonio, come materiali innovativi

avanzati, conferiscono al composito conducibilità elettrica, prestazione elastica e robustezza meccanica, mentre il substrato polimerico, come materiale primario, garantisce trasparenza ottica e flessibilità.

Molteplici i settori di impiego di questa innovativa pellicola:

robotica, sensi artificiali, tecnologie abilitanti per persone non autosufficienti, sensori indossabili, interfaccia uomo-macchina.

“Questa interessante applicazione dei nanomateriali – ha detto Michele Penza del Centro di ricerche ENEA di Brindisi, esperto di nanomateriali per sensori e sistemi nano tecnologici – si integra nelle attività che l'ENEA svolge a Brindisi sui nuovi sensori per le applicazioni funzionali di monitoraggio ambientale, efficienza energetica, sicurezza domestica e controllo odorigeno”. “Tuttavia – ha concluso Michele Penza – queste applicazioni, prima di essere utilizzate, devono essere coniugate anche con gli aspetti tossicologici dei nano materiali, aspetti ancora da valutare ed esplorare totalmente”.

(Daniela Bertuzzi)

Le micro particelle di plastica inquinano i mari del mondo: tutta colpa delle lavatrici

Un gruppo di scienziati irlandesi, britannici ed australiani ha pubblicato in *preview on-line* sul *Journal of Environmental Science & Technology* (doi: 10.1021/es201811s) i risultati di una ricerca che ha interessato le spiagge di 18





aree costiere, di tutti i continenti dal polo all'equatore, dove è stato osservato un fenomeno di accumulo di microscopiche particelle di plastica delle dimensioni inferiori al millimetro. Queste microparticelle si trovano depositate in tutte le spiagge esaminate nelle diverse parti del mondo, indipendentemente dalla latitudine, ma gli accumuli maggiori si trovano nelle vicinanze di aree densamente popolate. Le acque e gli oceani vengono così inquinati da questa "microplastica", costituita da poliesteri e da materiali acrilici. L'analisi della composizione chimica e delle proporzioni relative fra due differenti tipi di microparticelle rilevate, ha portato alla conclusione che questo tipo di inquinamento marino è causato dalle microfibre della comune biancheria e dagli indumenti normalmente usati dalla popolazione.

I ricercatori hanno così scoperto che le responsabili di questo inquinamento sono le comuni lavatrici domestiche, che convogliano le microparticelle nelle acque di scarico. Date le loro piccole dimensioni, questi nuovi inquinanti riescono ad arrivare facilmente al mare, superando perfino i sistemi di depurazione delle acque reflue urbane. Un esperimento compiuto su un lavaggio di indumenti ha dimostrato che ogni singolo capo di biancheria produce in ogni lavaggio circa 1900 microfibre, costituite da poliesteri e da materiale acrilico, che si frantumano in altrettante microparticelle.

L'accumulo di questo microscopico materiale di plastica lungo le spiagge ha raggiunto in

alcune aree costiere livelli tali da costituire ormai un rischio per la salute umana, oltre che per gli equilibri ambientali marino-costieri e per gli ecosistemi pelagici. Queste microparticelle, infatti, entrano facilmente nella catena alimentare, poiché vengono ingerite da pesci e da altri organismi marini, si accumulano sempre di più nel corpo degli animali lungo la catena trofica e finiscono poi nel piatto di chi si nutre di pesce o di altri prodotti ittici.

Gli scienziati raccomandano di prevenire l'intensificazione di questo fenomeno di inquinamento marino dotando le lavatrici di sistemi di filtraggio idonei, per impedire che tali microparticelle finiscano nelle acque di scarico e adeguando i sistemi di depurazione delle acque reflue con sistemi capaci di eliminare le microscopiche particelle in sospensione.

"Non sono ancora ben conosciuti gli effetti tossicologici di queste microparticelle e più in generale di micro e nanoparticelle che possono essere inalate o ingerite" - ha affermato Francesca Pacchierotti, esperta di tossicologia dell'ENEA - "siamo davanti ad un nuovo tipo di inquinamento, un problema che diventerà sempre più serio in futuro. Per questo l'ENEA, nel suo ruolo di Agenzia per lo sviluppo economico sostenibile, in linea con la comunità scientifica mondiale e con l'Unione Europea, ha già avviato studi e ricerche sull'interazione dei micro e nanomateriali con le cellule e gli organismi viventi, per capire i processi tossicologici e valutare le conseguenze sulla salute umana."

(Caterina Vinci)

Una svolta sui materiali per celle solari stampabili

I dispositivi fotovoltaici basati su materiali organici possono essere fabbricati con processi relativamente semplici e sono molto studiati nei laboratori universitari e industriali per le buone possibilità di innescare la produzione di massa di dispositivi economici e flessibili. Le celle fotovoltaiche organiche sono meno efficienti rispetto a quelle al silicio, ma molto più economiche da produrre. I materiali organici - i polimeri oppure le cosiddette "piccole molecole" costituite da composti organici di basso peso molecolare - possono essere preparati sotto forma di inchiostri e "stampati" su ampie superfici, sono leggeri e flessibili e questo li rende promettenti per molte applicazioni.

Fino ad ora la maggior parte delle attività di ricerca era stata focalizzata sullo sviluppo di nuovi materiali polimerici. Tuttavia, per una data struttura polimerica le variazioni di produzione da partita a partita nella solubilità, nel peso molecolare, nella polidispersità e purezza possono portare a differenti proprietà e prestazioni. Al contrario, gli strati fotovoltaici ottenuti con "molecole piccole" possono avere ben definite caratteristiche, ottenute attraverso protocolli di fabbricazione più riproducibili.

Ricercatori dell'Università della California, tra cui il premio Nobel per la chimica nel 2000 per la scoperta e lo sviluppo dei polimeri conduttori, Alan J. Heeger, hanno sviluppato un nuovo materiale organico del tipo a "piccola molecola" (Solution-processed

small-molecule solar cells with 6.7% efficiency, *Nature Materials Letter*). I ricercatori hanno iniziato con l'ottimizzare le proprietà elettriche, così che la molecola fosse in grado di sopportare le elevate correnti e tensioni necessarie per tirar fuori potenza elettrica da una cella solare. Particolarmente delicata è stata la messa a punto di un tipo di molecola con cui poter realizzare film sottili di buona qualità: infatti, mentre i polimeri sono lunghi e si avviluppano facilmente per dare luogo a una pellicola stabile, con le

molecole piccole si incontrano maggiori difficoltà. Con la nuova molecola disegnata è stata costruita una cella che converte il 6,7% della luce incidente e i ricercatori ritengono si poter raggiungere il 9% entro il prossimo anno. Secondo Pasquale Morvillo, del Centro ENEA di Portici, esperto di celle solari organiche, l'articolo di Heeger rappresenta un'innovazione di processo, perché nelle celle organiche basate su piccole molecole, lo strato attivo è normalmente realizzato tramite processi di

evaporazione in vuoto che non sono economici e non permettono alte rese di produzione, in particolare non consentono la produzione tramite processi di stampa in continuo. L'utilizzo di piccole molecole processabili in soluzione estende la classe di materiali organici potenzialmente idonei a migliorare tali dispositivi. Anche nel Centro ENEA di Portici sono in corso attività di ricerca sulle celle fotovoltaiche organiche; in particolare le attività sono incentrate nello studio e

Batterie al litio: il sogno boliviano

Salar de Uyuni, così si chiama un gigantesco lago posto sull'altipiano Andino della Bolivia meridionale a 3650 metri di quota, che ha una caratteristica molto particolare: è ricoperto da una crosta di sale che forma una pianura bianca perfettamente levigata la cui estensione supera i 10 mila km². Sotto la crosta di sale, spesso da un minimo di qualche decina di centimetri ad alcuni metri, vi sono le acque del lago che hanno una profondità media compresa fra 2 e 20 metri. Le acque sono in realtà una salamoia composta da una soluzione satura di vari sali del cloro, soprattutto cloruro di sodio e di magnesio, ma anche il cloruro di litio ad alta concentrazione (attorno allo 0,3 - 0,4%). Proprio per questo, il lago del Salar de Uyuni rappresenta la più grande riserva al mondo di litio, il prezioso ingrediente per le batterie agli ioni di litio. Secondo le stime approssimative degli esperti del Servizio Geologico degli Stati Uniti (US Geological Survey), nel miscuglio di sali presenti nel lago Salar de Uyuni, la

quantità di litio dovrebbe ammontare ad una decina di milioni di tonnellate e, in ogni caso, si tratta di quantità che dovrebbero aggirarsi tra il 50 ed il 70% del totale delle riserve mondiali di litio. Nel numero del 18 novembre scorso (vol. 334, pagg. 896-897), la rivista scientifica *Science* evidenzia il litio come metallo strategico, ma mostra principalmente alcune contraddizioni che sono sorte in Bolivia circa lo sfruttamento di questa grande risorsa. I primi tentativi di sfruttamento del litio erano iniziati tra il 1980 ed il 1990, con le esplorazioni effettuate nel lago Salar de Uyuni da parte di alcune compagnie minerarie internazionali, ma le attività a livello industriale non erano mai partite per la forte opposizione delle popolazioni locali. Dopo le elezioni del 2005 di Evo Morales a presidente della Bolivia, il governo boliviano ha formalmente manifestato la sua opposizione all'ingerenza di imprese straniere per lo sfruttamento delle materie prime boliviane, compreso l'accesso all'estrazione del litio del Salar de Uyuni. La Bolivia, infatti, intende puntare su se stessa e procedere per proprio

conto, anche per sviluppare adeguate capacità scientifiche, tecnologiche ed industriali proprie, senza subire una sorta di colonialismo tecnico industriale straniero. E così, nel 2008, il governo boliviano ha affidato il progetto pilota di sfruttamento del litio ad un ingegnere di origine belga, Guillaume Roelants, ma che da 30 anni vive in Bolivia ed è ormai cittadino boliviano, il quale ha già studiato a fondo questo lago da molto tempo. Infatti, già nel 1989 quest'ingegnere aveva tentato, senza esito, di farsi finanziare dal governo belga uno studio di fattibilità per l'estrazione del litio che, allora, aveva maggiori utilizzazioni nell'industria dei materiali ceramici e nella produzione di leghe di alluminio per l'industria aeronautica. Il progetto pilota boliviano, finanziato con 5,7 milioni di dollari, deve innanzitutto valutare la qualità del litio, identificare le modalità di estrazione e avviare le prime fasi sperimentali di sfruttamento della salamoia del lago per ricavarne carbonato di litio. Poi, il progetto pilota aveva previsto, già a partire dal corrente anno, l'inizio della fase operativa di tipo industriale, attraverso una



nella valutazione attraverso idonei modelli matematici, di nuovi materiali, così come nel miglioramento dell'architettura dei dispositivi e nella messa a punto di tecnologie di stampa. Il migliore risultato ottenuto in termini di efficienza di conversione (4%) è in linea con quelli riportati in letteratura utilizzando gli stessi materiali (miscela di politiofene e fullerene).

(Antonino Dattola)

Cicloni tropicali causati dalle attività umane: inquinamento o cambiamenti climatici?

Ssecondo una ricerca apparsa nel numero del 3 novembre di *Nature* (<http://www.nature.com/nature/journal/v479/n7371/full/nature10552.html>) effettuata da ricercatori della NOAA (l'Ente americano per l'atmosfera e gli

oceani), dell'Università della Virginia, dell'Università di California e dall'Istituto di Scienze e Tecnologie della Corea, l'intensificazione dei cicloni tropicali osservati nel periodo 1979-2010 nel Mar Arabico e, in genere, in tutta la parte settentrionale dell'Oceano Indiano è stato causato dall'inquinamento atmosferico ed in particolare dall'inquinamento da polveri nere, polveri incombuste provenienti dalla combustione di combustibili fossili e da altri inquinanti legati

Compagnia di Stato, per arrivare nel 2014 alla produzione di circa 30 mila tonnellate di carbonato di litio, un livello questo abbastanza vicino all'attuale produzione del Cile, che è il maggiore fornitore mondiale di litio. Ma, non è tutto. Per il governo boliviano questa è l'occasione per promuovere l'industrializzazione della Bolivia, ma soprattutto per sviluppare un'industria chimica capace di trattare tutta la filiera del litio: dall'estrazione, alla purificazione per ricavare il litio metallico, fino alla fase finale di produzione delle batterie a ioni di litio per le più diverse esigenze (automobili,

telefoni cellulari, orologi ed altri apparecchi elettronici). La situazione, però, nella fase di sperimentazione pre-industriale è apparsa ben diversa per i problemi che nel frattempo sono sorti. Le tecniche di estrazione utilizzate per ricavare il carbonato di litio presentano difficoltà non facilmente superabili, se non con tecnologie molto avanzate e molto costose di cui la Bolivia non dispone. Le operazioni in campo, oltre ad essere molto invasive del territorio (per la presenza di grandi piscine evaporative), sono ad alto impatto ambientale con consumi rilevanti di acqua e con produzione di rifiuti chimici tossici e pericolosi, in un'area che ha già scarsa disponibilità di acqua e che, per giunta, ha anche attività agricole ed attività turistiche. Sarebbe il caso, secondo il capo progetto Guillaume Roelants, di cercare una collaborazione internazionale, sia di tipo scientifico-tecnologica, sia di tipo industriale specialistico in questo settore, ma siccome la Bolivia ha deciso di andare avanti da sola, l'unica possibilità di collaborazione internazionale ammessa è stata quella della consulenza di una commissione scientifica con esperti stranieri,

che offre alla Bolivia assistenza volontaria. In queste condizioni – denuncia il capo progetto – le attività industriali avviate con il progetto pilota, nonostante la buona volontà e l'impegno profuso, stentano a svilupparsi adeguatamente, non disponendo né delle nuove tecnologie più avanzate, né di laboratori chimici attrezzati, né di personale specializzato. Se è giusto ed etico verso le popolazioni locali salvaguardare l'autonomia e la sovranità della Bolivia da una dipendenza tecnologica straniera o da uno sfruttamento iniquo delle risorse boliviane, è altrettanto giusto ed etico sforzarsi di trovare soluzioni responsabili e forme adeguate di collaborazione internazionale qualificata, senza la quale sarà difficile arrivare, almeno in tempi ragionevolmente contenuti, ad un'affermazione della Bolivia in un mercato globale molto competitivo ed in continua evoluzione. Secondo la rivista *Science*, il grande sogno della Bolivia di coprire tutta la filiera, dall'estrazione del litio fino alla produzione di batterie agli ioni di litio sempre più tecnologicamente avanzate, rischia di rimanere tale.

(Caterina Vinci)





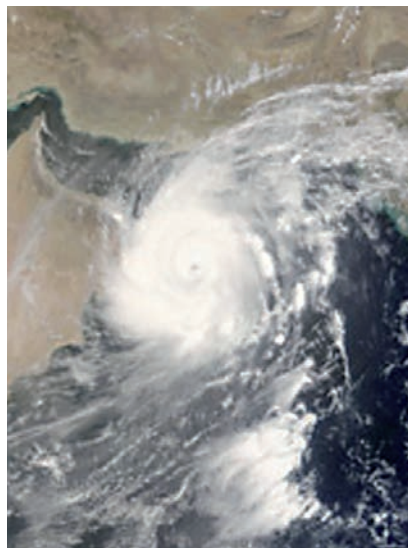
alle attività umane. In quell'area, infatti, staziona, ormai da oltre un decennio la famosa "nuvola marrone asiatica" che copre la parte meridionale dell'Asia fra il Pakistan, l'India e la Cina e che deriva dal traffico caotico e delle emissioni di un'industria molto inquinante dei Paesi in via di sviluppo ed emergenti di quell'area.

La formazione di un ciclone tropicale (come sono appunto gli uragani dell'Atlantico o i tifoni del Pacifico) richiede particolari condizioni: innanzitutto un forte riscaldamento delle acque oceaniche, poi, condizioni termogrometriche dell'atmosfera sovrastante le acque oceaniche favorevoli allo sviluppo di intensi moti verticali e, infine, condizioni anemometriche lungo la verticale tali da non bloccare l'intensificazione dei moti convettivi, che possono così svilupparsi fino a dar luogo al ciclone tropicale. Quando il Mar Arabico si riscalda intensamente durante l'estate boreale ed è, quindi, nelle condizioni adatte per innescare intensi cicloni tropicali, raramente però si verificano le altre condizioni necessarie sopradette. Infatti, in quello stesso nello stesso periodo dell'anno si sviluppa un'intensa circolazione monsonica che impedisce la formazione di cicloni tropicali.

La circolazione monsonica è determinata dal forte riscaldamento del continente asiatico rispetto all'Oceano Indiano, e genera di conseguenza forti venti che, nei bassi strati atmosferici, spirano dall'Oceano Indiano verso il continente asiatico e che, negli strati più alti dell'atmosfera spirano in direzione opposta, cioè dal continente asiatico l'Oceano Indiano. La forte variazione verticale della direzione

del vento (detta "shear" del vento) impedisce lo sviluppo di moti convettivi verticali, tanto che i cicloni tropicali sul Mar Arabico possono eccezionalmente formarsi, ma solo nella fase pre-monsoonica (fine primavera) o post-monsoonica (inizio autunno).

Il fatto che nel periodo 1979-2010 sia aumentata l'intensità dei cicloni tropicali sul Mar Arabico è attribuita dagli autori di questa ricerca, all'indebolimento della circolazione monsonica. E tale indebolimento è causato dal forte inquinamento atmosferico generato dalle attività umane inquinanti in India e nel sud dell'Asia, che generano la grande "nuvola marrone asiatica", spesso anche qualche chilometro, ampia fino a oltre una decina di milioni di km² e composta appunto da polveri



carboniose. Questa grande nuvola cattura l'energia solare, in parte assorbendola, in gran parte riflettendola verso l'alto e, in definitiva, impedendo alla radiazione solare di giungere al

suolo, che si scalda di meno. Il risultato è che la differenza di temperatura tra Oceano Indiano e continente asiatico diminuisce e, allo stesso tempo, si riduce anche l'intensità della circolazione monsonica, favorendo, così, le condizioni di sviluppo dei cicloni tropicali sul Mar Arabico. Per dimostrare questo processo, e, quindi, che l'inquinamento atmosferico è il vero responsabile che porta all'intensificazione dei cicloni tropicali, gli autori della ricerca hanno messo in correlazione le caratteristiche e l'intensificazione dell'inquinamento atmosferico sul sud dell'Asia, con l'intensificazione dei cicloni sul Mar Arabico e, avendo trovato positiva questa correlazione, concludono il loro lavoro raccomandando di ridurre le emissioni di polveri carboniose ed altri inquinanti atmosferici legati alla combustione dei combustibili fossili per ottenere rapidi miglioramenti della qualità dell'aria e per ridurre l'intensità dei cicloni tropicali sul mar Arabico, ripristinando anche le condizioni di circolazione atmosferica iniziali. Bisogna, però, prendere questi risultati con molta cautela. Probabilmente c'è anche un contributo dell'inquinamento atmosferico all'intensificazione dei cicloni tropicali sul Mar Arabico. Non bisogna, infatti, dimenticare che in questi ultimi decenni il riscaldamento delle acque dell'Oceano Indiano e dell'Oceano Pacifico occidentale è stato particolarmente intenso anche in conseguenza del riscaldamento climatico globale. Questo significa che l'energia immagazzinata negli oceani non è certamente un elemento secondario nei processi di intensificazione dei cicloni tropicali.

(Paolo Ruti)



Fukushima quasi come Chernobyl, ma non nelle modalità incidentali

Una nuova ricerca internazionale apparsa su *Atmospheric Chemistry and Physics*, a cura dell'Istituto Norvegese di Ricerche Atmosferiche, dell'Istituto centrale di Meteorologia e Geodinamica di Vienna, dell'Università di Vienna, dell'Università della Catalogna e della Columbia University di New York, (web: <http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/11/28319/2011/acpd-11-28319-2011.html>), i cui risultati erano stati anticipati dalla rivista scientifica *Nature* il 26 ottobre scorso, con un articolo sul sito web: <http://www.nature.com/news/fallout-forensics-hike-radiation-toll-1.9237>, ha cercato di determinare il cosiddetto “termine sorgente”, ovvero l'entità dell'incidente in relazione alle quantità di radioattività rilasciate complessivamente, anche se la valutazione considera solo due radionuclidi di riferimento. Per valutare le emissioni radioattive avvenute durante l'incidente nucleare di Fukushima, la ricerca è partita dai dati di radioattività misurati in Giappone, USA ed Europa (circa un migliaio) e ha ripercorso a ritroso i processi di trasporto e diffusione atmosferica e di deposito al suolo della cosiddetta “nube radioattiva” rilasciata durante l'incidente. Questo processo di ricostruzione a ritroso ha permesso di valutare le emissioni effettivamente avvenute, in base alla disponibilità dei dati ed alle possibilità di ricostruzione a posteriori degli avvenimenti mediante le mappe meteorologiche al suolo ed in

quota di quel periodo.

I ricercatori sono stati in grado di valutare le emissioni, ma con un maggior grado di affidabilità e di dettaglio solo quelle riguardanti Xe-133 (lo xenon-133 è un gas nobile radioattivo poco rilevante per gli effetti radiologici sanitari) e Cs-137 (il cesio-137 è un aerosol radioattivo particolarmente significativo per i suoi effetti radiologici sanitari).

I risultati ottenuti mostrano che sono stati emessi complessivamente:

- 16.700.000 (sedicimilioni e settecentomila) terabequerel (TBq) di Xe-133, un dato record: è, infatti, il più alto valore di rilascio radioattivo in atmosfera mai riscontrato nella storia dell'uso pacifico dell'energia nucleare. Questo dato corrisponde a circa 2,5 (due volte e mezzo) le emissioni di Xe-133 avvenute a Chernobyl. Essendo lo Xe-133 un gas nobile ed altamente volatile non ha comportato conseguenze di contaminazione radioattiva alla popolazione per inalazione e per ingestione, ma solo limitate conseguenze di irraggiamento esterno nella fase iniziale dell'incidente ed alle brevi distanze. Questo gas, infatti, è stato rilasciato nella massima parte nei primi giorni (tra il 11 e il 15 marzo 2010) e si è poi disperso rapidamente, soprattutto nella media ed alta atmosfera, senza alcuna conseguenza sanitaria alle medie lunghe distanze dal Giappone. Pur non essendo un radionuclide critico per gli effetti sanitari, tuttavia è un radionuclide molto indicativo sull'entità dell'incidente avvenuto.
- 36.000 (trentaseimila) terabequerel (TBq) di Ce-137. Questo dato corrisponde al 42% delle emissioni di Cs-137 avvenute a Chernobyl. Il Cs-137, che non è un gas e che è

soggetto a depositarsi al suolo per sedimentazione o attraverso la pioggia è, invece, un radionuclide di rilevanza sanitaria, perché ha una vita media di 30 anni e, se ingerito o inalato oltre certi limiti, comporta serie conseguenze di radiocontaminazione. Secondo le stime il 19% di emissioni di Cs-137 sono ricadute al suolo, direttamente o attraverso la pioggia, sul territorio giapponese, mentre il restante 81% al di fuori dei confini giapponesi, ma si è depositato prevalentemente sulle acque marine (dal momento che la nube radioattiva nella sua fase iniziale – a maggior concentrazione di Cs-137 – ha attraversato l'Oceano Pacifico e, prima di arrivare in Europa, anche l'Oceano Atlantico. Solo il 2% del Cs-137 emesso si è depositato al suolo in America o in Europa. La maggior parte delle emissioni di Cs-137 sono avvenute tra il 12 ed il 19 marzo 2010 (ma soprattutto attorno al 14-15 marzo e attorno al 19 marzo). Le emissioni sono state molto minori nei giorni successivi al 20 marzo.

Per lo I-131 (iodio-131, un altro aerosol particolarmente significativo per i suoi effetti sanitari sulla tiroide) si possono fare delle valutazioni indirette. Se si considera il rapporto I-131/Cs-137, che tiene conto delle due diverse abbondanze presenti all'atto dell'incidente (valori noti) e dei diversi tempi di decadimento radioattivo dello I-131 (8 giorni) rispetto al Cs-137 (30 anni), si ricava che probabilmente le emissioni di I-131 sono state complessivamente di circa 20 volte superiori a quelle del Cs-137, cioè pari a circa 720.000 TBq, anche se questo dato non è stato verificato dalla ricerca.

Tali valutazioni, che sono considerate rappresentative



dell'incidente avvenuto a Fukushima, mostrano che l'incidente nucleare giapponese è stato, come entità complessiva, paragonabile a quello di Chernobyl anche se avvenuto in modi molto diversi sia come tempi (quello di Chernobyl in una decina di giorni, quello giapponese fino ad una trentina di giorni), sia come tipologia (quello di Chernobyl un'unica grossa esplosione, quello giapponese con diverse minori esplosioni e modalità di rilascio).

(Emilio Santoro)

Fukushima e Chernobyl: la difficoltà di un paragone

Federico Rocchi e Giacomo Grasso,
ENEA - Unità Tecnica Metodi per la
Sicurezza dei Reattori e del Ciclo del
Combustibile

La nota **Fukushima quasi come Chernobyl, ma non nelle modalità incidentali** fa riferimento all'articolo di A. Stohl *et al.* così come ripreso e diffuso da *Nature* prima ancora della sua pubblicazione definitiva sulla rivista *Atmospheric Chemistry and Physics*, dunque prima che fosse ultimata la fase di *peer-review* della ricerca, passaggio questo alla base del processo stesso di validazione della produzione scientifica. I risultati proposti da Stohl *et al.* sembrerebbero indicare che il Termine Sorgente dell'incidente nucleare di Fukushima – ovvero la quantità totale di radioattività fuoriuscita dagli impianti danneggiati – sia comparabile, se non addirittura maggiore, di quello relativo all'incidente di Chernobyl

del 1986. I risultati di questa analisi – limitata ai due radioisotopi Xe-133 e Cs-137 – sono stati ottenuti mediante ricorso ad un processo di calcolo a ritroso, a partire dalle misurazioni effettuate per diversi giorni da una rete di stazioni di misura di radioattività ambientale dislocate nel mondo, sfruttando modelli di propagazione, dispersione, attenuazione e diffusione in atmosfera dei due isotopi, e cercando di tenere in conto su scala planetaria l'effetto dei fenomeni meteorologici occorsi, fino a ricostruire un Termine Sorgente di Xe-133 e Cs-137 compatibile con le misurazioni ed i modelli assunti.

L'ammontare di radioattività rilasciata e la tempistica di emissione calcolati da Stohl *et al.* però non solo appaiono irrealistici alla luce di una serie di considerazioni legate ad aspetti tecnici ed impiantistici dei reattori coinvolti, ma sono anche in contrasto con i dati di radioattività ambientale e di contaminazione al suolo misurati sul sito e nelle prefetture giapponesi, disponibili ormai da alcuni mesi. Nonostante i modelli utilizzati da Stohl *et al.* siano intrinsecamente affetti da margini di incertezza tali da giustificare le discrepanze osservate tra le simulazioni e le misure, gli Autori tentano, nel loro articolo, di sostenere la correttezza dei loro risultati invocando meccanismi fisici o condizioni incidentali che non reggono ad una più approfondita disamina dei fatti, come peraltro messo in evidenza da alcuni ricercatori dell'Unità Tecnica del centro ENEA di Bologna, competente in materia di sicurezza dei reattori e del ciclo del combustibile, nel contribuire alla fase di *review* dell'articolo di Stohl *et al.*

Il primo dato sorprendente tra i risultati dello studio di Stohl *et al.* è

quello legato al rilascio complessivo di Xe-133. Lo Xenon – dunque anche l'isotopo Xe-133 oggetto dell'analisi – per le sue proprietà chimiche è un gas particolarmente volatile: è pertanto ragionevole attendersi che, in caso di incidente severo con danneggiamento del nocciolo, la quasi totalità dell'inventario presente nel reattore sia rilasciato e possa giungere in atmosfera. Per quanto il valore atteso per la radioattività complessiva dello Xe-133 rilasciato in atmosfera a Fukushima fosse dunque superiore a quello relativo all'incidente di Chernobyl (essendo coinvolti più reattori simultaneamente), il valore calcolato da Stohl *et al.* risulta essere il 32.5% maggiore del quantitativo totale di Xe-133 fisicamente presente nell'intero sito di Fukushima-Dai-ichi. Stohl *et al.* propongono, quindi, alcune ipotesi per giustificare tale discrepanza, nessuna delle quali però è accettabile:

- l'ipotesizzare siano avvenuti rilasci di Xe-133 anche dalle Unità 4, 5 e 6 non è compatibile con i tempi di arresto (almeno 3 mesi) di tali Unità, più che sufficienti a far decadere lo Xe-133 in esse contenuto;
- il verificarsi di eventi di ricriticità nei reattori delle Unità 1, 2 o 3 è escluso su base fisica, date le condizioni di forte danneggiamento dei noccioli delle Unità incidentate;
- il rilascio di Xe-133 da parte di altri reattori giapponesi a causa del terremoto è altresì escluso sia perché nessuno di tali rilasci è mai stato registrato dai misuratori di radioattività installati in-situ, sia in virtù dei risultati delle ispezioni compiute sui reattori della flotta giapponese dopo il terremoto.



Altro risultato sorprendente dello studio è l'inizio delle emissioni di Xe-133 addirittura immediatamente dopo il terremoto. Questo contraddice però ogni dato misurato sugli impianti (dunque, indirettamente, la ricostruzione stessa della sequenza incidentale), in particolare per quanto concerne i dati

- di radioattività ambientale, rimasta invariata nelle misure effettuate sul sito di Fukushima prima dello Tsunami;
- di pressione all'interno del contenimento primario MARK-I per tutte le Unità, rimasti superiori al valore ambientale per molte ore dopo lo Tsunami, a garanzia della tenuta dei contenimenti stessi, dunque della loro integrità strutturale.

Le simulazioni di Stohl *et al.* mostrano infine una forte diminuzione delle emissioni di radioattività legata al rilascio di Cs-137 il 19 Marzo, risultato che gli Autori pongono in relazione con l'inizio dello spruzzamento di acqua sulla piscina di combustibile esausto dell'Unità 4. Questa coincidenza porta dunque Stohl *et al.* a concludere che siano avvenute emissioni sensibili di radioattività da tale piscina prima del 19 Marzo, ovvero ad ammettere che gli elementi di combustibile esausti in piscina si siano danneggiati al punto da liberare in atmosfera i prodotti di fissione ancora contenuti in questi. Questo scenario appare però altamente dubbio poiché:

- le misure di radioattività, effettuate a valle dell'incidente campionando direttamente l'acqua della piscina, mostrano livelli di contaminazione molto bassi, non compatibili con il danneggiamento di un numero rilevante di barrette di combustibile;

- le ispezioni visive dello stato degli elementi di combustibile all'interno della piscina, effettuate per mezzo di videocamere durante il prelievo dei campioni d'acqua per le misure di radioattività, confermano la sostanziale integrità degli stessi.

A meno che Stohl *et al.* siano in grado di identificare altre possibili spiegazioni per giustificare la discrepanza fra i loro risultati e le misure – e le evidenze – sperimentali, è doveroso concludere che siano stati commessi errori di sovrastima nel calcolo delle emissioni, nonché nella ricostruzione temporale delle emissioni stesse.

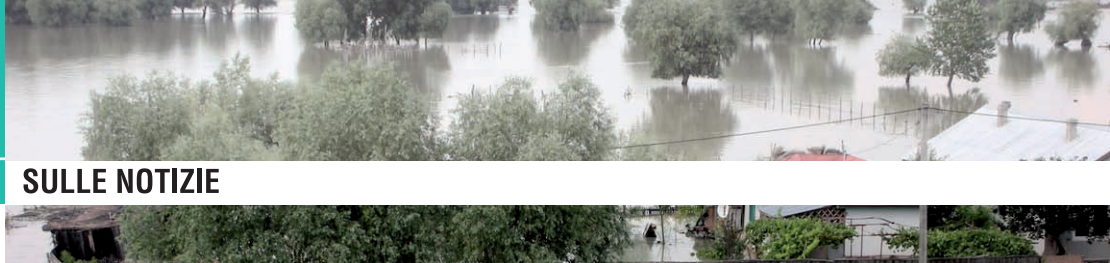
Proprio quest'ultimo aspetto cela la chiave d'interpretazione dei risultati di Stohl *et al.* che ha permesso l'accostamento degli incidenti di Chernobyl e Fukushima, rappresentando invece la differenza sostanziale tra i due eventi. Nel caso giapponese, infatti, la filosofia delle barriere multiple e la difesa in profondità tipiche di ogni impianto nucleare – con la sola eccezione degli impianti RBMK come quello esploso a Chernobyl – hanno consentito l'esecuzione di rilasci controllati, condizione impossibile a Chernobyl, ove si ebbe invece l'esposizione diretta dell'intero nocciolo all'ambiente esterno. Come già appare evidente, la possibilità di controllare i rilasci di radioattività rappresenta l'elemento principale per discriminare i due eventi in termini di effetti sanitari sulla popolazione:

- in primo luogo, il controllo dei rilasci consente al contempo una selezione degli elementi immessi in atmosfera, ed un abbattimento del quantitativo rilasciato; ad esempio, mentre a Chernobyl quasi tutto l'inventario di radioattività – inclusi Uranio, Plutonio ed altri Attinidi Minori, tutti tossici anche da un punto di

vista chimico – fu liberato in atmosfera, a Fukushima è stato invece possibile trattenere quasi tutte le componenti pesanti, e larga parte del particolato, riducendo ad un trentesimo la radioattività rilasciata rispetto a quella potenzialmente rilasciabile se gli impianti fossero stati del tipo RBMK;

- in secondo luogo, il controllo dei rilasci implica un certo margine di scelta ed operabilità per le tempistiche di esecuzione degli stessi, consentendo così alle autorità competenti di comandare e gestire lo svolgimento delle fondamentali procedure di evacuazione degli abitanti dalle zone limitrofe agli impianti – come previsto dai piani di emergenza –, riducendo grandemente gli effetti sulla popolazione. Ancora a titolo di esempio, mentre a Chernobyl i rilasci iniziarono contestualmente all'esplosione del reattore, nel momento stesso in cui si verificò l'incidente, gli operatori di Fukushima hanno potuto posticipare l'esecuzione del primo sfianto di vapore radioattivo fino al completamento dell'evacuazione della regione compresa entro 10 km dall'impianto, circa 16 ore dopo il sisma e lo tsunami.

In ultima analisi, il lavoro di Stohl *et al.* rappresenta una innovazione nel campo del trasporto atmosferico di contaminanti radioattivi a partire da rilevazioni effettuate su scala planetaria. D'altra parte, attribuire veridicità di fatti a risultati di una simulazione così fortemente soggetta ad incertezze è una imprudenza, e le conclusioni tratte nell'articolo, e riprese da *Nature*, devono essere considerate, riprendendo un recente commento di uno dei *Referee* della rivista, nient'altro che "just speculations".



RISCHIO IDROGEOLOGICO

Alluvioni violente hanno colpito quest'autunno la Liguria e la Sicilia mettendo in evidenza sia la estremizzazione dei fenomeni meteorologici sia la fragilità del territorio. Qui di seguito le considerazioni di un noto esperto

Le responsabilità del fango

■ Mario Tozzi

L'Italia annegata nel fango all'inizio del terzo millennio non lascia solo la compassione desolata per le vittime, ma la constatazione triste che il momento della presa di coscienza definitivo degli italiani è ancora di là da venire. Gli amministratori locali ripetono come una litania che la colpa dell'alluvione è della quantità eccezionale di pioggia caduta in pochissimo tempo. Ma sappiamo che questo non è vero: a Genova, nel 1970, i mm di pioggia caduti furono 900 contro i quasi 600 dei giorni scorsi. E alle Cinque Terre, come lungo il Magra o il Vara, o all'isola d'Elba, piogge di quasi uguale intensità da tempo erano diventate la regola. Nel 1997 Aulla era già stata colpita da bombe d'acqua, così come era accaduto ancora a Genova all'inizio degli anni Novanta, in Versilia nel 1996 e all'Elba nel 2002. È il clima che cambia, ma non dovrebbe essere una novità, non più almeno da una ventina d'anni.

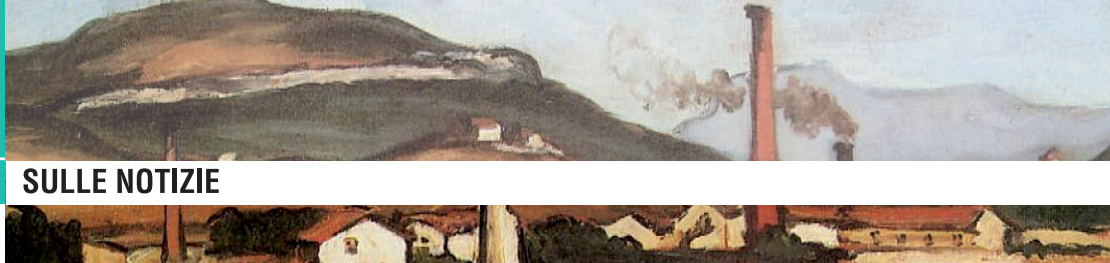
Ma quando piove tanto, comunque è bene guardare a terra, non in cielo, perché il problema è che quelle quantità enormi di pioggia cadono su un territorio devastato, abbandonato, abusato e divorato da costruzioni e infrastrutture di ogni tipo e genere. La memoria degli uomini è però corta rispetto a quella della Terra e spesso non funziona nemmeno tanto bene: Genova è preda di alluvioni improvvise (flash-flood) da almeno 40 anni, il Magra e il Vara hanno sempre esondato. Solo che i fiumi sono cambiati. E anche le città: prima noi uomini eravamo di meno e i centri abitati più piccoli e limitati alle zone sempre sicure. Basta guardare Aulla, dove hanno costruito un argine nel 1959 non al limite dell'alveo, come forse si potrebbe, ma al limite dell'acqua del fiume, rendendo possibile costruire diretta-

mente sul greto, nell'illusione che l'argine servisse a qualcosa. E il Vara ha visto ristretto il suo alveo dagli 820 metri della fine del XIX secolo ai 140 di oggi. Ma cosa dovrebbe fare un fiume cui è stato sottratto il suo corso, se non riprenderselo nel momento della piena? E cosa dovrebbe succedere alle costruzioni impiantate in una zona di Genova che si chiama La Foce? La bulimia costruttiva degli italiani è il vero problema del dissesto idrogeologico nel nostro paese, più dei disboscamenti e degli incendi: da noi ogni anno si perdono 200.000 ettari di territorio, contro i 10.000 del Regno Unito. Da noi si permette di costruire dove non si dovrebbe e piani casa e condoni edilizi fanno il resto, sanando anche l'abusivismo pericoloso.

In Italia muoiono, per frana o alluvione, sette persone al mese e ogni tre quarti d'ora il terreno smotta in tutta la penisola, visto che quasi la metà del territorio è a rischio idrogeologico. La Liguria, la Toscana, la Campania, la Calabria, la Sicilia, il Piemonte, il Veneto sono le regioni con maggiore rischio e poco possiamo fare nel breve termine, se non salvare le vite attraverso una migliore interfaccia fra protezione civile e amministratori-cittadini. A patto che non si sottovalutino gli allarme e si sopportino quelli falsi. Si può suggerire di spostarsi ai piani alti e di abbandonare le auto, meglio dopo averle spostate magari nei giorni precedenti, in zone sicure. Si possono ripulire i rifiuti (solo quelli, non la ghiaia o gli alberi vivi) dal greto. Ma sul lungo termine è ora ormai di ripensare il rapporto fra cittadino e natura: bisognerà imporre limitate opere di intervento naturalistico dove serve, ma si dovrà delocalizzare parte della popolazione a rischio idrogeologico, e pensare a una nuova pianificazione che sia più equilibrata e armonica. Perché non si può più morire nel fango all'inizio del terzo millennio, tanto meno in un paese che ha ambizioni da sesta potenza mondiale.

■ Mario Tozzi

Geologo del CNR



SVILUPPO A BASSE EMISSIONI DI CARBONIO

La Commissione Ambiente e Industria del Parlamento Europeo ha organizzato il 19 ottobre a Bruxelles un workshop con rappresentanti del Parlamento, della Commissione, dell'impresa e della ricerca per acquisire pareri sulle azioni da avviare a breve termine nell'ambito della "Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050". L'ENEA era rappresentata da Massimo Busuoli, di cui riportiamo l'intervento

L'ENEA al Parlamento Europeo per la Low Carbon Roadmap

■ Massimo Busuoli

ENEA is the Italian National Agency for New Technologies, the Energy and the Sustainable Economic Development. With its 3000 employees, it is one of the major Italian Research Bodies whose activities are targeted to research, innovation technology and advanced services in the fields of energy, Climate and the Environment, New Technologies.

ENEA identified at a first sight *four strategic points* to be addressed in the next three years, trying to take into account all related sectors and technologies that will contribute to pave the way to respect and achieve the proposed roadmap objectives.

The first point is *Energy Efficiency*. The short-term energy efficiency actions, for the roadmap 2050, will have to take into account different approaches to reduce energy consumption, addressing both the demand and the supply side. Introducing instruments such as smart meters, efficiency standards for buildings, promoting smart cities and raising the awareness that consuming less is better, will definitely contribute to the reduction of the consumption from the demand side. On the other hand, from the supply side, the power sector will

have to be more efficient, moving towards distributed generation of electricity and heat, minimizing the losses and the need of stocking large amounts of energy. Improving the EU energy labelling initiative and setting standards for products will drive this change. Introducing as a common practice the use of energy audits should support all these actions. Certified Escos (Energy Service Companies) should assist companies and individuals by improving the efficiency of the economic system.

Thus, short term period priorities should be:

- *Energy efficiency in buildings and industry and promotion of "smart cities"*
- *Opening of smart meters concept to consumers to optimize consumption.*

The second point is *Low Carbon Technologies*. We believe that in the next three years, the EU should give the confidence for a full deployment of the Renewable Energy (RE) market. We should address the stabilization of the incentives to RE, especially the role of feed-in-tariffs or premiums. These incentives require a strong political support, public funding and a redefinition of European priorities. A first step, and a strong political signal, should be the elimination of subsidies to fossil fuels. The amount saved could be re-invested in support mechanisms

■ Massimo Busuoli
ENEA, Ufficio di Bruxelles

for renewable energy deployment/development. Concerning Carbon Capture and Storage (CCS), we believe that CCS could play a major role, especially from 2020 to 2030, when fossil fuels will still be competitive. After this period, CCS should be phased out as the economy approaches to zero carbon emissions.

A mention to the European Emission Trading System needs to be done as actions to make it stronger are needed. The price of CO₂ allowances needs to reach a higher value to support clean tech investments. This means that actions to set more stringent carbon emission CAPs could be needed and supported by an EU carbon labeling such as the “carbon footprint”. Auctioning is a key element for this especially if applied to the electricity sector.

Thus, short term period priorities should be:

- *Reverting the subsidies to fossil fuels into incentives for Renewable Energy*
- *Creation of appropriate “CAP and TRADE” and “carbon labeling” systems*
- *Deployment of existing RE technologies, including CCS (up to 2030).*

The third point is *Infrastructures*. Europe has an urgent need to upgrade the transmission and distribution system. This requires a large amount of investments especially in the early years, in order to create a fully interconnected European grid that will allow cross-border transmission of electricity and support the development of RE technologies. This process should be supported by a policy of unbundling, where utilities that produce electricity should not be the same as the ones distributing it. In these upcoming three years, by addressing this problem, Europe will prepare the field for an increasing RE market that needs to be served by an efficient and interconnected grid. It appears important also to develop storage system that will allow for better integration of renewable energies into the transmission and distribution system and into the generation mix.

Thus, short term period priorities should be:

- *Promote the development of a free energy market*
- *Promote fully interconnected electricity networks and infrastructures.*

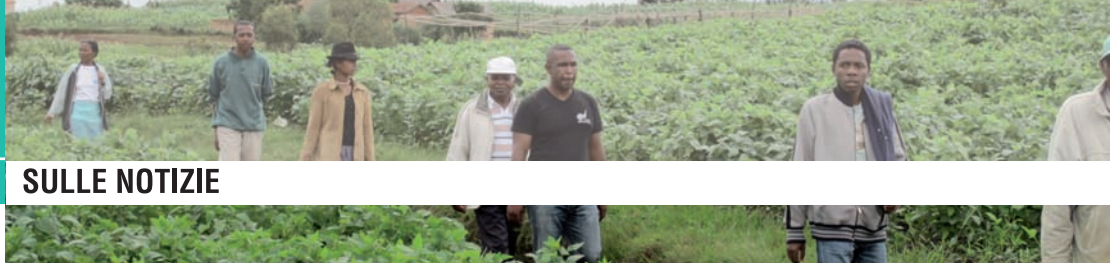
As the fourth point, let me finally close by mentioning the sector from which ENEA come from: the *Research* one. Research will have a key role for the achievement of the roadmap objectives. It is clear that an increase of efficiency and safety of the available RE production systems, will definitely contribute to the achievement of the expected roadmap targets. The European Energy Research Alliance (EERA – <http://www.eera-set.eu>), one of the SET-PLAN instruments, could represent a key actor for the speeding up of the development of new generation low carbon energy technologies. A proper economic and political support linked with the reinforcement of the links and collaborations with industry will definitely make the difference.

But the development of the low carbon technologies is not in itself the only future need. Climate Change assessments at European scale, through appropriate research and modelling of the climate system, is fundamental in order to evaluate the mitigation potential that could derive in the different economic energy-related sectors from political decisions. This could help to better develop the appropriate adaptation strategies at regional and local level. A proper European system of research in the Climate field needs to be better organized, and initiatives like the newly born European Climate Research Alliance (ECRA – <http://www.ecra-climate.eu>) could give a decisive contribution and should be properly reinforced and supported.

Thus, short term period priorities should be:

- *Support to R&D of new and more efficient RE production technologies*
- *Support to R&D for integrated assessment of the climate change effects.*

Let me conclude that, according to ENEA's view, a successful long term outcome of low carbon strategies and actions as well as of an effective public private cooperation in the area of low carbon technological development, can be enhanced by an integrated implementation of the different European initiatives such as the efficient use of resources (COM(2011) 571 final; 20.9.2011), the transition to a green economy (COM(2011) 363 final; 20.6.2011) and the research and innovation programs (Horizon 2020).



LAND GRABBING E SICUREZZA ALIMENTARE

Carestia e siccità colpiscono l'Etiopia e il corno d'Africa: è il più grave disastro umanitario degli ultimi 60 anni. Molti investitori stranieri, per lo più cinesi e dell'Arabia Saudita, stanno approfittando di questa situazione per comprare terreni e investire in agricoltura (*land grabbing*), in cambio di un po' di cibo. Contro atti simili di speculazione sulla povertà, la fame e i diritti umani, la FAO ha avviato un processo di regolamentazione internazionale, che tarda però ad essere definito. Sul *land grabbing* e le sue implicazioni, qui di seguito le spiegazioni di un'esperta

Il *land grabbing* minaccia la sicurezza alimentare dei poveri e ne peggiora le condizioni di povertà

■ Paola Perfetti

Misure efficaci per regolare il *land grabbing* – l'acquisizione incontrollata di terre da parte di compratori e/o speculatori – sono state oggetto di recenti negoziati intergovernativi che coinvolgono rappresentanti della Food and Agriculture Organization (FAO), tra cui la Dichiarazione di Tirana del 27 maggio 2011 e la riunione del Comitato per la Sicurezza Alimentare.

Si definisce più precisamente *land grab* la pratica dell'accaparramento di vaste aree di superficie rurale irrigua e coltivabile da parte di Governi stranieri, multinazionali o fondi di investimento in Paesi poveri, allo scopo di produrre cibo, mangimi o biocombustibili. Tali prodotti vengono poi esportati nei paesi dei compratori, di solito in cambio di capitali o di realizzazione di infrastrutture. Il risultato netto di tale pratica è però l'insicurezza alimentare di centinaia di milioni di persone senza reali benefici al paese ospitante.

Attualmente i principali compratori di terre nei paesi più poveri soprattutto dell'Africa, ma anche del sud-est asiatico e del sud America, sono i Paesi del Golfo, la Cina e la Corea. Tra i fattori che contribuiscono a creare lo stato di insicurezza alimentare, la crisi finanziaria degli ultimi anni, sommata a quella climatica, energetica ed alimentare, sta minacciando i già fragili equilibri globali. L'economia nel suo complesso si rivolgerà sempre di più al crescente mercato delle risorse naturali: in questo quadro le previsioni e taluni indicatori economici fanno prevedere una decisa accelerazione della corsa alla terra nei prossimi anni. Già oggi quasi tre miliardi di persone vivono in regioni dove la domanda di acqua e di cibo supera l'offerta. Una vasta gamma di interessi è coinvolta in queste operazioni, da quelli delle società multinazionali del campo agroalimentare, a quelli delle istituzioni finanziarie, nonché quelli dei governi ospitanti, poiché, in molti paesi, la terra è di proprietà o è controllata prevalentemente dallo Stato.

La FAO stima che gli investimenti in agricoltura nei paesi in via di sviluppo debbano crescere del 50

■ Paola Perfetti

Stagista ENEA, Unità Relazioni Internazionali

per cento entro il 2050 per nutrire la popolazione mondiale in costante crescita.

Le attuali carenze nella *governance* del fenomeno fanno sì che la compravendita di terreni non sia ugualmente vantaggiosa per tutte le parti. Olivier De Schutter, relatore speciale delle Nazioni Unite per il diritto all'alimentazione, nel corso della XXXVI riunione del Comitato sulla Sicurezza Alimentare Mondiale, ha dichiarato che "se i Paesi non sono soggetti ad una sorveglianza internazionale e non sono incoraggiati a condividere i rapporti con la loro società civile, una gran parte del valore aggiunto delle direttive sulla gestione delle terre sarà perduto".

Allo stato attuale, gli Stati acquirenti, i fondi d'investimento e tutti i soggetti interessati dall'acquisizione di terre, in assenza di una regolamentazione internazionale vincolante, non hanno alcunché da perdere, a tutto detrimento, invece, delle popolazioni più vulnerabili.

La Dichiarazione di Tirana, sottoscritta da oltre 150 rappresentanti di Istituzioni internazionali, tra cui FAO, International Fund for Agricultural Development (IFAD), United Nations Environment Programme (UNEP) e World Bank, Organizzazioni non governative, Agenzie governative e altre organizzazioni di vari paesi coinvolti, ha posto sette principi cardine per arginare il fenomeno.

Al primo posto è citato l'*empowerment* di tutti gli attori locali, con forte accento sulla popolazione femminile; si richiama una visione a lungo termine del territorio che metta al centro proprio le comunità locali; si citano modelli di investimento in agricoltura che creino i presupposti per raggiungere alcuni Obiettivi del Millennio.

Si sono recentemente conclusi presso la Sede FAO i negoziati del Comitato ONU per la sicurezza alimentare (CSA) per la redazione delle Linee Guida Volontarie per il possesso responsabile di terra, bacini di pesca e foreste, in merito ai quali è stato redatto circa il 75% delle linee guida, alla presenza di 70 Stati membri, 45 rappresentanti della società civile e uno del settore privato. I lavori vanno avanti con qualche difficoltà e verosimilmente saranno conclusi in una sessione straordinaria del CSA a inizio del 2012.

Attualmente, le questioni in sospeso sono ancora molte:

- la definizione concordata di congrui indennizzi in cambio della sottrazione di terre fertili alle popolazioni locali;
- il diritto all'informazione, quale unica garanzia della reale comprensione degli scambi proposti e degli indennizzi offerti;
- l'accertamento delle violazioni dei diritti umani nei casi di popolazioni cacciate dalle loro terre o minacciate;
- la tutela del libero accesso all'acqua, al mare per la pesca, alle terre per la pastorizia;
- la regolamentazione del ruolo degli Stati e dei privati, come le grandi corporazioni e i fondi d'investimento, nella produzione agricola.

La scarsa trasparenza e la segretezza che circondano le compravendite di terra, riconducibili ai fenomeni sin qui descritti, rendono difficile calcolare i numeri esatti. Non vi sono dati certi sulla dimensione raggiunta sinora dal *land grab*. Secondo il rapporto di Oxfam, ONG storicamente impegnata nella lotta contro la povertà e la fame, pubblicato a settembre, sono 227 milioni gli ettari di terra venduti, affittati o concessi in uso in tutto il mondo dal 2001 (più di sette volte l'Italia) di cui non tutti sono classificabili come *land grab*, ma dietro le acquisizioni di terreni si cela spesso questo fenomeno.

Gli investimenti in agricoltura e nelle aree rurali sono necessari per garantire la sicurezza alimentare di 9 miliardi di persone che popoleranno la terra nel 2050, a fronte dei fabbisogni nutrizionali dei



quali non ci sono “principi” che possano rendere accettabile l'accaparramento indiscriminato e la concentrazione della proprietà della terra nelle mani di un numero sempre più ristretto di proprietari, multinazionali straniere, fondi d'investimento speculativo o *élite* locali.

Per evitare danni maggiori rispetto a quelli già prodotti occorre che una moratoria internazionale

agli investimenti per l'acquisto di terre per migliaia di ettari sia fissata al più presto dalle istituzioni finanziarie internazionali come la Banca Mondiale ed il Fondo monetario Internazionale. Il CSA è nella posizione giusta per negoziare soluzioni tra i governi e sovrintendere e coordinare l'azione globale, favorendo accordi multilaterali sulla *governance* della terra.

Le iniziative internazionali

Le **linee guida** adottate su base volontaria appaiono al momento cruciali nella lotta contro la fame poiché potrebbero dare voce ai diritti delle popolazioni dei paesi più poveri e rispondere alle esigenze di trasparenza e sostenibilità. Un codice di condotta non ha la stessa forza vincolante di un accordo regolarmente sottoscritto tra le Parti, ma potrebbe rappresentare un primo passo verso comportamenti più responsabili.

Secondo la definizione adottata dalla **International Land Coalition** (ILC) a Tirana, Albania, il 26 maggio 2011 il termine “land grab” si riferisce ad acquisizioni di terre effettuate:

- violando i diritti umani e in particolare i diritti delle donne;
- ignorando il principio del consenso libero, preventivo e informato delle comunità che utilizzano quella terra, in particolare dei popoli indigeni;
- ignorando l'impatto sociale, economico e ambientale derivante dall'accordo, e l'impatto sulle relazioni di genere;
- evitando la conclusione di contratti trasparenti, contenenti impegni chiari e vincolanti sugli impieghi e sulla ripartizione dei benefici;
- evitando la partecipazione democratica, il controllo indipendente e la partecipazione informata delle comunità che utilizzano la terra.

La Dichiarazione di Tirana afferma la necessità di promuovere un accesso equo e sicuro alla terra, di ridurre la povertà, di promuovere lo sviluppo sostenibile e contribuire all'identità, la dignità e l'inclusione sociale.

L'Aquila Food Security Initiative (AFSI), preparata dal meeting dei Ministri dell'Agricoltura nell'ambito del G8 de L'Aquila nel 2009, rappresenta il primo strumento di cooperazione globale per la sicurezza alimentare mondiale e per assicurare il rispetto del principio di “investimento responsabile”. I leader si sono impegnati a mobilitare 20 miliardi di dollari in 3 anni per sostenere lo sviluppo rurale nei paesi poveri.

Il **Comprehensive Africa Agriculture Development Programme** (CAADP) è lo sforzo più ambizioso e completo di riforma agraria mai intrapreso in Africa. L'iniziativa dell'Unione africana (UA) e del Nuovo partenariato per lo sviluppo dell'Africa (NEPAD) rappresenta un cambiamento fondamentale verso lo sviluppo ed è completamente guidata dagli stessi governi africani. Essa riflette il riconoscimento da parte dei governi africani dell'agricoltura come centrale per l'alleviamento della povertà e della fame e, quindi, per il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo del Millennio (OSM).

(Paola Cicchetti, Marina Leonardi)



TELEFONI CELLULARI E SALUTE

Recentemente l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato le radiofrequenze nel gruppo 2B (possibly carcinogenic - in questo gruppo c'è ad esempio anche il caffè) sulla base di una limitata evidenza di incrementi del rischio di glioma e di neurinoma del nervo acustico tra gli utilizzatori di telefoni cellulari, in presenza di associazioni la cui causalità è considerata credibile senza tuttavia poter escludere che si tratti di artefatti dovuti al caso, a distorsioni o a confondimento. Ora sono stati presentati i risultati di un consistente studio danese, che sembrano rassicuranti e che qui sono commentati con alcuni utili chiarimenti “di contesto”, particolarmente in merito ai vantaggi e ai limiti della coorte danese di utenti di telefonia mobile rispetto ad altri disegni di studio utilizzati finora

Uso del telefono cellulare e tumori intracranici: nessuna associazione nello studio di coorte danese con follow-up aggiornato al 2007

■ Susanna Lagorio, Carmela Marino

Sono stati recentemente pubblicati due articoli riguardanti la coorte danese dei titolari di contratto di telefonia mobile, sull'incidenza di neurinoma del nervo acustico [1] e di tumori del sistema nervoso centrale [2]. Gli articoli si basano su un aggiornamento del follow-up della coorte al 2006 per il neurinoma e al 2007 per i tumori cerebrali, nonché su rilevanti innovazioni metodologiche. I record individuali dei 420.095 titolari danesi di un contratto di telefonia mobile sul periodo 1982-95 sono stati linkati con quelli dei soggetti eligibili per lo studio epidemiologico su disuguaglianze sociali e tumori CANULIS (circa 3 milioni di danesi nati dal 1925 in

poi, vivi e residenti nel 1990 e di età ≥ 30 anni a questa data), che dispone di informazioni individuali sul livello di istruzione e sul reddito annuale netto. Il processo di identificazione dei soggetti per le analisi del rischio di tumori intracranici in relazione all'uso del cellulare, le modalità di accertamento dei casi ed i metodi di analisi statistica sono sintetizzati nella figura 1.

L'indicatore di esposizione a telefoni cellulari utilizzato nelle analisi consisteva nella titolarità di un contratto privato con gli operatori di rete e relativa data di stipula (il che ha permesso di calcolare la durata di esposizione in anni alla fine del periodo di osservazione). Nel calcolo della durata di esposizione non sono stati considerati gli anni precedenti al 1987 in quanto le utenze anteriori a questa data si riferivano per lo più a telefoni mobili su autovet-

■ **Susanna Lagorio**

Istituto Superiore di Sanità, Centro Nazionale di Epidemiologia

■ **Carmela Marino**

ENEA, Unità Tecnica Biologica delle Radiazioni e Salute dell'Uomo

tura e, in questi casi, l'esposizione a livello della testa dell'utilizzatore è praticamente nulla. Inoltre, per garantire un minimo di latenza, il calcolo della durata di esposizione è stato troncato ad un anno prima della diagnosi.

I casi diagnosticati tra i membri della coorte sono stati individuati attraverso il registro tumori nazionale e, per il neurinoma del nervo acustico, anche mediante l'archivio clinico dell'Ospedale Gentofte di Copenhagen.

Lo studio sul neurinoma si è basato su 2,88 milioni di persone seguite per l'incidenza di questo tumore fino alla fine del 2006 (~23 milioni di anni-persona di osservazione e 806 casi osservati). È stato calcolato il rischio relativo di neurinoma tra gli utenti di lunga durata (≥ 11 anni) in rapporto ai non utenti o ai titolari di contratti di durata più breve e non sono state osservate differenze tra i due gruppi [IRR = 0,88; intervallo di confidenza (IC) 95% 0,52-1,48]. Il neurinoma del nervo acustico è un tumore benigno raro e pertanto, nonostante le dimensioni

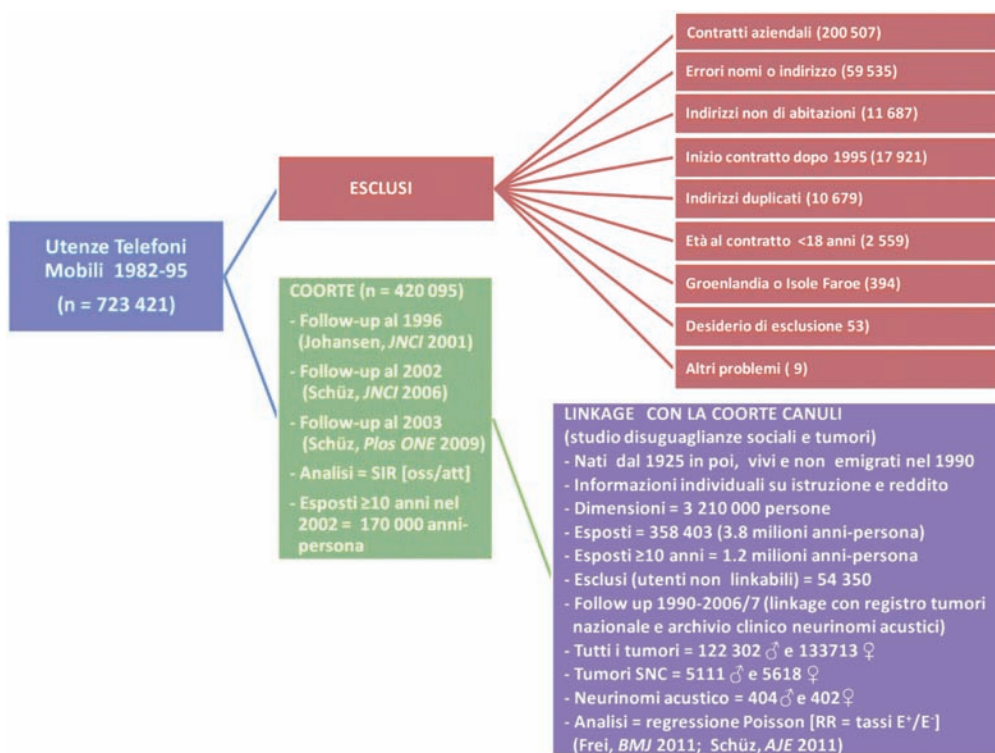
della coorte danese, il confronto si è basato su 15 casi tra gli "esposti" e 389 tra i "non esposti". Tra esposti e non esposti non vi erano differenze nella proporzione di neurinomi localizzati sul lato destro della testa (il lato d'uso del cellulare preferito dal 53% dei danesi) né nella dimensione media del tumore alla diagnosi (14-16 mm).

Lo studio sui tumori cerebrali ha incluso 3,21 milioni di persone (tra cui 358.403 titolari privati di contratto di telefonia mobile) seguite per l'incidenza di tumori cerebrali fino al 2007 [-23 milioni di anni-persona di osservazione (3,8 milioni tra gli esposti) e 256.015 casi di tumore cerebrale, (17.257 tra gli esposti)]. Sono state effettuate analisi stratificate per genere, morfologia del tumore e localizzazione. Tra i titolari di contratto, rispetto ai non titolari, non si sono osservati incrementi dell'incidenza di tumori cerebrali (di qualunque tipo), neppure tra gli utenti di lunga durata. Il rischio relativo di glioma tra gli utilizzatori per ≥ 10 anni era 1,04 (0,85-1,26) tra gli uomini e 1,04 (0,56-1,95) nelle

FIGURA 1

Aggiornamento del follow-up della coorte danese di utenti di telefoni mobili: identificazione della popolazione in studio, procedure di accertamento dei casi di tumore e metodi di analisi statistica (da Schüz et al. Am J Epidemiol 2011; 174(4): 416-422; Frei P et al. Br Med J 2011; 343: d6387 doi: 10.1133/bmj.d6387)

Note: SIR [oss/att] = tasso standardizzato d'incidenza calcolato dividendo il numero di casi osservati nella coorte per i casi attesi in base all'incidenza nella popolazione generale; [RR = tassi E+/E-] = rapporto tra i tassi standardizzati d'incidenza negli esposti e nei non esposti



donne. Il rischio relativo di meningioma tra gli utilizzatori per ≥ 10 anni era 0,90 (0,57-1,42) tra gli uomini e 0,93 (0,46-1,87) nelle donne. Neppure l'analisi per sede della neoplasia cerebrale dava chiare indicazioni di eccessi di rischio tra gli esposti per i tumori localizzati nelle aree a maggior assorbimento di energia a radiofrequenza durante l'uso del cellulare (soprattutto il lobo temporale).

I risultati presentati in questi due articoli, dunque, sembrano rassicuranti. Tuttavia, per meglio comprendere il significato di queste osservazioni sono utili alcuni chiarimenti "di contesto. Rispetto agli studi caso-controllo basati sull'accertamento della storia d'uso del cellulare mediante intervista o questionario postale, la coorte danese - che utilizza esclusivamente procedure di *record-linkage* - ha l'indubbio vantaggio di evitare distorsioni dovute a partecipazione differenziale allo studio e ad errori sistematici nelle informazioni sull'esposizione (*recall bias*). L'essere titolare di un'utenza di telefonia mobile, però, non equivale necessariamente ad utilizzare il cellulare cui quell'utenza si riferisce e pertanto, un certo numero di utilizzatori saranno stati erroneamente considerati non esposti, diluendo così le stime del rischio tra gli esposti. In base ai risultati di uno studio parallelo di validazione, gli autori ritengono che il metodo di valutazione dell'esposizione da loro adottato sia appropriato per evidenziare o escludere moderati-larghi incrementi di rischio legati all'uso del cellulare [3]. Inoltre, le analisi del rischio nel sottogruppo di esposti con maggiori durate d'uso dovrebbero essere poco influenzate dalla misclassificazione dell'esposizione poiché è verosimile che il numero di utilizzatori a lungo termine senza contratto a proprio nome (e quindi inclusi nella popolazione di riferimento) sia piccolo.

I risultati più recenti dello studio di coorte danese sono coerenti con i risultati dello studio caso-controllo Interphone che pure non evidenzia incrementi del rischio di glioma, meningioma o neurinoma del nervo acustico tra gli utilizzatori a lungo termine (≥ 10 anni) né trend d'incremento in funzione della durata d'uso, del numero totale di chiamate o delle ore cumulative d'uso [*Int J Epidemiol* 2010; 39: 675-694 e *Cancer Epidemiol* 2011; 35: 453-464].

Diversi studi caso-controllo condotti da un gruppo di ricerca svedese dell'Università di Örebro, invece, hanno mostrato incrementi del rischio di glioma e di neurinoma anche a breve distanza dall'inizio d'uso e per modeste intensità d'uso cumulativo [*Int J Oncol* 2011;38(5): 1465-1474 e *Int J Oncol* 2006; 28: 509-518]. Questi risultati sono statisticamente eterogenei rispetto a quelli di Interphone e dello studio di coorte danese [*Bioelectromagnetics* 2011; Oct 21. doi: 10.1002/bem.20716.]. D'altra parte, se tali incrementi di rischio fossero reali, data l'enorme diffusione del telefono cellulare a partire dagli anni 90 nel mondo e in particolare in Europa, le statistiche nazionali sull'incidenza dei tumori cerebrali avrebbero già dovuto registrare chiari trend d'incremento, mentre non vi è traccia di aumenti neppure nei dati più recenti [*Environ Health Perspect* 1 July 2011 <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1103693>].

Le rassegne più recenti delle evidenze sperimentali sull'eventuale cancerogenicità delle radiofrequenze (RF) utilizzate nella telefonia cellulare concludono affermando che gli studi a lungo termine in roditori sono coerenti nel non indicare effetti cancerogeni a livelli di esposizione rilevanti per l'uomo [*Crit Rev Environ Sci Technol* 2011; 41: 1-32 e *Bioelectromagnetics* 2011; Oct 21. doi: 10.1002/bem.20716].

L'epidemiologia fornisce l'evidenza più diretta del potenziale di cancerogenicità per gli esseri umani e, benché gli studi epidemiologici realizzati in questo campo non abbiano prodotto sinora evidenze convincenti di un incremento del rischio di tumori associato all'uso del cellulare, la relativa brevità del tempo d'osservazione e altri limiti metodologici (soprattutto inerenti la valutazione dell'esposizione) limitano le conclusioni che si possono trarre da questi studi. Tuttavia, quando l'evidenza epidemiologica è debole i risultati degli studi sperimentali diventano critici per la valutazione del rischio: forti evidenze di cancerogenicità provenienti dagli studi di laboratorio aumenterebbero la credibilità anche di deboli associazioni evidenziate da studi epidemiologici, mentre un'evidenza sperimentale coerentemente negativa diminuirebbe la plausibilità biologica della natura causale di sporadiche associazioni osservate nell'uomo.



D'altra parte, il gruppo di lavoro convocato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) per la redazione del volume 102 delle Monografie (*Non-ionizing radiation, part II: radiofrequency electromagnetic fields*, in corso di pubblicazione) ha classificato le radiofrequenze nel gruppo 2B (*possibly carcinogenic*) sulla base di una limitata evidenza di incrementi del rischio di glioma e di neurinoma del nervo acustico tra gli utilizzatori di telefoni cellulari e di una limitata evidenza sperimentale di cancerogenicità [*Lancet Oncol* 2011; 12 (7): 624-626]. Nel sistema di classificazione della IARC si ha evidenza "limitata" di cancerogenicità in presenza di associazioni la cui causalità è considerata credibile senza tuttavia poter escludere che si tratti di artefatti dovuti al caso, a distorsioni o a confondimento. Questa decisione è stata adottata a maggioranza, mentre alcuni membri del panel della IARC ritenevano che la categoria più appropriata per gli studi epidemiologici analizzati

fosse quella di evidenza "inadeguata" di cancerogenicità, il che avrebbe comportato una classificazione dei campi elettromagnetici a radiofrequenza nel gruppo 3 (agenti non classificabili riguardo alla cancerogenicità per l'uomo).

Tra le pubblicazioni epidemiologiche esaminate dal panel della IARC c'era l'aggiornamento della coorte danese sul neurinoma del nervo acustico ma non quello sui tumori cerebrali, non ancora accettato per la pubblicazione nel maggio 2011.

Bibliografia

- [1] J. Schüz, M. Steding-Jessen, S. Hansen, S-E. Stangerup, P. Cayé-Thomasen, A.H. Poulsen, J.H. Olsen, C. Johansen, 2011, "Long-term mobile phone use and risk of vestibular schwannoma: a Danish nationwide cohort study", *Am J Epidemiol*, 174(4), 416-422.
- [2] P. Frei, A.H. Poulsen, C. Johansen, J.H. Olsen, M. Steding-Jessen, J. Schüz, 2011, "Use of mobile phone and brain tumours: update of Danish cohort study", *Br Med J*, 343, d6387 doi: 10.1133/bmj.d6387 [Epub ahead of printing].
- [3] J. Schüz, C. Johansen, 2007, "A comparison of self-reported cellular telephone use with subscriber data: agreement between the two methods and implications for risk estimation" *Bioelectromagnetics*, 28, 130-136.



MATERIE PRIME CRITICHE

È stato pubblicato, a cura del JRC della Commissione Europea, un nuovo rapporto sulle materie prime critiche e sulle conseguenze che si avrebbero in Europa, soprattutto sullo sviluppo delle tecnologie energetiche (eolica, solare, biomasse, bioenergie), per la possibile futura scarsità di tali materie. Qui di seguito i commenti di un esperto

Allarme sul futuro sviluppo delle tecnologie energetiche per le rinnovabili Il problema è serio, ma non vanno fatti allarmismi

■ Francesco Zarlenga

Il rapporto *Critical Metals in Strategic Energy Technologies* prodotto dal Centro Comune di Ricerca (JRC) della Commissione Europea, fa seguito alle iniziative prodotte dall'UE a partire dal 2008 sul tema dell'approvvigionamento di materie prime strategiche non energetiche e rappresenta il primo prodotto "scientifico" sull'argomento.

Il rapporto analizza l'utilizzo dei 60 metalli a rischio di approvvigionamento nelle 6 tecnologie energetiche a basso consumo di carbonio: nucleare, solare, eolico, bioenergia, cattura e stoccaggio della CO₂ (CCS - *carbon capture & storage*), reti elettriche. D'altra parte l'Unione Europea aveva promosso lo "Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)" per mettere l'Europa in condizione di ridurre le emissioni di gas ad effetto serra utilizzando fonti rinnovabili. Ciò, oltre ai diversi usi industriali delle materie prime, aumenta l'interesse dell'Europa alla soluzione del problema dell'approvvigionamento.

Dei 60 metalli a rischio ne vengono analizzati soltanto 14, definiti strategici e a maggiore rischio di approvvigionamento. I quantitativi necessari allo sviluppo dell'industria europea nei settori sopracitati rappresentano l'1% della produzione mondiale, in uno scenario di richiesta compreso fra il 2020 e il 2030.

I 14 metalli, in ordine in funzione della maggiore domanda sono: tellurio, indio, stagno, hafnio, argento, disprosio, gallio, neodimio, cadmio, nickel, molibdeno, vanadio, niobio e selenio. Di questi, quelli più critici o di cui non ci sarebbe sufficiente disponibilità per l'Europa sono cinque: il disprosio ed il neodimio in relazione allo sviluppo delle tecnologie eoliche, il tellurio, l'indio ed il gallio, soprattutto in relazione allo sviluppo di tecnologie fotovoltaiche. Ma anche gli altri metalli raggiungerebbero una rarità tale da creare problemi di sviluppo tecnologico nel progresso delle altre energie rinnovabili e di tecnologie a basse emissioni di anidride carbonica (come le tecnologie CCS).

Il rapporto del JRC si conclude con tre raccomandazioni per cominciare quanto prima ad attuare

■ Francesco Zarlenga

ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

azioni idonee per superare una potenziale assenza di forniture, vale a dire:

- incrementare la produzione mineraria europea;
- sviluppare politiche di riciclaggio di apparecchiature obsolete;
- sviluppare ricerca sui nuovi materiali sostitutivi di quelli a rischio.

È indubbio che i campanelli di allarme che risuonano da più anni, ma soprattutto in quest'ultimo anno (come riportato da questa Rivista), sull'approvvigionamento di materie prime non energetiche, siano reali e che pertanto ci si debba seriamente preoccupare per sviluppare politiche e ricerche in grado di soddisfare nel futuro la richiesta dell'industria europea.

Va rilevato, però, che le soluzioni proposte dal rapporto del JRC, quantunque sembrino le più ragionevoli ed appropriate al riguardo, tuttavia si basano su stime abbastanza imprecise di disponibilità futura di queste materie prime critiche. Le stime prodotte sulla futura disponibilità di altre risorse minerarie (soprattutto combustibili fossili come il petrolio, il gas e il carbone) sono molto più accurate ed attendibili per la definizione di scenari e, quindi, anche per l'individuazione di politiche energetiche basate sui combustibili fossili. Invece, bisogna prendere atto che le stime elaborate sulle materie prime non energetiche al momento non esistono e che le valutazioni sugli approvvigionamenti futuri sono legate soltanto alle dinamiche di mercato e al comportamento ipotizzato che i paesi produttori, o che detengono attualmente tali materie prime, potrebbero attuare in futuro in base alle dinamiche di mercato ed alle proprie prevedibili necessità interne.

Inoltre, come ha fatto rilevare l'EWEA, associazione dell'industria eolica europea, le stime sulle esigenze future delle tecnologie eoliche, per quanto riguarda disprosio e neodimio, non sono quelle valutate dal JRC, ma alquanto più basse. Con una sovrastima delle esigenze europee, soprattutto se accompagnate da possibili sottostime della disponibilità mondiali, il problema assume certamente connotati preoccupanti ed allarmistici. In realtà, i giacimenti ancora da scoprire in aree remote e poco conosciute della Terra sono ancora molte (Afri-

ca, Australia, Groenlandia, America Latina) e sono difficilmente quantificabili allo stato attuale delle conoscenze. L'ENEA, per esempio, in una ricerca condotta in Mozambico, ha valutato che nella regione mineraria dell'Alto Ligonha, in due aree minerarie nei pressi di Melatube e Ribauè, sono disponibili riserve di niobio, neodimio e disprosio, cioè proprio quelle materie prime ritenute insufficienti per lo sviluppo delle tecnologie eoliche pari a 961, 135 e 94 tonnellate, rispettivamente.

Quindi, va bene suonare i campanelli d'allarme, perché il problema è serio e non va sottovalutato, ma non appare, almeno per ora, opportuno, spingere tali campanelli d'allarme fino a livelli tali da creare un clima di allarmismo che non appare ancora del tutto giustificato.





Cambiamenti climatici: una proposta per ridurre le emissioni

■ Tullio Fanelli, Vincenzo Artale, Natale Massimo Caminiti, Carlo Manna

L'Agenzia ENEA è fortemente impegnata sul tema dei cambiamenti climatici sia a livello nazionale che internazionale in un quadro di collaborazioni con il Governo italiano e con i principali istituti di ricerca attivi nel settore.

Ormai giunti alla fine della fase Kyoto (2008-2012), il processo negoziale della Conferenza delle Parti delle Nazioni Unite appare in fase di stallo e crescono le preoccupazioni sulla reale efficacia delle politiche mondiali ed europee sino ad oggi poste in atto per contrastare il cambiamento climatico.

Sebbene esista un vasto consenso sulla necessità di ridurre le emissioni di gas serra per limitare la crescita della temperatura media superficiale della Terra a valori inferiori ai 2 °C rispetto ai livelli preindustriali, nei fatti le emissioni mondiali continuano ad aumentare velocemente.

Come è noto l'UE è il soggetto più attivo sul tema: dopo aver adottato la strategia Clima-Energia, in cui si obbliga unilateralmente a ridurre le proprie emissioni del 20% entro il 2020 rispetto ai livelli del 1990, ha approntato una Roadmap per ridurle di almeno l'80% al 2050.

L'attuale strategia negoziale dell'UE di mitigazione del cambiamento climatico, basata su adeguati obiettivi di emissioni legalmente vincolanti, non è, ad oggi, condivisa dai Paesi che sono maggiormente responsabili delle emissioni quali Cina, USA

e altri Paesi emergenti. Appare di conseguenza sempre più remota anche la possibilità di creare un mercato globale del carbonio, sul modello del sistema europeo ETS (Emissions Trading Scheme) basato sul "cap and trade".

Il sistema ETS rischia dunque di essere destinato, almeno per molti anni, a rimanere un modello non unificato, applicato solo in Europa e in alcuni altri singoli Paesi.

Ma anche su questa strategia unilaterale cominciano a sorgere importanti dubbi sulla effettività degli obiettivi e sull'adeguatezza degli strumenti. Occorre infatti considerare che dal Protocollo di Kyoto a oggi sono avvenuti dei cambiamenti rilevanti su scala globale connessi alla forte crescita del commercio mondiale di beni e servizi. Ciò ha contribuito a determinare una forte crescita delle emissioni nei Paesi esportatori netti.

Ad esempio la Cina, dopo il 2001, anno del suo ingresso nel WTO, ha quasi triplicato le sue emissioni, arrivando nel 2010 a sfiorare i 9 miliardi di tonnellate equivalenti di CO₂ (di seguito t CO₂), pari quasi alla somma delle emissioni degli USA (5,25) e dell'UE (4,05). Tale tumultuoso incremento ha portato la stessa Cina a raggiungere un livello di emissioni pro-capite pari a quello italiano (6,8 t CO₂ all'anno), pur avendo ancora un reddito pro-capite circa 4 volte inferiore.

Tali dati, unitamente a quelli di altri Paesi con alto tasso di crescita delle esportazioni nette, indicano che le emissioni provenienti dal commercio internazionale sono diventate un elemento fondamentale nello spiegare il cambiamento delle emissioni.

Di fatto è venuta meno la sostanziale coincidenza tra le emissioni generate in un territorio (*produc-*

■ Tullio Fanelli

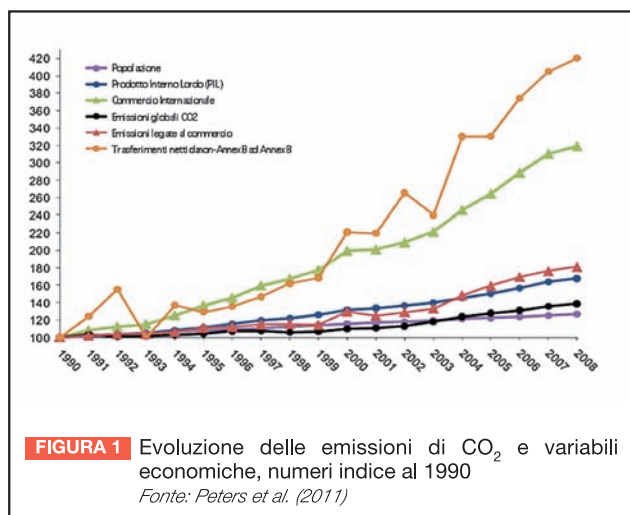
ENEA, Organo Centrale di Sicurezza – Ministero dell'Ambiente, Sottosegretario di Stato

■ Vincenzo Artale, Natale Massimo Caminiti

ENEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale

■ Carlo Manna

ENEA, Unità centrale Studi e Strategie



tion based) e quelle derivanti dai consumi di beni e servizi nello stesso territorio (*consumption based*).

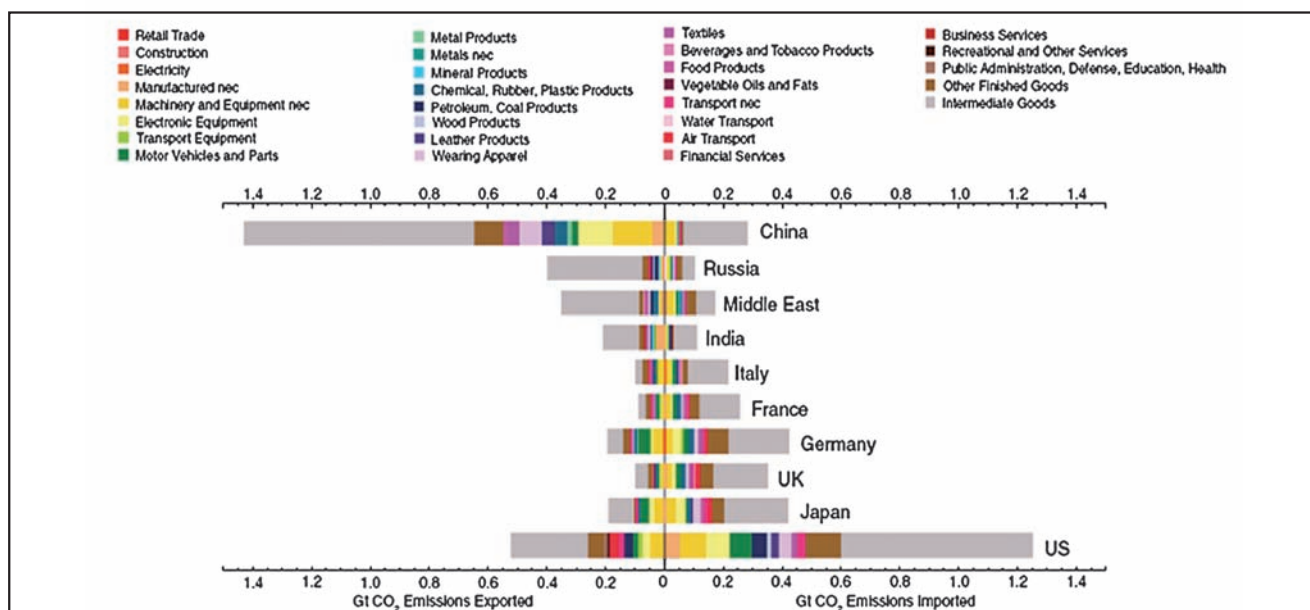
In particolare, a causa dello sviluppo del commercio internazionale, dal 1990 al 2008 sarebbero incrementati di oltre 4 volte i trasferimenti netti di

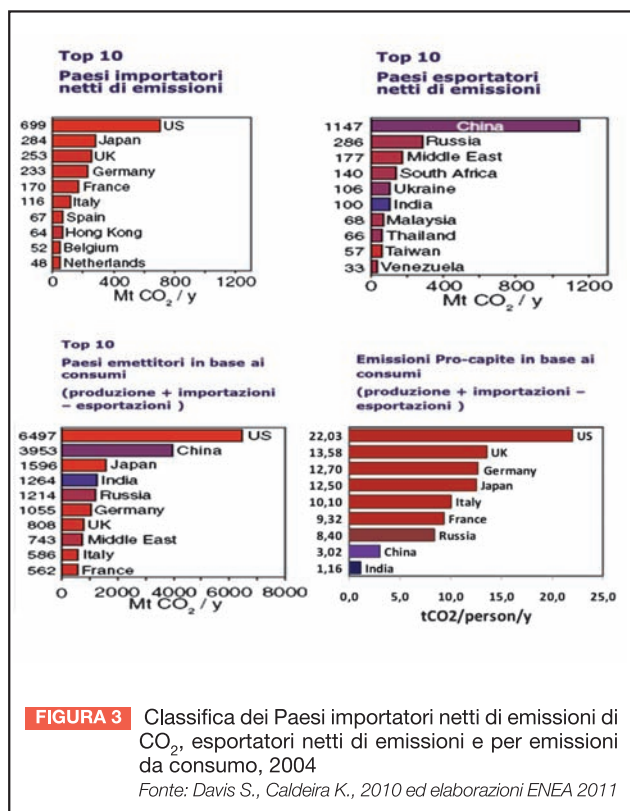
emissioni dai cosiddetti Paesi non-Annex B (non soggetti agli impegni di Kyoto) a quelli Annex B imputabili al commercio di beni e servizi (figura 1); di conseguenza la maggior parte dei Paesi sviluppati ha avuto una crescita maggiore delle proprie emissioni *consumption based* rispetto alle rispettive emissioni territoriali *production based* (Peters et al 2011).

Analogamente, Davis e Caldeira (2010)¹ mostrano il bilancio delle emissioni di CO₂ *consumption based* correlate alle importazioni ed esportazioni di prodotti finali² con dettaglio settoriale e regionale evidenziando i principali Paesi esportatori e importatori.

Nel 2004, il 23% delle emissioni globali (6,2 Gt CO₂) ha riguardato gli scambi internazionali, principalmente le esportazioni dalla Cina e da altri mercati emergenti verso i consumatori nei Paesi sviluppati, principalmente Stati Uniti, Giappone ed Europa occidentale.

Come mostrato nella figura 2, la Cina è il principale Paese esportatore netto di emissioni. In particolare, le esportazioni cinesi per il 2004 sono relative





al settore della meccanica (134 Mt CO₂), elettronica (117 Mt), abbigliamento (80 Mt), tessile (37 Mt), chimico, gomma e materie plastiche (44 Mt) e per la maggior parte relative a prodotti intermedi (787 Mt); a fronte di modeste importazioni nel settore della meccanica (32 Mt) e dell'elettronica (9 Mt). Le emissioni importate dagli Stati Uniti invece eccedono quelle di qualsiasi altra regione, nel dettaglio sono relative al settore della meccanica (91 Mt CO₂), dell'elettronica (77 Mt), motoveicoli e sue parti (75 Mt), chimica, gomma e materie plastiche (52 Mt), altri prodotti manifatturieri (52 Mt), abbigliamento (42 Mt) e beni intermedi (645 Mt). La composizione della bilancia commerciale è simile per altre regioni importatrici nette di emissioni quali i Paesi dell'Europa occidentale e il Giappone. Il modello di contabilità delle emissioni adottato a livello internazionale, basato esclusivamente sulla territorialità, non è in grado di cogliere questi nuo-

vi fenomeni: la riduzione delle emissioni in un territorio non garantisce un'analoga riduzione effettiva delle emissioni globali.

Analisi macroeconomiche e recenti stime in letteratura evidenziano la rilevanza delle emissioni correlate al consumo di beni e servizi (*consumption based*), principalmente connesse ai beni importati dai Paesi occidentali provenienti dalle maggiori economie emergenti.

Se si riconsidera la contabilità delle emissioni di gas serra sulla base della responsabilità dei consumi e non della territorialità delle emissioni, i risultati possono essere sensibilmente diversi. Ad esempio, buona parte dell'imponente crescita delle emissioni di Paesi emergenti (come Cina, India, Brasile, Corea) potrebbero non essere attribuibili all'espansione demografica o ai maggiori consumi interni, bensì alle esportazioni di beni e servizi verso i Paesi sviluppati (figura 3).

Si impone quindi in questa fase una riflessione sulle effettive responsabilità dell'incremento delle emissioni mondiali e su nuovi approcci e regole che:

- garantiscano maggiormente l'effettività degli obiettivi;
- contribuiscano a superare l'impasse nei negoziati globali;
- responsabilizzino maggiormente il consumatore circa gli effetti ambientali delle proprie scelte di consumo di beni e servizi, ovunque siano prodotti.

La maggiore difficoltà di implementazione di un nuovo meccanismo basato sulle emissioni correlate al consumo di beni e servizi (*consumption based*) è certamente quella della complessità della attribuzione a ciascun bene o servizio delle emissioni associate.

Tuttavia la nuova proposta di direttiva europea sulla fiscalità energetica, che prevede anche una componente fiscale proporzionale alle emissioni indotte, può essere un primo importante passo per superare tale difficoltà e procedere verso una contabilità ambientale che consenta di attribuire a ciascun bene o servizio le emissioni indotte.

Tale componente fiscale, infatti, a prescindere dalla sua dimensione quantitativa, consentirebbe, con un semplice rapporto, il calcolo delle emissioni con-



nesse a qualunque attività produttiva; trasferendo tale informazione, ad esempio unitamente alla fatturazione, da ciascuna fase del ciclo produttivo al prodotto finito sarebbe quindi possibile, almeno per i beni e servizi interamente prodotti in Europa, tracciare facilmente e senza importanti aggravii amministrativi, le emissioni indotte da ciascun bene o servizio.

Ciò renderebbe possibile inserire nell'etichetta, accanto al prezzo e alle altre eventuali caratteristiche dei prodotti, anche la quantità di emissioni indotte. Questo sarebbe già in sé un importante risultato in quanto consentirebbe:

- ai consumatori di orientare le proprie scelte anche in base al minore o maggiore contenuto carbonico del bene da acquistare, a fronte di una informazione accurata e trasparente, molto superiore alle attuali metodologie di calcolo di *carbon footprint*;
- alle imprese di porre in atto politiche di marketing centrate sull'ambiente.

Naturalmente l'attribuzione ai beni e servizi delle emissioni indotte permette poi di avere a disposizione nuovi strumenti per il contenimento delle emissioni stesse. In particolare è possibile ipotizzare una nuova e innovativa fiscalità che tenga conto del contenuto di carbonio dei beni e servizi.

Si può ipotizzare, ad esempio, l'istituzione di una imposta indiretta, l'Imposta sul Carbonio Aggiunto (ICA), che, con un meccanismo simile a quello

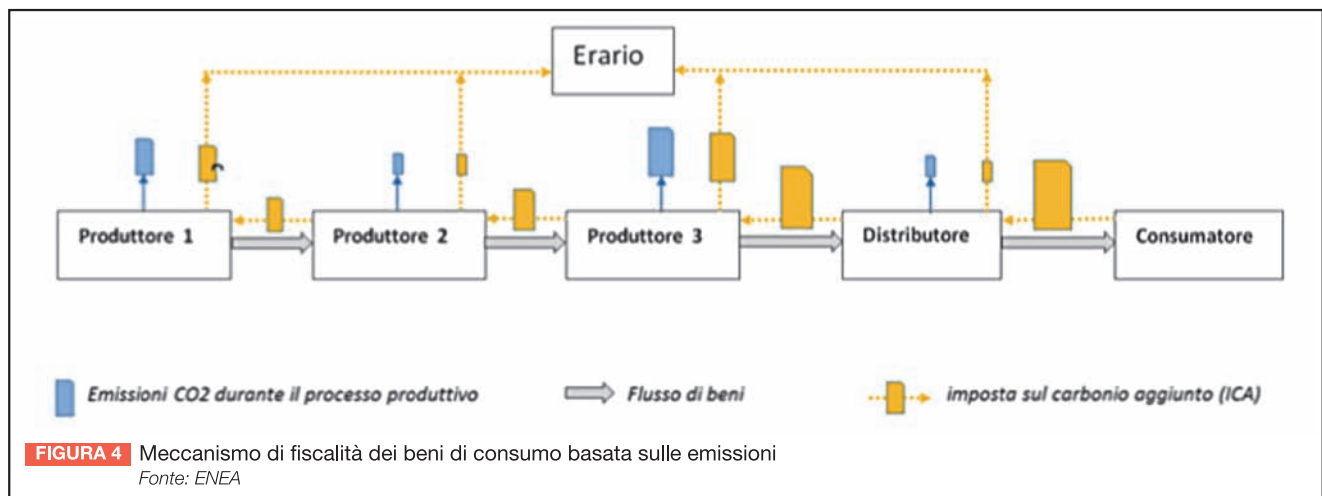
dell'IVA, non rappresenti un costo aggiuntivo per gli operatori della filiera produttiva, ma solo per il consumatore finale.

Il funzionamento di una tale imposta, in sintesi, potrebbe essere il seguente:

- i combustibili, i carburanti e l'energia elettrica per uso diverso da quello domestico verrebbero gravati di un'ulteriore imposta (ICA) proporzionale alle emissioni del prodotto energetico;
- i venditori dei suddetti prodotti energetici verserebbero all'erario i corrispettivi di ICA;
- ciascun produttore di beni e servizi, finali o intermedi, potrebbe "scaricare" l'ICA pagata ai propri fornitori (sia di prodotti energetici, sia di materie prime, sia di beni e servizi intermedi) sulle fatture di vendita, evidenziandone l'importo;
- il venditore finale del bene o del servizio recupererebbe dal consumatore l'importo dell'ICA dell'intera catena produttiva, evidenziando nella fattura o scontrino fiscale sia la quantità di emissioni associate che l'importo della relativa imposta.

La figura 4 schematizza tale meccanismo di fiscalità, con evidenza dei flussi emissivi, monetari e di beni per una catena produttiva semplificata.

Tale sistema di fiscalità innovativa avrebbe lo scopo di aggiungere anche un segnale di prezzo, oltre al segnale squisitamente "ambientale", nelle scelte dei consumatori; tale segnale potrebbe essere mo-



dulato in funzione degli obiettivi di riduzione delle emissioni che si intendono perseguire. Inoltre il meccanismo indurrebbe effetti anche nella filiera produttiva in quanto l'operatore che acquista un bene, sia come semilavorato che come prodotto finito, avrà una informazione diretta del segnale di prezzo derivante dalla tassazione carbonica, con possibilità di orientare le proprie scelte verso prodotti che garantiscono una maggiore competitività in base a criteri di sostenibilità ambientale.

L'ICA potrebbe essere complementare alla fiscalità indiretta (IVA) esistente in ciascuna nazione, con una operazione sostanzialmente neutra cioè non aggiuntiva sulla fiscalità indiretta totale. Tale obiettivo è conseguibile attraverso una riduzione delle aliquote IVA (di tutti i beni e servizi) di una percentuale globalmente corrispondente al gettito atteso dalla nuova imposta ICA.

In alternativa l'ICA potrebbe essere in tutto o in parte una fiscalità aggiuntiva, che reperisca risorse per finanziare interventi di mitigazione ed adattamento ai cambiamenti climatici: ricerca e sviluppo su tecnologie innovative, trasferimento tecnologico verso Paesi più svantaggiati ecc.

La tassazione potrebbe inoltre o essere semplicemente proporzionale alle emissioni associate al prodotto o differenziata a seconda dello scostamento dell'intensità delle emissioni da un valore medio o di *benchmark*. In questa maniera si potrebbero incentivare ancor più prodotti virtuosi, attraverso una esenzione parziale o totale dell'imposta, a scapito di una maggiore aliquota per i prodotti che più si scostano da un valore di riferimento. A parità di pressione fiscale totale si avvantaggerebbero le migliori tecnologie produttive ai fini delle emissioni con un'accelerazione ancora maggiore dell'intervento. Di converso si creerebbe una maggiore complessità dei flussi finanziari per consentire ai produttori "virtuosi" il recupero dell'ICA versata ai fornitori.

Questo nuovo sistema potrebbe essere inizialmente applicato solo in Europa senza violare i criteri del World Trade Organization: per ogni prodotto finale o intermedio infatti è possibile stabilire una esenzione ICA per i beni esportati al di fuori dell'UE e un'applicazione dell'ICA per i beni importati sulla base di criteri trasparenti e non discriminatori. Ad

esempio ai beni importati potrebbe essere applicata una ICA riferita al valore di emissione specifica del prodotto medio europeo, eventualmente addizionata degli importi corrispondenti alle emissioni connesse al trasporto intercontinentale.

Tuttavia tale modello, anche in assenza di accordi globali, avrebbe il pregio di risultare attrattivo sia per gli altri Paesi sviluppati sia per le economie emergenti che potrebbero essere spinte, anche al solo fine di godere delle agevolazioni fiscali previste nel mercato europeo, ad adottare analoghi meccanismi di tracciabilità delle emissioni indotte dai beni e servizi esportati.

I vantaggi potenziali di questo nuovo approccio al problema del contenimento delle emissioni di gas serra sono quindi molteplici.

Infatti il nuovo meccanismo potrebbe:

- consentire una valorizzazione dell'efficienza ambientale dei beni e servizi prodotti a prescindere dal Paese di origine, innescando una competizione da parte dei Paesi emergenti verso produzioni ambientalmente più efficienti;
- contribuire a far superare l'impasse attuale sui negoziati dei cambiamenti climatici; infatti il suo carattere trasversale, non territoriale, eviterebbe alla radice i dubbi e i veti tra Paesi emergenti e Paesi sviluppati riguardo un ipotetico sistema ETS mondiale, necessariamente basato su una assegnazione di quote di emissione ai produttori esistenti, con conseguenti limiti alle potenzialità di sviluppo;
- rendere possibile un livellamento alla frontiera delle componenti di costo connesse a fattori ambientali dei beni importati ed esportati superando il rischio di influire sulle decisioni di localizzazione di impianti ad alta intensità di emissioni imputabile al sistema ETS; (naturalmente per quei settori dove le decisioni di localizzazione sono connesse principalmente ad altri fattori come il costo del lavoro, la normativa ambientale e di sicurezza ecc. tale effetto non sarebbe rilevante);
- rendere tracciabili le emissioni indotte da un bene o un servizio, con i conseguenti vantaggi di una maggiore consapevolezza del consumatore finale, al quale potrebbe essere data la possibilità di scelta non solo in base al prezzo del bene

ma anche in relazione al suo impatto sull'ambiente.

Va notato che il nuovo meccanismo fiscale è profondamente diverso dalle tradizionali proposte di introduzione di una “*carbon tax*”; infatti la tassazione dei prodotti energetici attraverso imposte indeducibili (accise), pur generando un effetto sui prezzi dei beni e servizi, rimane “opaca” per i consumatori, che non possono distinguere tale effetto dai tanti altri che possono generare aumenti dei prezzi; inoltre una “*carbon tax*” applicata unilateralmente in Europa genererebbe una perdita di competitività delle produzioni europee che non potrebbe essere compensata alla frontiera perché mancherebbero gli elementi conoscitivi per operare in modo non discriminatorio e quindi compatibile con le regole del WTO.

Va inoltre chiarito che l'ICA non richiederebbe l'immediata soppressione del sistema ETS, perché in linea teorica potrebbe anche essere solo complementare e non alternativa al *cap and trade*; ciò almeno fino a quando non fosse verificata, in concreto, la sua efficacia. Inoltre può essere aggiuntivo e complementare alla assunzione di impegni quantificati di riduzione delle emissioni da parte dei vari Paesi.

D'altra parte l'ICA, al contrario del sistema ETS, avrebbe il pregio di presentare un minor grado di arbitrarietà (nella determinazione dei tetti di emissione) e di essere facilmente rimodulabile in relazione agli obiettivi di riduzione delle emissioni. Ciò consente di superare anche le possibili obiezioni in merito alla certezza dei risultati conseguibili³.

Ovviamente, a fronte dei vantaggi evidenziati, per la concreta introduzione di un'ICA esistono anche difficoltà di tipo scientifico, tecnico, organizzativo

che necessitano di studi ed approfondimenti per essere superate, quali ad esempio:

- studio delle possibili differenti opzioni applicative della metodologia;
- analisi approfondita delle problematiche fiscali, legali, di commercio internazionale;
- valutazione, in termini di riduzione delle emissioni, dell'efficacia dell'intervento sul sistema economico, confrontando le diverse opzioni anche rispetto a sistemi differenti (e.g. ETS);
- valutazione degli effetti dell'intervento sul comportamento dei consumatori.

Tali attività richiedono naturalmente risorse e tempi adeguati per essere condotte con la necessaria puntualità. L'Agenzia ENEA, nell'ambito dei suoi compiti istituzionali, darà il suo contributo scientifico all'approfondimento di tali temi, anche attraverso il coinvolgimento e la collaborazione di altri soggetti nazionali, europei ed internazionali.

Per restituire credibilità ad un percorso, oggi pericolosamente incerto, di riduzione delle emissioni mondiali di gas climalteranti, è ormai tempo che questa e altre eventuali proposte di nuovi meccanismi innovativi entrino a pieno titolo nel dibattito e nelle analisi dei soggetti istituzionali e di ricerca deputati a individuare una soluzione.

Note

- [1] Davis S., Caldeira K., *Consumption based accounting of CO₂ emissions*, Edited by Clark W.C., Harvard University, Cambridge, MA, 2010.
- [2] Stime effettuate mediante un modello Input-Output multi regionale. Emissioni di CO₂ per unità di *output* settoriale.
- [3] In realtà nessun sistema è in grado di garantire a priori un obiettivo di riduzione delle emissioni: anche i sistemi basati sul *cap and trade* di fatto non possono che prevedere esiti economici a fronte del superamento dei tetti prestabiliti.

La lotta alla desertificazione dopo la decima Conferenza delle Parti

■ Maurizio Sciortino

La Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione (UNCCD), istituita nel 1994, è l'unico accordo internazionale giuridicamente vincolante ove le connessioni, fra i temi dell'ambiente e dello sviluppo delle attività di produzione cibo e di gestione risorse del territorio, convergono e sono affrontate nel complesso intreccio che definiamo lotta alla desertificazione. Il nodo che la UNCCD si prefigge di dipanare è quello generato dalla povertà e del degrado delle zone aride, semi aride e sub-umide secche. Povertà e desertificazione sono fra loro strettamente connesse da relazioni di causa ed effetto su cui si cerca di intervenire per innescare un ciclo virtuoso di miglioramenti. Complessivamente le zone vulnerabili ricoprono il 41% della superficie globale e sono abitate da oltre 2 miliardi di persone. Le terre secche sono minacciate dal rischio di degrado per la loro fragilità ambientale e sociale a causa dei fenomeni ambientali (erosione, salinizzazione, deforestazione) e sociali (salute, sicurezza, demografia, povertà). Il benessere umano risulta, nelle terre secche, al livello più basso rispetto a tutti gli altri contesti e otto su venticinque 'punti caldi' a maggior rischio di perdita della biodiversità sono nelle terre secche dove un quinto della superficie è stata progressivamente degradata a partire dagli anni 80; Per affrontare i nodi irrisolti dello sviluppo e della salvaguardia dell'ambiente delle terre secche e per dare un rinnovato impulso alla lotta alla desertificazione la UNCCD ha avviato nel 2007 una nuova strategia (10 year strategy). Il bisogno di una

nuova strategia alla lotta alla desertificazione è risultato chiaro a tutti i paesi perché dopo i primi dieci anni di vita della Convenzione, le sue tematiche ancora non erano entrate a far parte delle agende locali, nazionali ed internazionali.

I primi dieci anni non sono però passati invano; i paesi affetti hanno iniziato nel 1996, dopo l'entrata in vigore della Convenzione, ad elaborare ed attuare i loro programmi di azione nazionale (NAP) attuando un approccio partecipativo che ha permesso di individuare i passi necessari ad affrontare i problemi specifici di ogni contesto geografico e nazionale.

I miglioramenti sociali ed ambientali ottenuti e la mobilitazione delle risorse nel decennio non sono stati giudicati soddisfacenti in quanto non si è stabilita fra paesi affetti e paesi sviluppati-donatori la necessaria sinergia a dare impulso alle attività di attuazione. I due blocchi di paesi hanno continuato a parlare linguaggi differenti senza trovare obiettivi comuni che permettessero di utilizzare al meglio le risorse che pure erano disponibili. È soprattutto apparsa evidente la mancanza del valore aggiunto derivante dall'attuazione della Convenzione e dei NAP da parte dei paesi affetti. La lotta alla desertificazione non è riuscita a fare breccia nelle burocrazie ministeriali ed è rimasta in attesa di una mobilitazione di mezzi e risorse che ancora non sono arrivati.

E così la UNCCD, alla ricerca di un possibile miglioramento, ha cambiato strategia elaborando la "10 year strategy", che stabilisce nuovi obiettivi e metodi di lavoro. A partire dal 2008 la lotta alla desertificazione non può più essere inquadrata fra le attività ordinarie svolte a prescindere dagli obiettivi e dai metodi della UNCCD ma deve essere programmata ed attuata in modo che le azioni siano

■ Maurizio Sciortino

ENEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale, Laboratorio Modellistica Climatica e Impatti

identificabili ed il valore aggiunto della Convenzione quantificabile.

Gli obiettivi e gli indicatori¹ della strategia rendono anche più facile comunicare ai decisori politici la direzione verso cui muoversi.

Gli obiettivi strategici della “10 year strategy” (2008-2018) sono:

- 1) migliorare le condizioni di vita delle popolazioni nelle zone affette
- 2) migliorare lo stato degli ecosistemi nelle zone affette
- 3) generare benefici globali.

I paesi affetti (compresa l'Italia) devono riallineare le loro attività di lotta alla desertificazione, dare impulso al ruolo giocato dalla conoscenza scientifica, e valutare i progressi ottenuti presentando un rapporto analitico basato sull'uso degli indicatori di impatto² alla prossima riunione del Comitato per la Revisione dell'Implementazione della Convenzione (CRIC) che si svolgerà a Bonn nel 2013.

La decima COP svoltasi in Sud Corea dal 10 al 21 ottobre ha adottato decisioni cruciali (40 decisioni³) per l'attuazione della Convenzione. Sono stati istituiti due gruppi di lavoro, dedicati agli indicatori di impatto ed alle opzioni per migliorare la base scientifica della UNCCD. Il primo gruppo lavorerà per rendere possibile anche ai paesi più poveri l'impiego di metodologie scientifiche per la valutazione degli indicatori di impatto, mentre il secondo vaglierà le opzioni e la fattibilità di un panel scientifico intergovernativo come richiesto da tutta la comunità scientifica internazionale. Sul piano finanziario sono state definite le modalità di accesso ai fondi che la Global Environmental Facility (GEF) ha destinato alle attività della Convenzione a beneficio dei paesi più poveri. Anche se lo stanziamento destinato alla desertificazione continua ad essere la minore delle tre convenzioni di Rio, 405 milioni di dollari contro i 1210 della biodiversità ed i 1360 dei cambiamenti climatici per il periodo 2010-2014, va sottolineato un incremento del 30% rispetto al periodo precedente. Una parte dello stanziamento sarà dedicato alle attività svolte nei singoli paesi per l'attuazione della Convenzione aprendo, per la prima volta, la strada ad una collaborazione fra UNCCD e GEF.

È stato inoltre lanciato un programma di borse di studio per sostenere la formazione dei giovani nelle discipline attinenti la lotta alla desertificazione ma le risorse per attuarlo non sono ancora state individuate.

La Corea del Sud, che ha ospitato la Conferenza, ha dato un segnale molto positivo lanciando una sua iniziativa a sostegno delle attività della Convenzione con un finanziamento straordinario che ha permesso di istituire un premio internazionale ed il finanziamento delle attività del comitato per la Scienza e la Tecnologia per i prossimi due anni.

Quindi la speranza di passare dalle parole ai fatti, cioè dalla programmazione all'attuazione, è viva e vegeta ma ora tutto dipenderà dalla volontà dei decisori nazionali di raccogliere questa opportunità ed orientare nella direzione giusta le risorse umane e finanziarie disponibili attribuendo alla lotta alla desertificazione una maggior priorità.

Ma l'Italia che fa? I Ministeri coinvolti a pieno titolo sono il Ministero dell'Ambiente per la tutela del Territorio e del Mare per le attività sul territorio nazionale ed il Ministero degli Affari Esteri per le attività di cooperazione allo sviluppo. La partecipazione italiana alle assise internazionali sulla desertificazione è stata sinora sempre onorata ai massimi livelli istituzionali ma questo ruolo di rappresentanza non esaurisce certo i compiti Italiani. Il Ministero dell'Ambiente dovrebbe riprendere le fila delle attività iniziate negli anni passati con le regioni e riattivarsi nei confronti dell'Unione Europea utilizzando i nuovi strumenti che sono a disposizione nei programmi delle DG Ambiente e Ricerca e Sviluppo. Dopo anni di intensa attività, coordinata da un apposito comitato nazionale, l'attenzione verso la desertificazione in Italia è progressivamente diminuita nonostante le dichiarazioni fatte nelle occasioni ufficiali.

Anche la ricerca scientifica potrebbe dare impulso alla lotta alla desertificazione sia a livello nazionale che internazionale se venissero meglio mobilitate e coordinate le risorse esistenti. In tempi di vacche magre se non vogliamo perdere il patrimonio di conoscenze e di esperienze faticosamente acquisito in anni di attività è necessario mettere a fattor comune tutte le risorse nazionali sviluppando si-

nergie e ottimizzando quanto disponibile per far fronte agli impegni.

L'Italia è stata sin dagli inizi fra i maggiori sostenitori della UNCCD e ospita tutt'ora a Roma le agenzie delle Nazioni Unite che coordinano programmi e progetti a pieno titolo inseriti nella lotta alla desertificazione. Sarebbe assurdo disperdere nel nulla i risultati che la presenza e l'impegno dell'Italia hanno contribuito a produrre (ricordo solo a titolo di esempio la "muraglia verde" in Sahel ed il sistema di gestione delle conoscenze locali e tradizionali) e sarebbe assurdo scomparire dallo scena senza raccogliere i frutti delle risorse e del lavoro investiti. Ma tutto questo richiede una volontà ed

una leadership capace di affrontare la complessità dei temi legati alla lotta alla desertificazione con le necessarie politiche ed azioni.

Note

- [1] La strategia ha introdotto due categorie di indicatori: indicatori di implementazione e di impatto. Gli indicatori di implementazione devono valutare a scala nazionale le iniziative prese per l'attuazione della convenzione mentre quelli di impatto sono finalizzati al monitoraggio dei cambiamenti ambientali e sociali sul territorio in riferimento alle condizioni di vita della popolazione.
- [2] Gli indicatori di impatto sono undici ma solo due verranno utilizzati per il primo ciclo di rapporti nazionali: Proportion of the population in affected areas living above the poverty line; Land cover status.
- [3] Le decisioni della COP10 sono consultabili <http://www.unccd.int/cop/cop10/Idec.php> ed un dettagliato resoconto dei lavori della conferenza dell'Earth Negotiations Bulletin si trova nella pagina web <http://www.iisd.ca/desert/cop10/>



Considerazioni economiche sulla produzione di energia eolica

Ponendo l'enfasi sul problema dell'approvvigionamento energetico mondiale, sul suo carattere non sostenibile e sulla rilevanza delle fonti rinnovabili di energia per una possibile risoluzione di tale problema, si effettuano alcune considerazioni di natura economica circa le componenti di costo essenziali inerenti sia l'energia generata, sia l'impianto stesso. A completamento dell'indagine, un ulteriore aspetto economico considerato concerne il costo delle esternalità ambientali associato alla produzione di energia elettrica, in modo tale da pervenire ad una stima del costo totale del kWh prodotto: sono, a tal fine, utilizzati come termini di confronto dati derivanti da alcune affermate ricerche in materia

■ Vera Amicarelli, Filippo Alberto Tresca

Introduzione

Si sta facendo sempre più strada nel mondo, soprattutto nei Paesi industrializzati, la convinzione secondo la quale l'odierna struttura dei consumi e degli approvvigionamenti energetici non potrà essere mantenuta inalterata lungo tutto il ventunesimo secolo.

I dati sugli approvvigionamenti di energia, ancora oggi, mostrano l'importanza dei combustibili fossili per i sistemi energetici mondiali: su un totale di poco più di 12.000 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) di fornitura di energia primaria disponibile commercialmente, più dell'85% deriva da carbone, prodotti petroliferi e gas naturale [1]. In un futuro ormai non tanto lontano, si pensa che questo dato possa aumentare, dal momento che gli studiosi, ragionando in termini assoluti, stimano, per il 2020, che il fabbisogno di energia primaria prodotta dalle suddette fonti fossili potrebbe essere vicino al 90%, specie se non si interviene con importanti ed efficaci politiche energe-

tiche [2]. Ciononostante si ritiene che le riserve mondiali di breve periodo di combustibili fossili già accertate saranno ancora in grado di fronteggiare in modo completo il fabbisogno di fonti primarie del mondo.

Queste semplici considerazioni sottolineano il carattere non sostenibile del nostro attuale modello energetico, il quale presenta un problema fondamentale: quello dell'esaurimento delle risorse.

È evidente che dalle fonti convenzionali di energia derivi anche un problema di natura ambientale che stimola la ricerca di soluzioni alternative, in grado di far fronte ai futuri crescenti fabbisogni energetici in modo sostenibile. Ponendosi come obiettivo quello di liberare l'umanità dall'attuale sistema energetico convenzionale, l'elemento strategico per un futuro sostenibile è certamente il maggior ricorso alle energie rinnovabili, le quali invece presentano la caratteristica della "rinnovabilità", ossia della capacità di produrre energia senza pericolo di esaurimento nel tempo, se ben gestite; esse producono inoltre un tipo di energia "pulita", cioè con minori emissioni inquinanti e gas serra [3-4].

Dopo aver illustrato brevemente l'attuale stato dell'arte della produzione di energia da fonte eolica, sintetizzando i dati provenienti dai report delle varie asso-

■ Vera Amicarelli

Ricercatore in Scienze Merceologiche, Università di Bari Aldo Moro

■ Filippo Alberto Tresca

Cultore e collaboratore di ricerca in Scienze Merceologiche, Università di Bari Aldo Moro

ciazioni di categoria, l'obiettivo della presente nota è quello di delineare brevi considerazioni di carattere economico, concentrandosi soprattutto sui costi dell'eolico, sia dal lato della produzione di energia elettrica, sia dal punto di vista della progettazione e costruzione di una wind farm.

Situazione generale dell'eolico

Nell'ambito delle fonti di energia rinnovabile, l'energia eolica rappresenta una tra le più interessanti soluzioni alle problematiche energetiche mondiali, come dimostrano i vari report pubblicati dall'International Energy Association (IEA) e dall'European Wind Energy Association (EWEA).

Una chiara spiegazione di questa affermazione si ricava dai dati: nel Global Wind Report pubblicato nei primi mesi del 2011 dal Global Wind Energy Council si afferma che l'energia eolica si presenta come la principale fonte energetica in molti Paesi, con oltre 197.000 MW di capacità installata in tutto il mondo e una crescita che assume carattere esponenziale (figura 1). Tale rapporto specifica inoltre che l'energia eolica potrebbe provvedere nel 2030 per circa il 22% alla produzione di elettricità mondiale [5].

La sua diffusione è ampia, interessando più di 60 Paesi e la tabella 1 illustra i dati per grandi aree geografiche. Come si nota, l'Europa ha un ruolo di primo piano nella produzione di energia da fonte eolica e tale espansione è stata favorita principalmente dalle politiche di incentivazione delle fonti rinnovabili adottate

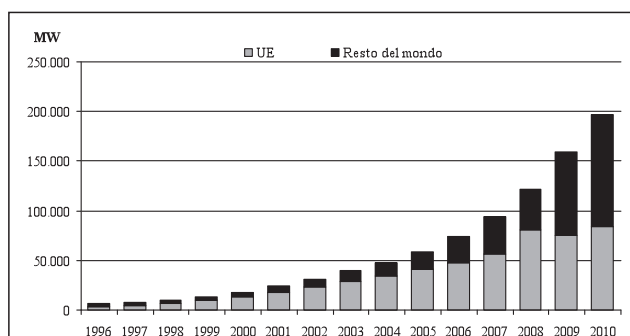


FIGURA 1 Capacità eolica cumulata installata nel mondo. Anni 1996-2010 (MW)

Fonte: elaborazione personale su dati [5;6]

Zona geografica	Capacità eolica 2010 (MW)	% di ripartizione
Africa/Medio Oriente	1.079	0,55
Asia di cui: Cina India	61.087 44.733 13.065	31,00 22,70 6,63
Europa di cui: Germania Spagna Italia	86.279 27.214 20.676 5.797	43,79 13,81 10,49 2,94
America del Nord di cui: Usa	44.189 40.180	22,43 20,39
America Latina	2.008	1,02
Oceania	2.397	1,22
TOTALE	197.039	100,00

TABELLA 1 Potenza eolica installata nel mondo suddivisa per area geografica

Fonte: elaborazione personale su dati [5]

dai vari Stati membri, comprendendo incentivi finanziari (incluse sovvenzioni per gli investimenti) e tariffe ridotte, con l'obiettivo di contribuire alla riduzione delle emissioni di gas serra.

Anche per quanto riguarda l'Italia, l'andamento della crescita del settore è stato esponenziale. I dati dell'ultimo rapporto dell'IEA (tabella 2) mostrano come alla fine del 2010 la capacità eolica installata dell'Italia sia di poco inferiore ai 5.800 MW, con un incremento rispetto all'anno precedente del 19,5%. È stato anche stimato che l'industria eolica italiana abbia fornito un'occupazione a circa 28.000 persone (considerando, in maniera allargata, anche i lavoratori ausiliari del settore), con un giro di affari stimato in circa 1,7 mi-

Potenza eolica installata in Italia	5.797 MW
Potenza eolica installata nel 2010	948 MW
Energia totale prodotta dal vento	8,37 TWh
Domanda nazionale di energia nel 2010	326,2TWh/anno
Contributo dell'eolico alla domanda nazionale di energia	2,60%

TABELLA 2 Situazione dell'eolico in Italia al 2010

Fonte: elaborazione personale su dati [1;6]

liardi di euro. Tuttavia, il contributo dell'eolico alla domanda nazionale di energia elettrica rimane ancora basso, attestandosi al 2,6%, rispetto ad una domanda nazionale di oltre 320 TWh/anno [1].

I costi dell'eolico

In generale, i costi della generazione di elettricità dal vento dipendono da vari fattori, in particolare dall'intensità del vento nel sito prescelto, dal costo delle turbine e delle relative attrezzature, dalla vicinanza alla rete elettrica nazionale e dall'accessibilità al sito.

Innanzitutto è opportuno ricordare come l'individuazione e le caratteristiche anemologiche del sito prescelto abbiano un'indubbia importanza economica, in quanto la fisica chiarisce che la potenza della vena fluida è proporzionale al cubo della velocità del vento: se quest'ultima dovesse raddoppiare, matematicamente si potrebbe ottenere un'energia otto volte maggiore [7].

Inoltre, rispetto ad una tradizionale centrale alimentata con combustibili fossili, una centrale a fonte rinnovabile è caratterizzata dall'assenza di oneri per il "combustibile", in quanto il vento è una risorsa assolutamente gratuita e perciò disponibile liberamente.

Si deve tener anche conto del fatto che, nel breve termine, i costi iniziali di investimento predominano rispetto a quelli di esercizio, comportando una particolare attenzione alla copertura finanziaria dell'investimento, in modo particolare se si ricorre a finanziamenti di terzi [8].

I costi dell'energia generata

Da oltre venti anni, ossia da quando l'industria del settore ha cominciato a raggiungere la sua maturità commerciale, il costo dell'energia eolica è in continua diminuzione, grazie alle economie di scala legate all'ottimizzazione dei processi produttivi, alle innovazioni e al conseguente miglioramento delle prestazioni delle macchine eoliche.

In letteratura esistono vari studi che stimano i costi dell'energia generata da impianti eolici (a titolo di esempio, si vedano [9-14]). È importante sottolineare come molti di questi studi utilizzino l'approccio del "costo di produzione costante dell'energia", rapportato all'intera vita operativa dell'impianto, meglio cono-

sciuto con l'acronimo LCOE (*Levelized Cost of Energy*). Questo tipo di approccio, utilizzato per confrontare il costo della generazione elettrica delle diverse fonti (fossili e non), tiene conto dei costi di investimento del capitale, del costo delle operazioni di manutenzione degli impianti (O&M) e del costo del combustibile; costituisce inoltre un punto di riferimento nelle analisi dei costi di produzione dell'energia elettrica derivante dalle diverse fonti esistenti. Studi recenti [15] evidenziano come il costo del capitale risulti essere il principale componente per le tecnologie non fossili, mentre, al contrario, il costo del combustibile ha un peso molto grande per la maggior parte di quelle fossili. Questa affermazione si può dedurre dalla tabella 3, dalla quale è possibile notare sia *range* di costo abbastanza ampi per molte tecnologie rappresentate, espressi in cent€/kWh considerando il tasso di cambio dollari/euro del 2010, sia il differente peso, espresso in termini percentuali, delle principali componenti di costo sul LCOE. Per la costruzione di tale tabella sono state considerate tecnologie esistenti in zone geografiche nelle quali si registra una maggiore capacità eolica installata (corrispondenti sostanzialmente alle aree indicate in tabella 2); in secondo luogo, i *range* di LCOE corrispondono ai valori estremi indicati per ciascuna fonte, mentre per il calcolo dei pesi delle componenti di costo è stata utilizzata una media di LCOE per fonte. A fini comparativi sono stati poi utilizzati due differenti tassi di sconto del capitale investito (5 e 10%).

Dall'analisi dei costi riportati in tabella 3 si evince inoltre che riducendo le spese di investimento si potranno ottenere riduzioni nel costo finale del kWh per l'eolico ed in generale per le fonti rinnovabili considerate. Ad esempio secondo il report dell'European Wind Energy Association (EWEA), in questo modo è possibile ridurre il costo finale per l'eolico di circa 0,5 cent€/kWh [6]. Con un simile scenario si può immaginare come il ruolo dell'energia eolica sarà sempre più preponderante. Allargando l'analisi dei costi di produzione anche agli aspetti ambientali è stata costruita la tabella 4 nella quale, oltre alla sintesi della stima dei costi dell'eolico e di altre fonti (riga "a") vengono evidenziati i costi legati alle esternalità (righe "b" e "c") [11-19]. In particolare nella riga "b" sono riportati i valori relativi all'abbattimento della CO₂ calcolati

ad un costo di circa \$25/t, pari a circa €18/t con il tasso di cambio del 2010. È utile sottolineare che i dati riportati nella tabella 4 (riga “a”) confermano i valori del LCOE (tabella 3) perché risultano compresi nell’intervallo considerato e rappresentano in particolare le stime di costo più ricorrenti.

Come si può notare dalla tabella 4, appare ovvio che al momento la competitività delle fonti rinnovabili (riga “a”) dipende dai sistemi di incentivazione adottati dai singoli Paesi, ma tali fonti, però, apportano dei be-

nefici ambientali, al contrario delle fonti convenzionali (righe “b” e “c”). A tal proposito, per un livello di analisi del costo più profondo, si può aggiungere la valutazione delle esternalità, in un’ottica di integrazione tra aspetto economico ed aspetto ambientale.

Il concetto di esternalità, mutuabile dalle scienze economiche, si riferisce a quei costi che non rientrano nel prezzo di mercato e pertanto non ricadono sui produttori e sui consumatori, ma vengono globalmente imposti alla società: nell’accezione considerata, si tratta

Tecnologia	Tasso di sconto 5%				Tasso di sconto 10%			
	LCOE	Percentuale su LCOE (%)			LCOE	Percentuale su LCOE (%)		
	cent€/kWh	Capital	O&M	Fuel & Carbon	cent€/kWh	Capital	O&M	Fuel & Carbon
Eolico (onshore)	2,6 - 13,1	75	25	0	2,6 - 18,9	82	18	0
Eolico (offshore)	8,2 - 15,2	71	29	0	11,8 - 21,1	79	21	0
Solare termale	11,0 - 17,1	83	17	0	16,3 - 26,1	96	4	0
Solare fotovoltaico	9,9 - 50,6	90	10	0	15,1 - 75,5	93	7	0
Nucleare	2,3 - 6,6	57	26	17	3,4 - 11,0	73	16	11
Carbone (PCC)	2,4 - 7,2	31	17	52	2,8 - 11,0	46	15	39
Carbone (USC)	2,4 - 6,6	37	13	50	5,6 - 8,2	54	10	36
Carbone (IGCC)	4,9 - 7,5	48	14	38	7,2 - 11,4	63	10	27
Gas (CCGT)	2,9 - 8,5	15	7	78	3,1 - 9,6	22	5	73
Fuel cells	14,6	34	27	39	17,2	44	23	33
Biomasse	4,3 - 10,5	46	18	36	6,5 - 12,5	57	15	28

TABELLA 3 Confronto del LCOE dell’eolico con altre tecnologie (cent€/2010/kWh). Con riferimento al carbone, si sono considerate le seguenti tecnologie: PCC (Pulverised Coal Combustion), USC (Ultra Super Critical), IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle); per il gas si è fatto riferimento alla tecnologia CCGT (Combined Cycle Gas Turbine)

Fonte: elaborazione personale su dati [15]

Costi (Cent €/kWh)	Carbone	Gas	Nucleare	Eolico	Fotovoltaico	Biomasse
Costo industriale dell’elettricità prodotta (a)	4,45	4,65	6,00	5,50	14,00	6,00
Costo delle emissioni di CO ₂ (b)	1,50	0,65	0,40	–	–	–
Costo delle altre esternalità ambientali negative (c)	1,40	0,75	0,17	0,08	0,70	1,80
di cui il costo di tutela della salute umana	1,20	0,60	0,13	0,05	0,55	1,30
Costo totale (a+b+c)	7,35	6,05	6,57	5,58	14,70	7,80

TABELLA 4 Stima del costo totale di produzione dell’energia elettrica da varie fonti, comprensivo del costo delle esternalità ambientali negative

Fonte: elaborazione personale su dati [17-19]

di esternalità negative o diseconomie. I primi studi incentrati sulla valutazione economica delle esternalità ambientali risalgono alla seconda metà dell'Ottocento, anche se l'applicazione empirica delle varie metodologie è stata riscoperta di recente.

Nel caso specifico delle fonti rinnovabili di energia, le esternalità comprendono, ad esempio, i danni recati all'ambiente e alla salute dell'uomo durante l'intero ciclo di uno specifico combustibile e della relativa tecnologia (acquisizione della risorsa-realizzazione ed esercizio dell'impianto-dismissione). Complessivamente, si può stimare che i costi esterni – non inclusi nelle tariffe del kWh a carico dei consumatori e quindi sostenuti dalla società nel suo complesso – rappresentano circa il 2% del prodotto interno lordo dell'Unione Europea¹ [3].

Nella seconda metà degli anni Novanta del secolo scorso è stato sviluppato in Europa un progetto denominato ExternE (Externalities of Energy), con l'obiettivo di sistematizzare i metodi ed aggiornare le valutazioni delle esternalità ambientali associate alla produzione di energia, con particolare riferimento all'Europa. Il progetto in questione è basato su una metodologia di tipo bottom-up, la Impact Pathway Methodology, per valutare i costi esterni associati alla produzione di energia confrontandoli con varie tipologie di combustibili e tecnologie [20]. La metodologia del progetto ExternE, a sua volta, si suddivide in varie fasi, tra le quali si menzionano la fase relativa alla selezione degli impatti rilevanti, la descrizione di tali impatti rilevanti nella loro sequenzialità (emissione-deposizione al suolo o permanenza nell'atmosfera-identificazione dei recettori), quantificazione fisica degli inquinanti.

I dati del progetto ExternE sono aggiornati al 2005; tuttavia vi sono altri progetti di ricerca che stimano i costi esterni delle fonti di energia, utilizzando la stessa metodologia ExternE. Uno di questi, che offre dati aggiornati al 2008, è il progetto CASES (Cost Assessment of Sustainable Energy Systems). Una sintesi dei costi indicati nel progetto appena citato (che dovrebbero essere aggiunti a quelli industriali) è schematizzata nella riga "c" della tabella 4.

Questa voce di costo (riga "c"), non può ovviamente essere esaustiva, per l'eolico sarebbe infatti, opportuno includere anche i costi relativi all'occupazione del territorio, all'impatto visivo, al rumore, agli effetti sulla

flora e la fauna. Poiché questi effetti indesiderati hanno sostanzialmente luogo su scala locale, diventa estremamente difficile monetizzarli per includerli in una stima del costo totale dell'energia elettrica prodotta da fonte eolica. Questa difficoltà non può e non deve significare ignorare il peso di questi effetti indesiderati quanto piuttosto cercare di ridurli. Integrare nel paesaggio le torri eoliche visibili evidentemente da molto lontano non è cosa facile ma modificando ad esempio il colore si può cercare di attenuare il riverbero della luce solare sulle parti metalliche. Il rumore emesso da un aerogeneratore, causato dall'attrito delle pale con l'aria e dal moltiplicatore di giri, può essere smorzato migliorando l'inclinazione delle pale e la loro conformazione nonché ottimizzando la struttura e l'isolamento acustico della navicella.

In ogni caso dalla tabella 4 si evince come l'eolico rappresenti, tra le fonti rinnovabili, una delle soluzioni più economiche, in un'ottica di costo totale, comprensivo della valutazione delle esternalità ambientali negative. L'eolico risulta vantaggioso anche con riferimento al fotovoltaico e all'utilizzo delle biomasse, dovendo affrontare – queste ultime fonti – alcune particolari problematiche tecnologiche, all'interno dei loro settori di riferimento, che causano un maggior costo del kWh prodotto.

Da quanto sopra affermato, si desume come il vantaggio dell'utilizzo dell'eolico debba essere rapportato anche agli obiettivi di riduzione delle emissioni di anidride carbonica e ai relativi costi dei permessi di emissione. Questi ultimi sono tipici strumenti di *command and control* e consentono alle imprese di immettere sostanze inquinanti nell'ambiente fino ad una certa quantità; ogni azienda riceve dei permessi per le emissioni inquinanti e la quantità di permessi posseduti indica l'entità delle emissioni che le sono consentite. Esiste in realtà un mercato dei permessi, che offre la possibilità alle imprese che hanno costi di abbattimento elevati di poter acquistare altri permessi da imprese che sono disposti a venderli (perché hanno costi di abbattimento minori, oppure hanno un livello di emissioni che può essere coperto da un numero di permessi inferiore rispetto a quello in loro possesso).

Inoltre, bisogna considerare come il settore delle rinnovabili sia necessariamente condizionato da questioni politiche e normative, in quanto la loro redditività è

strettamente connessa alla presenza degli incentivi. Tuttavia, la mancanza ad oggi di una politica nazionale di lungo termine uniforme, stabile e chiara per la definizione delle linee guida e delle traiettorie di espansione delle fonti rinnovabili non ha permesso di dare quel sostegno e quella certezza necessari ad attirare maggiori quote di capitale d'investimento [21].

Nonostante il recepimento nell'ordinamento nazionale italiano della Direttiva 2009/28/CE, avvenuto con l'approvazione del D.Lgs 3 marzo 2011 n. 28, dopo gravi ritardi nell'adozione di norme che regolano il settore delle rinnovabili, i provvedimenti su tale tema continuano ad essere caratterizzati da una certa nebulosità. Tali fattori, oltre alla progressiva riduzione del valore dei certificati verdi ritirati dal Gestore dei Servizi Elettrici (fissando attualmente il prezzo del ritiro al 78% di quello massimo di riferimento) e alla diffusa incertezza nel settore, hanno sostanzialmente paralizzato tutto il comparto: le installazioni odierne sono, infatti, il frutto di progetti presentati negli anni passati, mentre i nuovi progetti risultano bloccati. Ciò può essere chiarito considerando che la riduzione del prezzo dei certificati verdi è arrivata ad un livello per cui le banche non riescono a recuperare il loro finanziamento: attualmente, molti campi eolici risultano essere tecnicamente in default e le banche bloccano i finanziamenti per i nuovi progetti.

I costi della wind farm

L'investimento iniziale per la costruzione di un impianto eolico rappresenta la voce di costo più significativa di cui è necessario tener conto per poterne analizzare la redditività.

Lo sviluppo dell'iniziativa comprende una serie di fasi, come l'individuazione e le caratteristiche anemologiche del sito, la progettazione dell'impianto, l'iter amministrativo (concessioni edilizie, valutazione di impatto ambientale ecc.) ed il collegamento alla rete. Dal punto di vista economico queste, pur assorbendo una quota che va dal 2 al 5% dell'investimento totale, presentano un rilevante impatto sulla redditività e sul controllo dei tempi dell'iniziativa. Analiticamente, dei costi relativi all'esercizio e alla manutenzione degli impianti si può tenerne conto in due modi diversi e, cioè, sotto forma di valore annuo complessivo espresso in percentuale dell'investimento delle macchine

	Investimento (€ 1000/MW)	Percentuale su investimento
Turbina	928	75,6
Fondazioni	80	6,5
Installazioni elettriche	18	1,5
Connessione alla rete	109	8,9
Sistemi di controllo	4	0,3
Spese per consulenze	15	1,2
Costo del terreno	48	3,9
Costi finanziaria	15	1,2
Collegamento viario	11	0,9
Totale	1228	100,0

TABELLA 5 Struttura dei costi di una turbina da 2 MW installata in Europa
Fonte: [17]

eoliche, oppure direttamente come stima di costo per unità di energia prodotta, misurata in €/MW. Nella tabella 5 è sintetizzato un esempio di struttura di costi di un investimento in una turbina eolica da 2 MW, espresso come percentuale dell'investimento complessivo [17].

Il costo di una turbina eolica comprensivo di acquisto, trasporto, montaggio ed avviamento è direttamente proporzionale a certe caratteristiche tecniche, come il diametro del rotore o l'altezza della torre, piuttosto che alla semplice potenza nominale. Proprio tale voce di costo ha tratto dei benefici di scala grazie all'aumento delle dimensioni unitarie delle macchine: attualmente, in Italia, il costo di una macchina eolica da almeno 850 kW si aggira tra 600.000 e 700.000 €². In un'iniziativa commerciale, i costi di investimento direttamente imputabili agli aerogeneratori coprono dal 65 al 78% dell'investimento complessivo [8].

I costi che si riferiscono alla realizzazione delle restanti parti dell'impianto sono attribuibili sostanzialmente ad opere civili (fondazioni, scavi per cavidotti ecc.), opere elettromeccaniche (box per quadri elettrici e trasformatore da bassa a media tensione, cablaggi interrati per il collegamento elettrico delle macchine al punto di raccolta ecc.) e il collegamento alla rete. Molti di questi costi sono fortemente variabili a causa delle caratteristiche del sito scelto: infatti, la

morfologia e la struttura del terreno influenzano i costi delle fondazioni e della viabilità, l'accessibilità del sito influisce sui costi di trasporto, la distanza delle preesistenti linee di trasmissione influenza i costi per la connessione alla rete elettrica. Per cui, il costo totale per kW installato di un impianto eolico differisce in maniera significativa a seconda del Paese di riferimento, oscillando, in generale, tra 1.000 €/kW e 1.350 €/kW [17].

Le problematiche inerenti la morfologia del territorio sono valide anche per l'Italia: infatti i costi di investimento in centrali eoliche risultano essere maggiori rispetto ad altri Paesi, dal momento che la maggior parte degli impianti è installata in aree collinari o montane, a volte difficilmente accessibili, con conseguente aumento di tutta la gamma di costi in precedenza considerata.

Inoltre, un altro fattore che influisce negativamente sui costi, da molti operatori considerato uno dei principali ostacoli alla crescita delle rinnovabili, è la durata delle procedure amministrative: esistono degli elementi (come l'eccessiva discrezionalità nell'autorizzazione degli impianti da parte degli Enti locali, la lunghezza dell'iter burocratico e una ridotta accettabilità sociale delle fonti rinnovabili) che contribuiscono ad aumentare inesorabilmente i costi dell'investimento e a rallentarne soprattutto i tempi di ritorno, portando quindi a frenare complessivamente la propensione ad investire in questi settori [21-22].

Da queste considerazioni si può capire come in Italia il costo medio per una configurazione tipica di impianto eolico installato a terra con una potenza complessiva media di 20 MW, in un sito di media complessità, può essere valutato 1.740 €/kW, con un intervallo che va da 1.550 €/kW, per grandi impianti installati in aree a bassa complessità ad un massimo di 2.000 €/kW, per piccoli impianti installati in siti ad orografia complessa [1].

Un'ultima considerazione concerne la dismissione degli impianti al termine della vita utile, prevista normalmente in 20 anni. In una simile evenienza l'impianto ha bisogno di essere smantellato, anche se questo non comporta necessariamente l'abbandono del sito, in particolar modo quando esso presenta buone risorse eoliche. Una soluzione può essere individuata nella sostituzione delle macchine installate con aerogenera-

tori tecnologicamente più avanzati. Tale soluzione è conosciuta con il termine *repowering* e può essere utile soprattutto a quei Paesi che hanno difficoltà a reperire siti idonei. Stante questa soluzione, bisogna ugualmente prevedere la rimozione delle vecchie macchine: il costo di rimozione di un singolo aerogeneratore può oscillare tra i 20.000 e i 40.000 €, senza però tener conto dei costi necessari per la bonifica in caso di abbandono definitivo del sito e dell'eventuale valore residuo delle macchine nelle ipotesi di riciclo dei materiali [17].

Conclusioni

Oggi si avverte l'importanza e la necessità di una rivoluzione tecnologica che sviluppi e affermi definitivamente le fonti di energia rinnovabili. L'eolico è, tra queste ultime, quella che mostra assieme alle biomasse un tasso di sviluppo maggiore e delle caratteristiche economiche migliori rispetto alle altre. Un passaggio alle energie rinnovabili presuppone un cambiamento strutturale economico profondo e di ampia portata che ovviamente non è realizzabile senza contrasti e soprattutto con la volontà concorde dell'industria energetica tradizionale: il complesso economico-energetico è infatti il settore più grande e più potente dell'economia mondiale [4].

La crescita delle fonti rinnovabili è ostacolata, inoltre, dalla difficoltà di valutare correttamente le esternalità associate alla produzione di energia, che fanno apparire costose queste opzioni tecnologiche laddove ci si limiti a considerare i soli costi privati e non anche i costi sociali: si ritiene che una corretta valutazione dei costi ambientali, infatti, possa ridimensionare il divario di costo con le fonti fossili, fino addirittura ad annullarlo in molti casi, soprattutto con gli attuali costi dei combustibili.

È importante sottolineare che i costi di investimento nelle energie rinnovabili sono alti e una buona redditività degli impianti si ottiene solo a condizione che si accettino tempi di ritorno del capitale investito abbastanza lunghi (solitamente superiori ai 15 anni).

Si tratta in definitiva di un vero e proprio cambiamento culturale che, con una precisa e diffusa informazione, potrebbe gettare le basi per un vero cambiamento paradigmatico di natura epocale. Evidentemente la questione non riguarda la scelta tra una risorsa rinno-

vabile e un'altra: la soluzione potrebbe essere coerentemente ravvisata nell'utilizzo di un *mix* di fonti rinnovabili, a seconda delle peculiarità morfologiche e climatiche del sito prescelto.

Accanto alle problematiche di sviluppo legate alla tecnologia e agli investimenti, un altro ostacolo allo sviluppo di queste fonti è costituito dalle scelte dei decisori pubblici e privati. Sarebbe auspicabile un intervento pubblico più convinto per cercare di indirizzare le politiche energetiche nazionali e internazionali verso scelte ottime sul piano sociale [20], in maniera tale da rendere concrete nuove opportunità; e questo ancor prima di badare alla necessità di fornire una prospettiva sostenibile al sistema energetico. Come sostenuto da Scheer [4], insistere sulla strada tradizionale, pur con una maggiore prudenza, è altamente pericoloso.

Note

- [1] Si consideri che il PIL dell'Unione Europea ammonta a più di 15 milioni di miliardi di euro (dato del Fondo Monetario Internazionale al 2010); di conseguenza, si può facilmente immaginare come il valore dei costi esterni sia praticamente enorme.
- [2] Dato attualmente ancora valido (fonte: Gamesa Eolica, per turbine G52 e G58 da 850 kW).

Bibliografia

- [1] International Energy Agency (IEA) (2011), *2010 IEA Wind Annual Report*.
- [2] European Commission (2003), *World Energy, Technology and Climate Outlook 2030 (WETO)*, EUR 20366.
- [3] Silvestrini, G., Gamberale, M. (2004), *Eolico: paesaggio e ambiente*, Franco Muzzio, Roma.
- [4] Scheer, H. (2006), *Autonomia energetica. Ecologia, tecnologia e sociologia delle risorse rinnovabili*, Edizioni Ambiente, Milano.
- [5] Global Wind Energy Council (GWEC) (2011), *2010 Global Wind Energy Outlook*.
- [6] European Wind Energy Association (EWEA) (2011), *Wind in Power. 2010 Annual Statistics*.
- [7] Pallabazzer, R. (2004), *Sistemi Eolici*, Rubbettino, Catanzaro.
- [8] Pirazzi, L., Vigotti, R. (a cura di) (2004), *Le vie del vento. Tecnica, economia e prospettive del mercato dell'energia eolica*, Franco Muzzio, Roma.
- [9] Nuclear Energy Agency (NEA)/International Energy Agency (IEA) (2005), *Projected Costs of Generating Electricity. 2005 Update*, Parigi.
- [10] European Commission (2005), *Externalities of Energy – ExternE project*, <http://www.externe.info>.
- [11] Kammen, D.M., Pacca, S. (2004), *Assessing the Cost of Electricity*, Annual Review of Environment and Resources, 29: 301-344.
- [12] Lazard Ltd. (2008), *Levelized Cost of Energy Analysis – Version 2.0*.
- [13] Sovacool, B.K. (2007), *Coal and Nuclear Technologies: creating a false dichotomy for American Energy Policy*, Policy Science, 40: 101-122.
- [14] Roth, I.F., Ambs, L.L. (2004), *Incorporating Externalities into a Fuel Cost Approach to Electric Power Generation Life-Cycle Costing*, Energy, 29: 2125-2144.
- [15] IEA (2010), *Projected costs of generating electricity*, Paris, ISBN 978-92-64-08430-8
- [16] United States Department of Energy/ United States Energy Information Administration (DOE/EIA) (2011), *International Energy Outlook 2011*, DOE/EIA-0484.
- [17] European Commission (2010), *Wind Energy: the facts. Volume II: Cost and Prices*.
- [18] Renewable Energy Policy Network for 21st Century (REN21) (2010), *Renewables 2010 – Status Report*.
- [19] European Photovoltaic Industry Association (EPIA) (2011), *Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World*.
- [20] ENEA (2005), *Le fonti rinnovabili. Lo sviluppo delle rinnovabili in Italia tra necessità ed opportunità*, Roma, ISBN 88-8286-128-7.
- [21] ENEA (2010), *Le fonti rinnovabili. Ricerca e innovazione per un futuro low-carbon*, Roma, ISBN 978-88-8286-224-4.
- [22] Arsuffi, G., Arena, A. (2011), *Energia Eolica*, Quaderni dell'ENEA, Roma.



Bacteria endosymbionts: a source of innovation in biotechnology for the control of vector-borne diseases

Currently available strategies to fight mosquito vector-borne diseases are insufficient, and new approaches need to be developed according to modern economical and ecological sustainability parameters. In this review we discuss the recent advances in the exploitation of endosymbiotic bacteria as biological tool for mosquito vector control, in particular for *Aedes* species, to which the asian tiger mosquito, widely spread also in Italy, belongs. The alfa-proteobacteria *Wolbachia* are among the most common intracellular bacteria and have recently emerged as important drivers of arthropod biology. *Wolbachia* commonly act as reproductive parasites in arthropod inducing cytoplasmic incompatibility (CI) a type of conditional sterility between hosts harbouring incompatible infection types. Two main strategies of using this bacterium for mosquito vector control are presented: (1) the first, treated more extensively, since it directly involves ENEA research activity, exploits cytoplasmic incompatibility as natural source of sterility in place of ionizing radiation for the sterile insect technique (renamed Incompatible Insect Technique), (2) the second, uses the reproductive advantages, conferred by the incompatibility cytoplasmic to infected females, to promote the invasion and ultimately the replacement of natural populations, with individuals carrying advantageous phenotypic traits like low pathogen competence. New scientific evidence regarding the interaction between the symbiotic bacteria and its effects on the hosts, in particular the interference with their ability to transmit pathogens, is further increasing the interest of biologists and entomologists to the study of these symbiotic associations arthropod-bacterium

■ Maurizio Calvitti

■ Maurizio Calvitti

ENEA, Technical Unit for Sustainable Development and Agro-Industrial Innovation

Batteri endosimbionti: una fonte di innovazione nelle biotecnologie per il controllo delle malattie trasmesse da zanzare vettori

Le strategie di lotta, attualmente disponibili, per combattere malattie trasmesse da specie di zanzare vettori sono ancora insufficienti e nuove tecnologie devono essere sviluppate nel rispetto dei più moderni parametri di sostenibilità economica ed ecologica. In questa review si analizzano i recenti progressi scientifici compiuti nell'impiego di batteri endosimbionti di artropodi per il controllo biologico delle zanzare vettori di malattie umane, in particolare per le specie del genere *Aedes*, cui appartiene la zanzara tigre ampiamente diffusa nel nostro paese. Gli alfa-proteobatteri del genere *Wolbachia* sono tra i batteri intracellulari più comuni negli artropodi con un importante ruolo di modificatori della biologia riproduttiva dei loro ospiti.

Wolbachia, normalmente, si comporta come parassita riproduttivo inducendo, tra le altre modifiche riproduttive, una forma di sterilità condizionale (incompatibilità citoplasmatica) tra individui di una stessa specie che presentano un diverso status infettivo (infezione con ceppi diversi, o presenza contemporanea di individui infetti e non infetti). Due principali strategie di impiego del batterio vengono discusse: (1) la prima trattata ampiamente, perché direttamente vede impegnati ricercatori ENEA, che sfrutta l'incompatibilità citoplasmatica come fonte di sterilità in sostituzione delle radiazioni ionizzanti nei programmi di lotta col maschio sterile (SIT); (2) la seconda che sfruttando i vantaggi riproduttivi conferiti dalla incompatibilità citoplasmatica alle popolazioni infette, rispetto a quelle non infette, mira alla in invasione, ed in ultima analisi alla completa sostituzione, di popolazioni naturali, con individui portatori di caratteristiche fenotipiche vantaggiose per l'uomo (ad esempio bassa patogeni trasmissibilità di malattie). Nuove evidenze scientifiche riguardo all'interazione tra il batterio simbiote e i suoi effetti sugli ospiti, in particolare l'interferenza con la loro capacità di trasmettere patogeni, sta incrementando ulteriormente l'interesse dei biologi e degli entomologi verso lo studio di queste associazioni simbiotiche artropode-batterio

Introduction

Mosquito vector-borne diseases such as malaria, leishmaniasis and dengue still represent a significant threat to human health despite considerable national and international efforts [1]. Increased urbanization, migration and poor environmental sanitation are some of the major causes of the emergence and re-emergence of vector-borne diseases in developing countries [2]. In addition, due to the effects of global warming [3] re-emerging arboviral pathogens such as dengue and chikungunya (CHIKV) viruses are becoming an increasing threat also in temperate regions [4].

In 2007 an unprecedented outbreak of CHIKV occurred in Italy, supported by the vector mosquito *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Diptera, Culicidae) [5]. This mosquito species, commonly known as the Asian tiger mosquito, is currently among the most invasive insect species of the world. Following the outbreaks of chikungunya virus in the Indian Ocean

islands in 2005-2006 [6] and in Italy in the summer of 2007 (207 cases) [7], the *European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) closely collaborated with experts in entomology to ensure a comprehensive understanding of the vector-related risk for introduction of the virus in Europe [9]. The concept that vector control remains a key option in the general strategy to reduce the incidence of vector mediated diseases in humans is now consolidated in the scientific community. This should be a strong incentive to focus research efforts towards the development of innovative technologies for vector control.

Scepticism towards the existing vector control strategies

The prevention and control of vector-borne diseases in the early 20th century was effectively achieved through the effective control of vector populations. The best examples are the control of

the vector of yellow fever in South America during the early 1900s and the worldwide control of malaria vectors in the 1950s through the 1970s [10]. These successes lead to considerable optimism that these diseases might even be eradicated by using insecticide-based vector control measures and drugs for their prevention and treatment. However, these expectations were short lived because of increasing vector insecticide resistance, harmful effects of certain insecticides on the environment, and lack of resources as well as logistical difficulties associated with implementation of such plans. Clearly, currently available strategies to fight vector-borne diseases are insufficient, and new approaches need to be developed according to modern economic and ecological sustainability parameters.

***Aedes albopictus* in Italy**

A few years since its introduction into Italy in 1990 [8], *Ae. albopictus* has become the most noxious and problematic mosquito species in the country. The colonization process occurred very quickly, mainly through passive transportation, and this species is currently found in all the Italian territory (Figure 1), including the main islands [9].

In Italy, current control methods against *Ae. albopictus* (larval control, source removal, community participation) show unsatisfactory results in terms of sustainable reduction of vector density (data not published). It could be argued that the main reason for the weakness of conventional control practices lies in the eco-ethology of the species that makes it very adaptable to colonize a number of artificial habitats. Larval sites are often located in private properties, thus making control by public institutions extremely difficult because of limited access to private properties and to the high costs of running programs. So far, community participation campaigns to control mosquito breeding sites, even when regularly conducted with professional methods, have never achieved a sufficient level of active participation from citizens for tangible results to be seen (unpublished data).

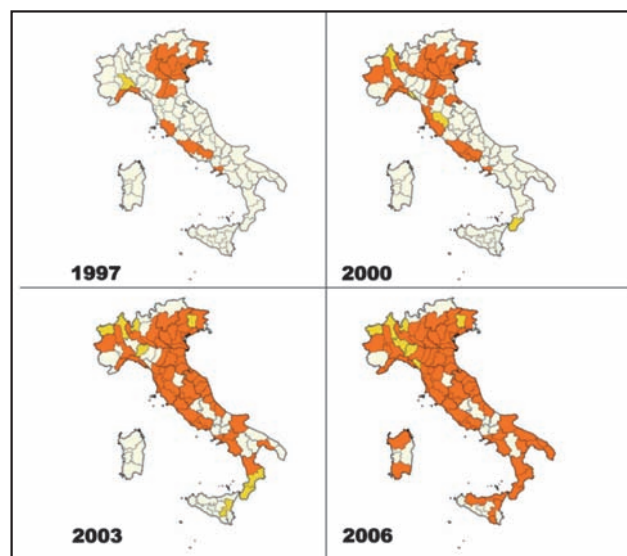


FIGURE 1 Expansion of *A. albopictus* in Italy
Source: Modified from Schaffner et al., 2007

Sterile Insect Technique (SIT) for mosquito control

In the early 2000, the Centro Agricoltura Ambiente “G. Nicoli” (CAA), in cooperation with ENEA (Italian National Agency for New Technologies, Energy and sustainable Economic Development), started developing a sterile insect technique (SIT) to be included in an integrated control program for the Asian Tiger Mosquito in Italy [11].

Nowadays interest in SIT for vector control has resurfaced, driven by the availability of new technologies that have the potential to provide significant cost-effectiveness improvements for SIT, as well as by recognition of the limits of current vector control strategies [13]. SIT are species-specific and environmentally non-polluting methods that rely on the release of large numbers of sterilised insects [14, 16]. Mating of released sterile males with native females leads to a decrease in the female reproductive potential and ultimately, if males are released in sufficient numbers over a sufficient period of time, to the local elimination or suppression of the pest population. Used with an area-wide approach, SIT made it possible to eradicate or suppress pests such as the New World screwworm

Cochliomyia hominivorax Coquil (Diptera: Calliphoridae (from the USA, Mexico and Central America and more recently in Libya) [15]. In Italy this technique was successfully applied in the 1970s to suppress the Mediterranean fruit fly (*ceratitis capitata*) from the isle of Procida by a project carried out by ENEA and coordinated by the IAEA, International Atomic Energy Agency [17].

Some biological and ecological features make *Ae. albopictus* a good candidate for the application of SIT. *Aedes* species are relatively easy to manage under artificial mass rearing conditions, and a pilot model system to rear *Ae. albopictus* has already been set up at the CAA facility in Crevalcore, Italy [12]. The genetic differentiation observed among the Italian populations showed the existence of structured populations at the regional geographic scale with restricted gene exchange among them [18]; the active dispersal of the species is recognized to be limited to a few hundred meters [19, 21]. Moreover, in temperate areas like Northern Italy, the outdoor reproduction is impossible for 5-6 months and winter survival relies on the eggs entering a state of diapause [19]. The naturally high egg mortality during the winter results in a very low vector density at the beginning of the favourable season [22]. This appears to be the right time to apply a "birth control strategy" against the Asian tiger mosquito in Italy.

Mosquito sterilization: technical issues

Males of *Ae. albopictus* may be easily sterilised through ionizing radiations by exposing mature pupae to a dose of 30-40 Gy γ -rays [23]. Overall, the technique requires laborious handling procedures to prepare pupae for irradiation and transportation, in addition to the need for a radiation source, which is an expensive tool that needs an infrastructure requiring a substantial regulatory framework. This is a minor issue when the SIT is applied following a centrally coordinated area-wide program as in the case of screwworm or fruit-flies eradication programs [24]; in contrast, it can become a constraint when trying to achieve localized suppression of the target pest. In the latter case, the application of SIT requires that most of sterile males releases are con-

centrated in early summer before the occurring of the first population outbreak. Releases of sterile males should be widely distributed, targeted on those areas predicted to be suitable for mosquito spread like parks, residential gardens and villages and to be supported by community participation for an easier access into private areas.

Developing a technology to produce *ready-made sterile males*, avoiding sterilization with gamma rays, could improve the overall competitiveness of the released insects, allowing to use a *scattered release* approach more suitable against an irregularly distributed species like *Ae. albopictus* in Italy.

Furthermore, the development of *insect transgenesis* technology, is making major progress in this direction and it is about to produce innovative solutions to control insect pests and vectors. The main goals of *insect transgenesis* may be divided into three major categories:

- to make vectors incapable of transmitting the plasmodium protozoa parasite or viruses and use transgenic lines to replace natural vector populations;
- to induce male sterility by way of sterile insect technique, avoiding radiation sterilization and its negative impact on male fitness [25, 26]
- to develop genetic sexing strains to separate sterile males from females [27] for SIT.

Since separation of sexes remains a critical process for SIT approaches, accidental release of infected females should be avoided. Handling a genetic sexing strain would be a strong improvement of SIT. Nevertheless, the effectiveness of the transgenic approach for mosquito (or other pests) population control is under study [25, 26, 28] and the rigorous evaluation of a strain's robustness both in mass-rearing and in field conditions would grant its successful utilization in the framework of SIT programmes. Moreover, issues related to the public acceptance of new technologies that rely on the release of transgenic material have not been resolved yet. In the present state, this aspect likely represents the major limit for the application of this technology due to a very complex regulatory framework for experimental use in open field conditions.

The endosymbiotic bacterium *Wolbachia*: a potent resource for the challenge of mosquito vector control

In the last decades scientists have given more and more theoretical attention to *Wolbachia pipientis*, (Alphaproteobacteria, Rickettsiales) (Figure 2), [29], a widespread intracellular bacterium, carried by an estimated 60% of insect species as well as by some crustaceans, mites and filarial nematodes.

The type species for the *Wolbachia* genus is *Wolbachia pipientis*, which was first discovered in the gonads of the mosquito *Culex pipiens* (Diptera, Culicidae) with no associate pathogenic symptoms [30]. Later the link between *Wolbachia* infection, the host and the existence of different crossing types was highlighted [31].

The symbiotic relationship between *Wolbachia* and mosquito is the result of a long coevolution whose effects confer reproductive advantages, realized through mechanisms of physiological conditioning. It has been demonstrated that *Wolbachia* infection induces different modifications in the reproduction of its hosts such as feminization of genetic males; parthenogenetic induction, which results in the development of unfertilized eggs; the killing of male progeny from infected females; and sperm-egg incompatibility which is referred to as cytoplasmic incompatibility (CI) [32].

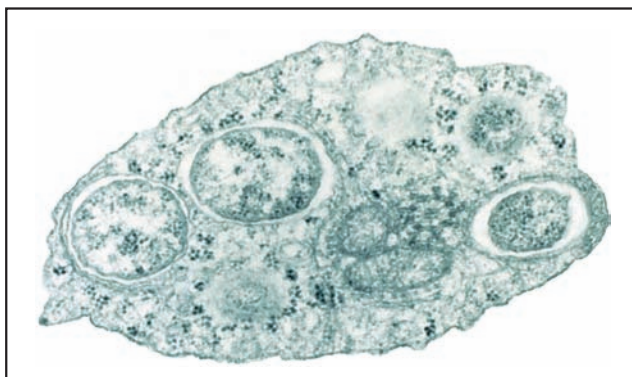


FIGURE 2 The endosymbiotic bacterium *Wolbachia pipientis*
Source: Genome Sequence of the Intracellular Bacterium *Wolbachia*. PLoS Biol 2/3/2004; e76.
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0020076>; Author: Scott O'Neill

These attributes are now being studied by many research groups with the aim to develop new technologies and strategies to achieve ground breaking improvements in pest and vector control.

Cytoplasmic incompatibility: a natural mechanism for pest and vector sterility

Cytoplasmic incompatibility (CI) is the most frequently found *Wolbachia*-induced phenotype and has been described in several arachnids, isopods and insect orders [32]. Sperm from *Wolbachia*-infected males is incompatible with eggs from females that do not harbour the same *Wolbachia* type (or types). *Wolbachia*-mediated CI acts through two distinct mechanisms: modification of sperm during spermatogenesis and rescue of this modification in embryos infected with the same strain. When the embryo, originated from a modified sperm, does not contain the appropriate *Wolbachia*, its development is disrupted. The molecular mechanisms that underlie CI remain unknown, despite considerable work on the effect and various proposed mechanisms [33].

CI application instead of gamma radiation for insect sterility

The *Wolbachia*-mediated CI has been proposed as a strategy for insect control as follows: (1) using *Wolbachia*-induced CI as a form of sterility for a mass male release strategy, analogous to a sterile insect technique (renamed Incompatible Insect Technique=IIT); (2) using the reproductive advantage afforded by *Wolbachia*-induced CI as a population replacement strategy to drive wanted phenotypes into natural populations [34]. In this review we focus on the first strategy in which *Wolbachia*-induced CI is used in alternative to gamma radiosterilization to achieve male sterility and provide ready-made sterile males for SIT application. Application of IIT strategy was originally thought for those species in which incompatible populations coexist (different infection types, or co-presence of infected and uninfected specimens). In fact, the IIT has been used successfully against disease vectors such as *Cx. pipiens* [35], or agriculture

pests *Rhagoletis cerasi* (Diptera, Tephritidae) [36]. Presently, an operational IIT program is going to be started on multiple islands in French Polynesia to suppress *Aedes (Stegomyia) polynesiensis* (Diptera, Culicidae), a particularly efficient Lymphatic filariasis (LF) vector of South Pacific areas [37].

Important mosquito species were cut-off from the application of this strategy by the inability to identify suitable incompatible infection types in the wild populations. This is easy to understand for species like *Aedes aegypti* L. (Diptera, Culicidae) and *Anopheles* spp., that in nature do not harbor *Wolbachia* symbionts. More complex is the case of *Ae. albopictus* which is uniformly superinfected with two *Wolbachia* strains (wAlbA and wAlbB) throughout its geographical distribution [38] and no evidence of crossing type polymorphism has been reported. Nevertheless, wAlbA and wAlbB strains are strong CI inducers as shown by fully embryonic mortality found in crosses between superinfected males and females artificially deprived of the bacterial symbiont [39].

***Wolbachia* manipulation and artificial incompatible infection types**

Modern biotechnology techniques allow to artificially transfer this endosymbiont bacterium from a species to the other, offering the possibility to generate new patterns of CI and enlarging the list of target species for *Wolbachia*-based control strategies. The technology used for this purpose, namely transinfection, is based on the microinjection of *Wolbachia* infected ooplasm containing the appropriate *Wolbachia* strain into recipient insect embryos. A complete CI was obtained by microinjecting cytoplasm from *Ae. albopictus* eggs carrying the wAlbB *Wolbachia* strain in *Aedes aegypti* [40]. Recently, a stable introduction of a life-shortening *Wolbachia* (wMelPop) infection from *Drosophila melanogaster* has also been successfully achieved in the same mosquito species [41].

Regarding *Ae. albopictus*, the production of an incompatible strain may be achieved i) via microinjection of an additional *Wolbachia* strain, resulting in a triple infection, or ii) by removing the natural

double-infection and then generating a transinfected line harboring a single new strain of *Wolbachia*. First attempts to modify the infection status of *Ae. albopictus* have been restricted to *Wolbachia* strains harboured by *Drosophila* species. [42] reported the interspecific transfer of *Wolbachia* (wRi) from *Drosophila simulans* to *Ae. albopictus*. Imperfect CI and vertical transmission failure were observed together with a lower mating competitiveness in transinfected males. Hence, despite the clear potential of the *Wolbachia* based strategy, the control of *Ae. albopictus* population through the IIT approach remains an open challenge.

The transinfected ARwP line of *Ae. Albopictus*

In 2009, the Group of Biological Control and Insect Biotechnology of ENEA (now Lab. UTAGRI-ECO), in cooperation with Prof. S.L. Dobson (Department of Entomology, University of Kentucky), obtained a transinfected line of *Ae. albopictus* by removing the natural *Wolbachia* double-infection and microinjecting a single new strain of *Wolbachia* (wPip) taken from *Culex pipiens molestus*, a mosquito

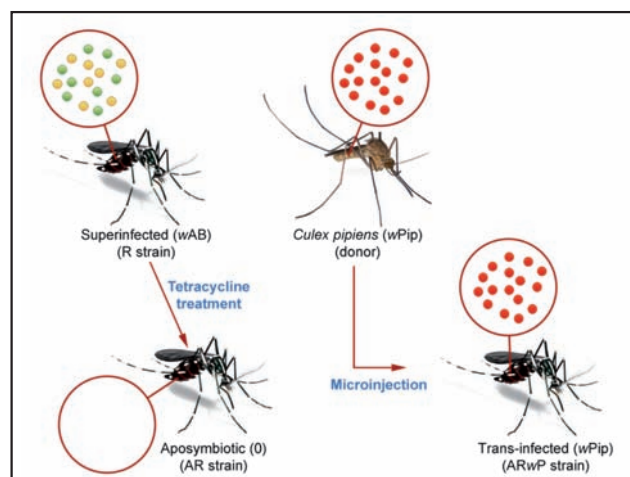


FIGURE 3 Outline of the protocol to generate a new *Wolbachia* infection in *Ae. Albopictus*. Isolines of mosquitoes *Wolbachia*-free are generated via antibiotic treatment of superinfected wild mosquitoes. *Wolbachia* drawn from *Culex pipiens* embryos is then microinjected into embryos of the *Wolbachia*-free *Ae. albopictus* line.

Source: ENEA



species harbouring a *Wolbachia* strain similar to wAlbB, strong inducer of CI (Figure 3).

The new symbiosis has proven to be stable and efficiently transmitted from females to their offspring; males are fully incompatible (induced embryonic mortality close to 100%) over their lifetime when mated to normal double-infected females (Italian patent - application no. RM2009A000678; [43]. The transinfected line so obtained, named ARwP, is bidirectionally incompatible with wild *Ae. albopictus* population. This result is an excellent example in which an exogenous strain of *Wolbachia* imposes the same phenotype alteration (strong CI) on native and new hosts [44].

Benefits of ARwP line use in IIT

Using “ready sterile males” allows for the elimination of radiation technology with its negative effects on sterile male performances. A critical benefit of such approach is that it only requires to set up and maintain a mass-rearing of “incompatible mosquito lines” and to release incompatible males in the field. All this could improve the overall competitiveness of the released insects, with a consequent improvement in program efficiency and a significant decrease in costs. We consider that the results obtained at the ENEA laboratories may open the way to a further development of IIT technology leading to the realization of mass-rearing facilities for the production of incompatible *Ae. albopictus* males. Currently the ARwP strain is going to be evaluated as provider of ready-made sterile males for SIT application on pre-industrial scale within the trans-national project BIOMOS (EurotransBio 2010) funded by the Italian Ministry of Economic Development. It is unlikely that any SIT strain will be a ‘cure all’ solution to mosquito control, but certainly SIT technology will hold a key role in a wider integrated pest management program.

Risk assessment of using transinfected *Aedes* mosquitoes for IIT

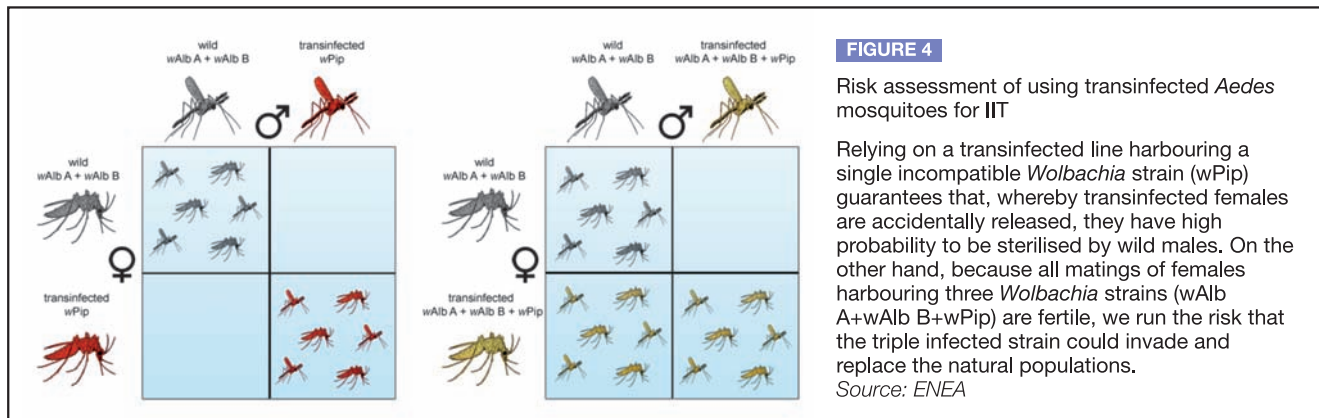
ARwP line has been generated to support the sterile insect technique against the Asian tiger mosquito by providing sterile males. ARwP mosquitoes are not considered genetically modified organisms

[45]. To reduce the risk of fixation in the environment of this artificially transinfected insect, we preferred to focus on a transinfected line harbouring a single incompatible *Wolbachia* strain (wPip) rather than three *Wolbachia* strains (wAlb A+wAlb B+wPip). In fact, in the first case, the bidirectional CI system guarantees that, whereby transinfected females are accidentally released, they have high probability to be sterilised by wild males. Moreover, transinfected ARwP females suffer of a light fitness cost imposed by the exogenous *Wolbachia* strain. Hence, according to theoretical models [46], there is a minimal probability that the ARwP strain will be capable to replace natural mosquito populations (Figure 4).

Although there is no scientific evidence suggesting any negative impact of *Wolbachia* infected mosquitoes on humans, other organisms or environment [47], *Wolbachia* based strategies may be subject to less regulatory issues than genetic control based strategies, providing that *Wolbachia* and infected insects are not genetically modified. Recent releases of transinfected *Aedes aegypti* carried out in Australia for “population replacement purposes” were regulated and approved for use by the Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. It was concluded that there was negligible risk and the releases would result in no more harm than what is caused by the naturally uninfected populations of *A. aegypti*. The releases in Australia provide an example for other countries to follow; however, regulations will need to be clearly defined by an internationally recognized Institution before large-scale releases and/or the commercialization of *Wolbachia*-based strategies for insect control could take place in practice.

Conclusion and perspectives

As discussed in this review, the prospect of using *Wolbachia* to control insects shows considerable promise. Here we have focused on the use of *Wolbachia* infected males as a mechanism to decrease pest populations by inducing male sterility, similar to the use of sterile male programmes to control insect pest. Other innovative approaches are under



consideration and development, such as using *Wolbachia* to drive desirable traits (for example, resistance to disease) into insect vector populations [32] or to shorten the lives of vectors in which the disease agent requires a long incubation time within the vector, such as Dengue fever in *Aedes* spp mosquitoes [41].

The demonstrated success of artificial horizontal transfer of this symbiont is encouraging for the prospect of *Wolbachia* transfer to major economic pests and disease vectors lacking *Wolbachia* infections in wild populations. One of the future challenges could be the establishment of a *Wolbachia* infection into the gonads of the malaria vector *Anopheles gambiae* or in agricultural pests of worldwide economic importance, like the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae) or the olive fruit fly *Bactrocera oleae* Rossi (Diptera, Tephritidae) [48, 49].

Lastly, the increasing evidence that *Wolbachia* interferes with pathogen transmission [50] highlights the potential of *Wolbachia* as an environmentally-friendly biotechnology to control insect transmitted

diseases. It is just in this context that field experiments are ongoing in field to establish an *Ae. aegypti* transinfected with *Wolbachia* wMel from *Drosophila melanogaster*. This mosquito strain has strong anti-dengue properties and limited fitness costs to be used for suppression of dengue transmission in Australia [51, 52]. The above mentioned project provides the first case where wild insect populations have been transformed to reduce their ability to act as vectors of human disease agents. This success with the deliberate release of *Wolbachia*-infected insects follows early unsuccessful attempts to manipulate insect populations through other genetic control strategies, including chromosomal manipulations and lethal genes [53, 54]. Because wMel and other *Wolbachia* strains inhibit virus transmission in the laboratory [52, 55], there is growing interest around the development of *Wolbachia*-based strategies for mosquito vector diseases suppression. Moreover, exploitation of this bacterium should provide low cost solutions with a relatively simple deployment system suitable for implementation in developing countries.

- [1] World Health Organization. (2009). *Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever*. In Fact Sheet, W.H. Organization, ed. (WHO).
- [2] Adams, B., and Kapan, D.D. (2009). *Man bites mosquito: understanding the contribution of human movement to vector-borne disease dynamics*. PLoS ONE 4, e6763.e.
- [3] Barclay, E. (2008). *Is climate change affecting dengue in the Americas?* Lancet, 371, 973-974.
- [4] Enserink, M. *Infectious diseases. Massive outbreak draws fresh attention to little-known virus*. Science 2006;311:1085a. doi: 10.1126/Science 311.5764.1085a.
- [5] Talbalaghi, A., S Moutailler, M Vazeille, A-B Failloux, 2010 *Are Aedes albopictus or other mosquito species from northern Italy competent to sustain new arboviral outbreaks?* Med Vet Entomol. Mar ;24 (1):83-7.
- [6] World Health Organization. *Chikungunya and dengue, south-west Indian Ocean*. Wkly Epidemiol Rec 2006; 81:105-16, ed (WHO).
- [7] Angelini R. et al 2007. *An outbreak of chikungunya fever in the province of Ravenna, Italy*. Euro Surveill 12(9).
- [8] Sabatini, A., V. Raineri, G. Trovato, and M. Coluzzi. 1990. *Aedes albopictus in Italia e possibile diffusione della specie nell'area mediterranea*. Parassitologia 32: 301-304.
- [9] ECDC (2009) *Development of Aedes albopictus risk maps - Technical report*. Stockholm, May 2009.
- [10] Gubler, D. *Dengue and dengue hemorrhagic fever*. Clin Microbiol Rev 1998; 11:480-496.
- [11] Bellini, R., A. Medici, M. Carrieri, M. Calvitti, and U. Cirio. 2004. *Applicazione della tecnica dello sterile male nella lotta contro Aedes albopictus in Italia: ottimizzazione delle fasi di allevamento massale e saggio, vol. II*, pp. 993-998. In Proceedings of the National Congress of Entomology, 10D15 June 2002, Catania, Litografia Tipografia Polaris, Sondrio.
- [12] Bellini, R., M. Calvitti, A. Medici, M. Carrieri, G. Celli, and S. Maini. 2007. *Use of the sterile insect technique against Aedes albopictus in Italy: first results of a pilot trial*, pp. 505-515. In M.J.B. Vreysen, A. S. Robinson, and J. Hendrichs (eds.), *Area-wide control of insect pests: from research to field implementation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- [13] Alpey et al, 2010. *Sterile-Insect Methods for Control of Mosquito-Borne Diseases: an Analysis*. Vector-borne and zoonotic diseases, Volume 10, Number 3, 2010.
- [14] Knippling, E. *Possibilities of insect control or eradication through use of sexually sterile males*. J Econ Entomol 1955; 48:459-462.
- [15] Lindquist, DA, Abusowa, M, Hall, MJ. 1992. *The New World screwworm fly in Libya: a review of its introduction and eradication*. Med Vet Entomol 1992; 6:2-8.
- [16] Dyck, VA, Hendrichs, J, Robinson, AS, eds. *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2005.
- [17] Cirio U. 1975. *The Procidia Medfly pilot experiment. Status of the Medfly control after two years of sterile insect releases*. IAEA, Panel Proc. Series , STI/PUB/392, pp.39-49.
- [18] Urbanelli, S., R. Bellini, M. Carrieri, P. Salicandro, and G. Celli. 2000. *Population structure of Aedes albopictus (Skuse): the mosquito which is colonizing Mediterranean countries*. Heredity 84: 331-337.
- [19] Hawley, W.A. 1988. *The biology of Aedes albopictus*. J. Am. Mosq. Control Assoc. Suppl. 1-13.
- [20] Belestino et al., 2010. *Ray Dosimetry and Mating Capacity Studies in the Laboratory on Aedes albopictus Males*. J. Med. Entomol. 47(4): 581-591.
- [21] Honório, N.A., W. da Costa Silva, P.J. Leite, J. Monteiro Gonçalves, L.P. Lounibos, and R. Lourenço-de-Oliveira. 2003. *Dispersal of Aedes aegypti and Aedes albopictus (Diptera: Culicidae) in an urban endemic dengue area in the State of Rio de Janeiro, Brazil*. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 98: 191-198.
- [22] Carrieri, M., R. Bellini, S. Maccaferri, L. Gallo, S. Maini, and G. Celli. 2008. *Tolerance thresholds for Aedes albopictus and Aedes caspius in Italian urban areas*. J. Am. Mosq. Control Assoc. 24: 377-386.
- [23] F. Balestrino, A. Medici, G. Cardini, M. Carrieri, B. Maccagnani, M. Calvitti, S. Maini and R. Bellini. 2010. *Ray Dosimetry and Mating Capacity Studies in the Laboratory on Aedes albopictus Males*. J. Med. Entomol. 47(4): 581-591 (2010); DOI: 10.1603/ME09272
- [24] Knippling, E.F. 1960. *The eradication of the screwworm fly*. Sci. Am., 203: 4-48.
- [25] Catteruccia F, Crisanti A., and A Wimmer E., 2009. *Transgenic technologies to induce sterility*. Malaria Journal 8 (suppl. 2) S7- 8 pp.
- [26] Nolan T, Papatheanos P, Windbichler N, Magnusson K, Benton J, Catteruccia F, Crisanti A. 2011. *Developing transgenic Anopheles mosquitoes for the sterile insect technique*. Genetics. 2011 Jan;139(1):33-9. Epub 2010 Sep 7.
- [27] Catteruccia F, A. Jason P. Benton and Crisanti A. 2005. *An Anopheles transgenic sexing strain for vector control* Nature. Biotechnology 23, 1414-1417.
- [28] McKenney A. 2011. *Genetic control of Aedes aegypti by periodic release of engineered sterile males (RIDL)*. Oral communication at SOVE 2011 Annual Conference, Flagstaff, AZ, USA -Sept. 25-29, 2011.
- [29] Floate, K.D., Kyri-Poku, G.K. & Coghlin, P.C. 2006. *Overview and relevance of Wolbachia bacteria in biocontrol research*. Biocontrol Sci. Technol. 16: 767-788.
- [30] Hertig, M. 1936. *The rickettsia, Wolbachia pipiens* (gen. et sp. n.) and associated inclusions of the mosquito, Culex pipiens. Parasitology 28: 453-486.
- [31] Sinkins, S. P. et al. *Wolbachia variability and host effects on crossing type in Culex mosquitoes*. Nature 436, 256-260 (2005).
- [32] Werren, J.H., L. Baldo, and M.E. Clark. 2008. *Wolbachia: master manipulators of invertebrate biology*. Nature Reviews Microbiology 6: 741-751.
- [33] Benjamin Bossan*, Arnulf Koehncke, Peter Hammerstein 2011. *A New Model and Method for Understanding Wolbachia-Induced Cytoplasmic Incompatibility* PLoS ONE | www.plosone.org 1 May 2011 | Volume 6 | Issue 5 | e19757
- [34] Brelsfoard C.L., Séchan Y., Dobson S.L. 2008. *Interspecific hybridization yields strategy for South Pacific filariasis vector elimination*. PLoS Negl Trop Dis 2008 Jan 16;2(1):e129.
- [35] Laven, H. 1967. *Eradication of Culex pipiens fatigans through cytoplasmic incompatibility*. Nature 216: 383-384.
- [36] Boller, E.F., K. Russ, V. Vallo, and G.L. Bush. 1976. *Incompatible races of European cherry fruit fly, Rhagoletis cerasi (Diptera: Tephritidae), their origin and potential use in biological control*. Entomol. Exp. Appl. 20:237-247.
- [37] Brelsfoard, C.L., and S.L. Dobson. 2009. *Wolbachia-based strategies to control insect pests and disease vectors*. Asia Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology 17: 55-63.
- [38] Sinkins S.P., Braig H.R., O'Neill S.L., 1995. *Wolbachia superinfections and the expression of cytoplasmic incompatibility*. Proc. R. Soc. London (B) 261: 325-330.
- [39] Calvitti, M., Moretti R., Porretta D., Bellini R., & Urbanelli S. (2009). *Effects on male fitness of removing Wolbachia infections from the mosquito Aedes albopictus*. Medical and Veterinary Entomology. 23(2), 132-140.
- [40] Xi, Z., C. Khoo, and S.L. Dobson. 2005. *Wolbachia establishment and invasion in an Aedes aegypti laboratory population*. Science 310: 326-328.
- [41] McMeniman, C.J., R. W. Lane, B.N. Cass, A.W.C. Fong, M. Sidhu, Y. Wang, and S.L. O'Neill. 2009. *Stable introduction of a life shortening Wolbachia infection into the mosquito Aedes aegypti*. Science 323: 141-144.
- [42] Xi, Z., Dean, J.L., Khoo, C.C. and Dobson, S.L. 2005. *Generation of a novel Wolbachia infection in Aedes albopictus (Asian tiger mosquito) via embryonic microinjection*. Insect Biochemistry and Molecular Biology 35: 903-910.
- [43] Calvitti, M., Moretti R., Lampazzi E., Bellini R., & Dobson S.L. (2010). *Characterization of a new Aedes albopictus (Diptera: Culicidae)-Wolbachia pipiens (Rickettsiales: Rickettsiaceae) symbiotic association generated by artificial transfer of the wPip strain from culex pipiens (Diptera: Culicidae)*. Journal of Medical Entomology. 47(2), 179-187.
- [44] Calvitti M., 2011. *Exploitation of a non-native Wolbachia strain in Aedes albopictus: potential benefits on a suppression strategy for this mosquito vector in Italy*. Oral communication at SOVE 2011 Annual Conference, Flagstaff, AZ, USA. Sept. 25-29, 2011.
- [45] De Barro, P., Murphy, B., Jansen, C. & Murray, J. 2011. *The proposed release of the yellow fever mosquito, Aedes aegypti containing a naturally occurring strain of Wolbachia pipiens, a question of regulatory responsibility*. J. Cons. Protect. Food Safety 6 (suppl. 1), 33-40 (2011).
- [46] Dobson, S.L., Fox, C. and Jiggins, F.M. 2002. *The effect of Wolbachia-induced cytoplasmic incompatibility on host population size in natural and manipulated systems*. Proceedings of the Royal Society of London 269: 437-445.
- [47] Popovici, J., L.A. Moreira, A. Poinsignon, I. Iturbe-Ormaetxe, D. McNaughton, and S.L. O'Neill. 2010. *Assessing key safety concerns of a Wolbachia-based strategy to control dengue transmission by Aedes mosquitoes*. Mem Inst Oswaldo Cruz 105: 957-964.
- [48] Apostolati, A., I. Livadaras, A. Saridakis, A. Chrysargyris, C. Savakis, K. Bourtzis 20110. *Transinfection of the olive fruit fly Bactrocera oleae with Wolbachia: towards a symbiont-based population control strategy*. Journal of Applied Entomology Volume 135, Issue 7, pages 546-553, August 2011.
- [49] Zabalou, S., Riegler, M., Theodorakopoulou, M., Stauffer, C., Savakis, C. & Bourtzis, K. (2004). *Wolbachia-induced cytoplasmic incompatibility as a mean for insect pest population control*. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 101(42), 15042-15045.
- [50] J.L. Rasgon, 2011. *Mosquitoes attacked from within*. Nature (476): 407-408.
- [51] A.A. Hoffmann, B.L. Montgomery, J. Popovici, I. Iturbe-Ormaetxe, P.H. Johnson, F. Muzzi, M. Greenfield, M. Durkan, Y.S. Leong, Y. Dong, H. Cook, J. Axford, A.G. Callahan, N. Kenny, C. Omodei, E.A. McGraw, P.A. Ryan, S.A. Ritchie, M. Turelli & S. L. O'Neill. 2011. *Successful establishment of Wolbachia in Aedes populations to suppress dengue transmission*. Nature (476): 450-455. doi:10.1038/nature10356.
- [52] Walker, T. et al. 2011. *A non-virulent Wolbachia infection blocks dengue transmission and rapidly invades Aedes aegypti populations*. Nature (476): 454-460. doi:10.1038/nature10355.
- [53] Curtis, C. F. 1985. *Genetic control of insect pests: growth industry or lead balloon?* Biol. J. Linn. Soc. 26, 359-374.
- [54] Foster, G.G. 1980. *Genetic control of sheep blowfly (Lucilia cuprina) and the logistics of the CSIRO control program*. Wool Technol. Sheep Breed. 28, 5-10.
- [55] Bian, G.W., Xu, Y., Lu, P., Xie, Y. & Xi, Z. Y. 2010. *The endosymbiotic bacterium Wolbachia induces resistance to dengue virus in Aedes aegypti*. PLoS Pathog. 6, e1000833 (2010).

Free Electron Laser: current status and challenges ahead

The Free Electron Laser (FEL) is one of the historical activities of ENEA, where the relevant studies in the mid-seventies of the last century started. The Agency researchers contributed to its theoretical and experimental understanding and to the development of the associated technologies, which created significant advantages in different fields of research. FELs have nowadays merged with synchrotron radiation sources and are expected to provide coherent radiation with unprecedented characteristics. In this article the various aspects of this tool are reviewed

■ *Marcello Artoli, Giuseppe Dattoli, Julietta V. Rau*

Il Laser ad Elettroni Liberi: la situazione attuale e gli sviluppi futuri

Il Laser ad Elettroni Liberi (FEL, acrostico di Free Electron Laser) è una delle attività “storiche” dell’ENEA. L’Agenzia è impegnata nello studio di tale sorgente di radiazione dalla prima metà degli anni settanta del secolo scorso. Il contributo dato dai ricercatori dell’ENEA allo studio del FEL ha coperto praticamente tutti gli aspetti salienti: teorico, sperimentale e di sviluppo delle tecnologie associate, che hanno avuto ricadute importanti in altri campi di ricerca. Attualmente le sorgenti FEL stanno integrando e sostituendo le sorgenti di luce di sincrotrone convenzionale e si prevede che possano fornire radiazione in varie regioni spettrali e in particolare nei raggi X. In questo articolo si discutono i vari aspetti di tale sorgente coerente

Introduction

The Free Electron Laser has attracted a great deal of interest for the novelty of its operating principles and because [1] its developments have stimulated progress in various high-tech fields, such as high quality accelerators, permanent magnet technology and new materials. Most of these byproducts are highly innovative from the scientific and industrial points of view. More recently the pathway of FEL

merged with that of Synchrotron Radiation sources [2], paving the way to the X-ray high brightness facilities [3]. In this article the different facets of FEL, including scientific, technological, geopolitical and applicative ones, are reviewed and possible developments in Italy are discussed.

FEL fundamentals

Although sharing many common characteristics, FEL and conventional lasers have the main principal difference: the gain medium [1,4]. In conventional lasers, the amplification process is reached by the stimulated emission of electrons in an atomic or a molecular system (solid, liquid or gas), in which the population inversion has been achieved.

■ **Marcello Artoli, Giuseppe Dattoli**

ENEA, Technical Unit for Radiation Application Development

■ **Julietta V. Rau**

CNR, Istituto di Struttura della Materia, Roma

The laser performances in this case are limited by the discrete quantum states of a given atomic or molecular system. In FELs, the gain medium is a relativistic “free” electron beam passing through an undulator type magnetic system. By executing transverse oscillations, electrons spontaneously emit radiation, which can be stored in an optical cavity, reflected forth and back inside, interact with the electrons and amplified, according to the effect of induced stimulated emission. In that case, the restricting parameters are the energy of the electron beam and the magnetic field characteristics. Therefore, albeit in very simplified terms, we have provided a description of a FEL device containing all the features which characterize a laser. The power associated with the pump is that of the electron beam, which, in terms of beam energy and current, is written as:

$$P[\text{MW}] = I[\text{A}]E[\text{MeV}] \quad (1),$$

where P is the power, expressed in Mega-Watt, I - the current in Ampère and E - the energy in Mega-electron-volt. The emission wavelength of the electrons radiating in a magnetic field is selected according to the mechanism illustrated in Fig. 1, based on two successive Doppler shifts. The electrons are transversally oscillating in the laboratory frame at a wavelength fixed by the undulator period. In the electron reference frame the period of oscillation is reduced by a factor γ . The oscillating electrons can be viewed as an oscillating electric dipole emitting radiation at the same frequency of oscillation, which is further Doppler shifted, when transformed back to the laboratory frame. The most significant consequence of such an effect is the following dependence of the wavelength on the electron beam energy:

$$\lambda_R = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right), \quad \gamma = \frac{E}{m_0 c^2} \quad (2),$$

$$K \cong \frac{B[kG]\lambda_u[cm]}{10.7}$$

where λ_u is the period of the undulator, B - its peak on axis magnetic field, and K is a parameter (called

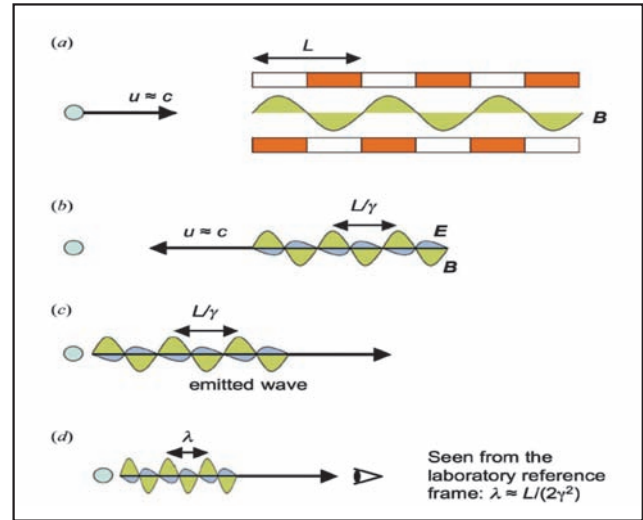


FIGURE 1 The undulator is viewed as an electromagnetic field with wave-length $2\lambda_u$, the emission process is a Compton backscattering so that

$$\lambda_R = \frac{1 - \beta}{1 + \beta} \lambda_u$$

Source: ENEA

the undulator strength), measuring the amount of transverse motion, induced by the magnetic field on the initially longitudinal electron motion. We have denoted by γ the electron relativistic factor ($m_0 c^2 = 0.511$ MeV is the rest electron mass)¹. The wavelength (2) is called the resonant wavelength. The undulator is characterized by periods λ_u with a length of the order of few centimeters, by a peak on axis field not exceeding 10 KG and its length, fixed by the number of periods N as $L = N\lambda_u$, spans from a few meters (in the case of oscillators) to hundreds of meters (in the case of Self-amplified devices). The energy of the electron beam may be tens of MeV or a few GeV, the relativistic factor varies from 10^2 to 10^4 and the emitted wavelength - from FIR to X-rays.

The line-width of the emitted spectrum is fixed by the difference in flight time of electrons and photons inside the undulator. The relative width is simply given by the inverse of the number of undulator periods:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_R} \cong \frac{1}{N}, \quad \omega_R = \frac{2\pi c}{\lambda_R} \quad (3)$$

Let us now figure out the light amplification mechanism, which is not dissimilar from what happens in the Klystron devices. With reference to Fig. 2, we note that when electrons enter the undulator, their initially random phases ensure that mostly incoherent radiation is emitted at the resonant radiation wavelength (nearly coincident with the wavelength of the spontaneously emitted radiation). Because the electrons interact collectively with the radiation field grow and simultaneously begin to bunch the electrons at the resonant wavelength. This collective process continues until the electrons are strongly bunched. When the process saturates the electrons begin to de-bunch. The mechanism we have described may occur in one passage in a long undulator or develop in many passes in oscillators. Being the pump provided by the electron beam power, the FEL process can be effectively simplified by saying that a fraction of the electron beam power is transformed into coherent electromagnetic power at the wavelength given in eq. (2).

One can easily understand the amount of the fraction of power provided to the laser by the electron beam in terms of a heuristic argument. The coherent emission process lasts until the electrons are sufficiently “exhausted”, i.e., till they lose enough energy, which brings them off the condition of resonance. This occurs when the energy lost by the electrons is

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta \omega}{\omega_R} \cong \frac{1}{N}$$

We have already remarked that the number of periods ranges from a few tens to thousands, there the power delivered to the laser may be a little percent or a fraction of percent of the electron beam power.

FEL Design and components

The mechanism described above holds if the FEL device operates in an oscillator or as a SASE (Self Amplified Spontaneous Emission) regime (see Fig. 2).

The field growth, inside the cavity or along the undulator, can be explained by using the same description for both devices. In Fig. 3 we have reported the laser energy evolution over time (represented by the cavity round trip periods or by the length

of the undulator, according to the oscillator or SASE regimes, respectively). The shape of the curve is that of any process with exponential growth and saturation, and it is characterized by the following steps:

- a) a lethargic phase, in which the electron beam undergoes an energy modulation;
- b) a bunching process consequent to a), with an associated gain and exponential growth;
- c) a de-bunching and a saturation mechanism.

The key parameters are the gain per cavity round trip, in oscillators, and the gain length (namely the gain per unity length) in the case of SASE devices. Furthermore, the saturated power is, in both cases, associated with a fraction of the laser power. In the oscillator configuration a further element, coming into play, is the mechanism chosen to extract the radiation from the cavity, which inevitably demands for mirrors with adequate losses, capable of supporting the storage of the radiation inside the optical cavity. The SASE solution, presenting significant disadvantages in terms of laser beam qualities, is an obliged step for FEL operating in the X-ray spectral region, where efficient mirrors confining the radiation do not exist.

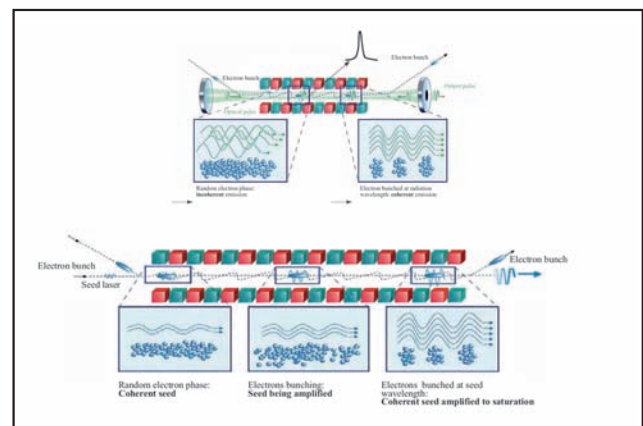


FIGURE 2 Bunching mechanism of the radiation growth inside the undulator:
a) FEL operating in the oscillator mode;
b) FEL operating in single pass Amplified mode. In the case of SASE, the laser seed should be replaced by the shot noise power of the electron beam
Source: ENEA

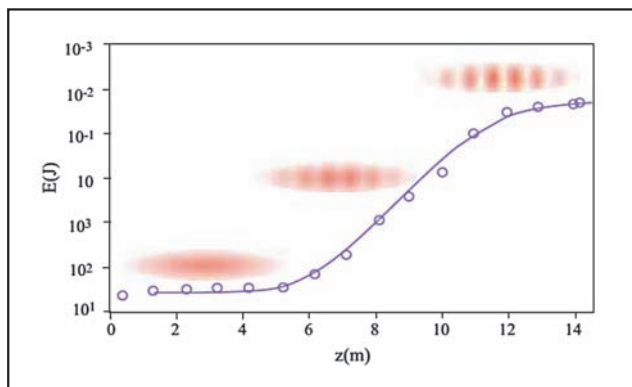


FIGURE 3 FEL intensity evolution, from noise to saturation
Source: ENEA

The engineering issues determined by the design of FEL devices are quite new, being they a mosaic of different technologies (magnetic materials for undulators, high quality electron beams, new accelerators, etc.). Design methods capable of merging these different aspects have been developed in the past and are still under validation. The accurate planning of a simulation strategy is, therefore, not a secondary issue, and ENEA has invested in the development of codes capable of satisfying two different requests, reliability and computational simplicity. This strategy has opened different scenarios, allowing the proposal of new and more advanced FEL conceptions. The development of FEL sources with these characteristics imposes the choice of devices operating in the oscillator configuration and demands for a breakthrough of the technology of mirror manufacturing, capable of confining radiation in the extreme UV-X ray region. It further demands for the development of high performance accelerators, designed to provide beams of excellent quality (high current, low angular dispersion and high energy resolution). In addition to this, the research on permanent magnets should be addressed towards the production of micro-undulators, and namely undulators with high on axis field and small period.

These challenging enterprises should be framed within an environment that provides for a strong participation of industry, which could be one of the

major beneficiaries of the associated technological byproducts.

National geopolitical situation

The scenario of worldwide FEL sources is given in Fig. 4. In Italy two different facilities are under development, FERMI in Trieste and SPARC in the ROME-FRASCATI area. The latter is the result of a joint collaboration coordinated by ENEA (ENEA-INFN-CNR-University of Rome Tor Vergata), playing the role of a test facility. It has provided noticeable results regarding the new schemes of FEL operation, in particular, external seeding and harmonics generation.

On the other side, FERMI will provide a FEL source in the extreme UV-X ray region and is expected to have a significant impact for a large variety of applications, from biotechnology to the advanced magneto-dynamic materials.

The development strategy we have outlined at the end of the previous sections, could provide high standard research and the creation of qualified job positions for the next 20 years or so. In the meantime, a subsidiary strategy is necessary, for at least two reasons:

- lack of a targeted preparation of industries with-in these specific issues,
- need for requalification of the oscillator technology, which has been “abandoned” to invest in favor of SASE devices.

It is difficult to figure out a coordinated European strategy, but at the national level, we believe that the development of a further source complementary to the FERMI spectral range, that is THz-IR-UV FEL, can go in the direction of the previous points and at the same time provide important applications in biomedicine.

The reasons for this choice are clear: it will be possible to consider the two FELs as a “unique” Italian facility, and, furthermore, to maintain both competences alive in the oscillator and SASE technologies. Moreover, specific agreements with the local manufacturers will open the possibility for an industrial training and an effective cross fertilization between industries and research centers.

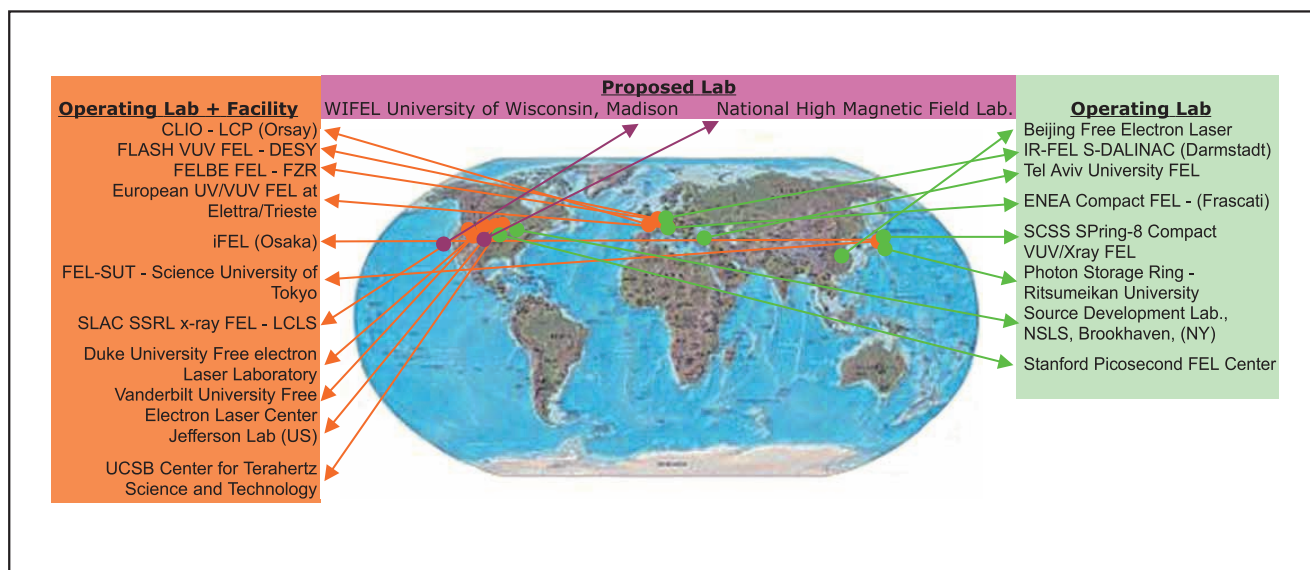


FIGURE 4 FEL worldwide scenario
Source: ENEA

FEL light sources and challenges in biomedicine

Nowadays, a rapidly growing interest in application of FEL beams is observed in many areas of biomedical science opening up new opportunities to study living forms on different levels, from biomolecules and subcellular structures up to the whole organisms. Here we give a brief overview of possible THz-IR-UV FEL applications in biomedicine.

The challenge of the research is to probe matter with substantially finer length, time and energy resolution, where biological systems can be observed on their femto- (atto-) second temporal, nanometers spatial and milli-electron-volts energetic scales. Dynamic studies will complement the investigation of static systems. To reach these goals, the next generation of light sources should have elevated transverse and temporal coherence, variable pulse length, pulse duration down to femtoseconds and possibly attoseconds, high brilliance and peak power, wide range and easy tuning of photon energy and polarization control. Free Electron Lasers are uniquely fitted to achieve these goals [5].

Recent technological applications of **THz-FEL** radiation in biology and biomedicine are based on the

specific spectroscopic “fingerprints” related to the numerous vibrational-rotational modes of biomolecules in this spectral region, whereas still very little is known about its interaction with biological systems. Therefore, the study of the interaction of the THz-FEL radiation with biological systems of increasing complexity – from enzymes and protein biomolecules to DNA, cell membrane and nucleus, and finally, to biological tissues and organs, developing novel spectroscopic and microscopic THz-based techniques – is of great promise.

THz-FEL can be applied in biophysics to extract femtosecond-resolved dynamic information on different isomeric conformations of various biomolecules in their native water environment after photoexcitation. THz spectroscopy in liquids is very challenging and may allow to determine the tertiary structure of proteins (folding).

Among the possible future THz-FEL biomedical challenges is the early detection of alterations in the DNA chain sequence in patients’ blood with the scope of the earliest disease diagnosis, and detection of specific virus and bacteria “signatures” for rapid identification and control of epidemics. Recent advances in genetic diagnosis, which allowed



to introduce biosensors (like, genome chip o DNA microarray), are worth to be mentioned [6].

THz-FEL medical imaging is of significant interest in various biomedical fields, being skin cancer detection at the earliest stages of the disease development one of them.

IR-FEL has great potentials for biomedical applications research, primarily in the field of laser-tissue interactions. FEL can be successfully applied in procedures like cutting tissues by the photo-thermal effect, ablating hard tissues by the photo-mechanical effect, and also modifying surface (surface functionalisation) by the photo-chemical effect. Such interactions can be precisely controlled by a suitable combination of FEL parameters, such as wavelength tunability, energy density, pulse duration and repetition rate, resulting in a non-invasive treatment, characterized by high efficiency and low collateral damage.

Recent achievements in the IR-FEL irradiation of hard and soft tissue indicate the great promise for the FEL-based protocols in surgery and medicine [7]. Successful studies on the FEL ablation of some hard tissues, like dentine and enamel of the tooth and the cortical bone, were carried out. The FEL radiation source was found to be excellent for probing the soft tissue as well. For example, the IR-FEL irradiation technology provides a potentially safe and minimally invasive treatment of atherosclerotic vascular diseases, enabling selective removal of cholesterol ester in atherosclerotic plaques accumulated on the arterial walls.

The ability to dissect through the fatty tissue surrounding many organs of the abdomen without transecting the blood vessels would be a major advance in laparoscopy. The unique spectral signatures of these fatty tissues in the IR range may enable controlled, selective irradiation of fatty tissue in the brain, blood vessels, abdomen and spinal cord.

IR-FELs are expected to give a substantial contribution in neurosurgery, for cranial nerves and deep brain areas, demonstrating a minimal o nearly absent collateral damage for surrounding tissues and high ablation yield. Good results were also obtained for the ophthalmic (cornea and neural) and

dermal tissues. It should be stressed that laser assisted removal of biological tissue is a rapidly growing area, especially in oncology. The most frequent brain tumors often are spread in the vast areas, so that it is not possible to remove the whole tumor in conventional manner. FEL are expected to provide a breakthrough in understanding the damage/ablation mechanisms and to lead to new solutions in medical-related issues. As a consequence, new optimized techniques and devices can be developed.

Nanosurgery operates at the cutting edge of medicine [8]. Possible applications include gene therapy, nerve regeneration and cancer treatment involving the selective damage of tumoral cells. For cancer therapy, the targeted ablation results in the destruction of a single tumor cell, whilst neighboring cells remain intact. Precise nanosurgery ensures the complete damage of a targeted structure, becoming a formidable method for biomedical research, when laser systems are coupled with advanced imaging systems. Recent advances in ultra-short pulsed laser technology provide an attractive tool for cell and tissue manipulation. Indeed, femtosecond laser ablation, in addition to being a non-invasive and reliable technique, can be used to perform very accurate and selective surgery. For instance, a cell organelle can be dissected, while leaving the cell membrane intact. Thus, femtosecond irradiation ensures nanoscale precision, opening a new dimension in cellular and subcellular scale investigations. Laser subcellular surgery makes it possible to investigate morphogenesis (one of the three fundamental aspects of *developmental biology* along with control of *cell growth* and *cell differentiation*), to locally activate the gene expression, influencing the patterned growth of tissue and to investigate tissue dynamics *in vivo* [9]. The laser beam can be used to trigger tissues, cells and biomolecules, while monitoring the changes in real time by means of a high resolution imaging technique.

The IR FELs provide a way to substantially improve the Scanning Near-field Optical Microscopy technique, boosting its capabilities not only in static imaging (the possibility to get chemical information

from cells and their internal structures), but also in providing the possibility to perform dynamic characterization of ultrafast biological processes.

The application of **UV-FEL** in biomedicine is at an early stage. Some surgery-oriented studies have been carried out in the Vacuum UV and Extreme UV regions. It should be mentioned, however, that studies in the short range of wavelength are at their beginning, since irradiation with short wavelength photons leads to a specific ablation mechanism with a substantial increase in ionization radiation damage and concerns about its potential mutagenic effects.

The UV-FEL would be invaluable in advancing the research of the mechanisms of UV radiation damage of biological systems, like DNA, proteins, membranes, etc. Short wavelength photons are strongly absorbed by water, hence cellular components can be damaged by an indirect mechanism involving the generation of reactive chemical species. The main problem in this case is a great number and complexity of occurring chemical reactions. The advantages of using UV radiation is that the energy-per-photon is adequate to produce a limited number of ionizations, that is the number of chemical reactions is much more limited than, for example, in the case of X-rays.

The state of time-resolved phosphorescence and fluorescence studies of biological systems could be advanced by exploiting FEL characteristics [10]. UV-FELs based on storage rings are particularly useful for the development of pump-and-probe two-color spectroscopic investigations of biophysical processes, being a powerful time-resolved technique in biomedicine and photochemistry. Future multi-photon excitation experiments and the upcoming tunable UV FELs will further stimulate this research field.

To conclude, the development of the versatile FEL technology in terms of its pulse format and wave-

length tunability makes it a tool of great importance for the biomedical research field. These characteristics permit to select an appropriate wavelength and pulse structure for any given specific task, which will further lead to the development of reliable compact FEL devices and/or new conventional laser sources. FEL multidisciplinary research centers worldwide are at the base of the forefront spin-off technologies, which will have a significant impact in healthcare for years to come.

References

- [1] G. Dattoli, A. Renieri and A. Torre, *Lectures on Free Electron Laser Theory and Related Topics*, World Scientific Singapore (1995).
- [2] F. Ciozzi, G. Dattoli, A. Torre and A. Renieri, *Free Electron Lasers as insertion devices*, World Scientific Singapore (2000).
- [3] Alexander Zholents, *Next Generation X-Ray Free Electron Lasers*, ANL/APS/LS-321. To be published in Journal of Selected Properties in Quantum Electronics.
- [4] G. Dattoli, M. Del Franco, M. Labat, P.L. Ottaviani and S. Pagnutti, *Introduction to the Physics of Free Electron Laser and Comparison with Conventional Laser Sources*, to be published as book chapter in "Free Electron Laser", InTech, 2011, ISBN 979-953-307-323-0.
- [5] W.A. Barletta et al. Free electron lasers: present status and future challenges. *Nucl. Instr. Methods Phys. Res. A*, 2010, 618, 69-96.
- [6] A. Ramundo Orlando, G.P. Gallerano. Terahertz Radiation Effects and Biological Applications. *J. Infrared Milli Terahz Waves*, 2009, 30, 1308-1318.
- [7] J.B. Pelka, K.R. Tybor, R. Nietubyc, G. Wrochna. Applications of Free Electron Lasers in Biology and Medicine. *Acta Physica Polonica A*, 2010, 117(2), 427-432.
- [8] Biophotonics, July/August 2010, pp. 12-15.
- [9] M.S. Hutson et al. Forces for Morphogenesis Investigated with Laser Microsurgery and Quantitative Modeling. *Science*, 2003, 300, 145-149.
- [10] M.E. Couprie, J.M. Ortega. Free-electron lasers sources for scientific applications. *Analysis*, 2000, 28, 725-736.

Notes

- [1] To reconcile the caption of fig. 1 with eq. (2), it should be kept in mind that the electron motion is relativistic

$$(\gamma \gg 1, \text{ therefore } \beta = c \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} \cong c \left(1 - \frac{1}{2\gamma^2} \right))$$

Furthermore, the motion consists of two contributions, namely the longitudinal and transverse parts, the latter being provided by the electron oscillations. Accordingly, after averaging on one undulator period, the relativistic factor should be replaced by

$$\gamma^* = \frac{\gamma}{\sqrt{1 + \frac{K^2}{2}}}$$



Renewables' technological competitiveness and sustainable development in the new global economy

In the wake of the growing environmental and energetic crises, clean energy technologies gained much prominence over the past decade, but the need to meet tighter environmental standards has also been increasingly viewed as an important opportunity for recovery in the midst of the economic slowdown. Setting up conditions for the transition of the world economies to a “low-carbon” socio-economic “paradigm” of development has thus become a much bigger challenge which policy makers are expected to face. To fulfill such a target it is of crucial importance that energy and industrial policies are coordinated, as structural changes entailed by the transition to the new paradigm are highly demanding in terms of advances of the innovation systems. Inadequacy of the innovation systems not only precludes success in environmental innovation, but may also hamper growth dynamics leading further to loss of competitiveness, which equals to making development processes less sustainable

■ Daniela Palma, Gaetano Coletta

Competitività tecnologica nelle fonti rinnovabili di energia e sviluppo sostenibile nella nuova economia mondiale

Nel corso dell'ultimo decennio l'aggravarsi dei problemi ambientali e la frequenza delle crisi energetiche hanno favorito le prospettive di sviluppo delle tecnologie per la produzione di energia da fonti non inquinanti. Ma con il sopraggiungere della crisi economica internazionale la necessità di far transitare le economie industriali verso un paradigma di produzione e consumo “a bassa intensità di carbonio” è stata sempre più valutata anche come un'opportunità per la ripresa della crescita ponendo i decisori politici di fronte a una sfida ancor più grande. Coordinare politiche energetiche e politiche industriali è fondamentale per il raggiungimento di questo obiettivo, poiché i cambiamenti strutturali richiesti dal cambiamento di paradigma menzionato necessitano della presenza di sistemi di innovazione avanzati. L'inadeguatezza dei sistemi di innovazione non solo preclude la possibilità di innovare nel settore ambientale, ma si riverbera in dinamiche di crescita economica più contenute, con ulteriore perdita di competitività, dando luogo così a processi di sviluppo meno sostenibili

■ Daniela Palma, Gaetano Coletta
ENEA, Technology Transfer Unit

In the aftermath of the international crisis actions for sustainable development have become the object of renewed interest in policy discussions. As a matter of fact, making the concept of sustainable development operational for policies has always claimed complex synergies and trade-offs to be taken into account within the three dimensions - economic, environmental and social - of welfare addressed for growth. Over the past few years, the need to meet tighter environmental standards has been increasingly viewed as an important opportunity for recovery. Setting up conditions for the transition of the world economies to a “low-carbon” socio-economic “paradigm” of development has thus become a much bigger challenge which policy makers are expected to face and, in it, technological innovation in the energy sector is bound to play a major role. Most of the available options in low-carbon technologies, in fact, still have higher costs than those existing based on fossil fuels, and it is normally agreed that innovation is necessary in order to make them competitive.

With growing global economic interdependence, environmental technologies and knowledge have been increasingly exchanged across borders and a new division of labour has been devised along global value chains of bigger complexity due to the strengthening of the international production networks. Multinational enterprises (MNEs) have been crucial in shaping this process as they simultaneously embody the international transfer of capital, highly skilled labour, technology, and final and intermediate products. To an extent, the international crisis has put the vulnerability of such a global system to the fore, but the impact of the crisis on global value chains and drop in trade flows have proved to be neither straightforward nor clear. In fact, among the various causes which influenced trade dynamics, sectoral composition effects appeared to play a key role in inducing resilience to adverse shocks, with careful cost-benefit assessment of reducing production being determinant in the investment strategies.

In the wake of the growing environmental and energetic crises, clean energy technologies have gained much prominence over the past few years. Also, climate policies have proved decisive in start-

ing such an unprecedented “technological transition”, aimed at relocating trends of energy intensive industries. In particular, empirical evidence shows that world trade in renewable energy technologies outperformed that in manufacturing as a whole, while the impact of the crisis on it was comparatively less severe (Figure 1).

The analysis of world trade in renewable energy technologies thus allows to highlight the emergence of new patterns of international trade and comparative advantage in the energy sector while showing that a new world division of labour has been taking place despite the economic slowdown and right consistently with the demand for an “environmental technological transition”.

Over the past five years, “second generation technologies” have proved to be the most dynamic component of international trade in renewables¹, with an average yearly increase of 25% (about twice as much that of the manufacturing as a whole), mainly determined by the dramatic growth of trade in photovoltaics (pv) among the more advanced technologies. Important differences also emerged at the regional level, as Japan and a large number of newly industrialized countries in their area of economic influence (including Nic’s and Nec’s), and China played a prominent role in the

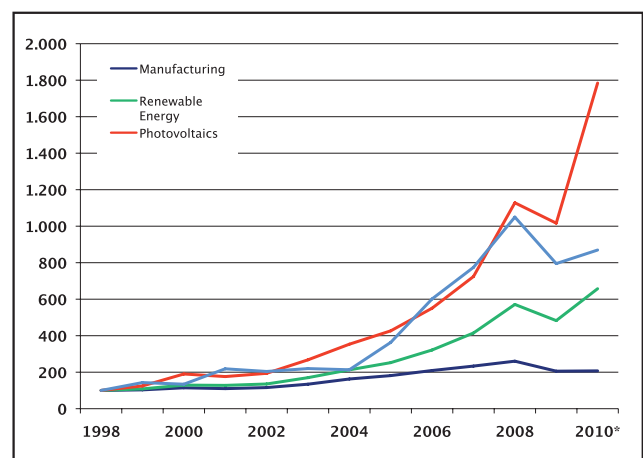


FIGURE 1 World trade: Manufacturing vs Renewables (Photovoltaics, Solar Thermal, Wind, Geothermal, Hydropower, Biomass)
Source: ENEA's Observatory on Technological Competitiveness elaboration from OECD-ITCS database

	1998-2000	2001-2003	2004-2006	2007-2009
WIND				
South-East Asia*	-0,85	-0,98	-0,74	-0,19
Russian Federation	-0,98	-1,00	-1,00	-1,00
Brasil	-0,53	-0,54	-0,88	-0,70
European Union (27)	0,39	0,40	0,37	0,28
United States of America	-0,76	-0,97	-0,68	-0,76
PHOTOVOLTAICS				
South-East Asia*	0,35	0,37	0,33	0,25
Russian Federation	-0,37	-0,75	-0,86	-0,91
Brasil	-0,77	-0,98	-0,99	-0,99
European Union (27)	-0,41	-0,46	-0,36	-0,22
United States of America	0,20	0,08	-0,02	-0,20
SOLAR THERMAL				
South-East Asia*	-0,80	-0,87	-0,80	-0,68
Russian Federation	-0,90	-0,82	-0,90	-0,98
Brasil	-0,94	-0,91	-0,91	-0,87
European Union (27)	0,19	0,14	0,20	0,22
United States of America	-0,14	-0,18	-0,22	-0,16

* Japan, China, India, NICs (Rep. of Korea, Chinese Taipei, Hong-Kong, Singapore) and NECs (Indonesia, Malaysia, Philippines, Thailand)
A country is defined as being specialized in exports of a certain product if its market share in that product x is higher than its manufacturing market share y.
The index is then normalized between -1 and +1:

$$IS = \frac{\frac{x}{1} - 1}{\frac{x}{1} + 1}$$

TABLE 1 Regional trade: Trade Specialization in Renewable Energy Technologies
Source: ENEA's Observatory on Technological Competitiveness elaboration from OECD-ITCS database

export of pv technologies (the total export share of all these countries for pv in 2010 was widely over 50%). However, looking at the whole dynamics of trade geography further significant aspects can be singled out once all the specific components of the “second generation” renewable technologies are considered (Table 1).

In fact Europe did partially catch up with pv exports while continuing to increase export shares in the other solar technologies. At the same time a significant increase of export shares emerged for wind power in Japan, China and India, at least up to 2009, when the total export share of these countries was over 23%. For 2010, on the contrary, we record

a remarkable drop in that share, reaching a level below 5%, as a consequence of the sharp decrease in United States' imports (-48%) – the main external market for Asian wind productions – and, at least for China, of the strong growth of the internal demand.

The whole trade dynamics in “second generation” renewables technologies can be clearly related to the figures of investment flows in renewables technologies showed in the latest UNEP reports (2010 and 2011), as well as to the figures of foreign direct investment presented in the 2010 World Investment Report focusing on the various activities undertaken in the environmental field. Figures in these reports

are mostly aggregate and often heterogeneous from the point of view of both the nature of the investment typologies and the technological “profile” of the initiatives themselves. However, it turns to be quite evident that a huge effort has been made throughout all advanced and newly industrialized economies in order to tackle the “structural” transition to renewable energy, and that for this reason the trend of investment has been only slightly diverted by the effects of the economic meltdown.

Foreign direct investments have played even a more fundamental role as they paved the way to the development of renewable energy technologies in newly industrialized countries while boosting the activity in the environmental production and giving rise to that dramatic up-rise of export flows from these regions, which has been driving world trade in renewables technologies for the past four/five years. In fact, as stressed by the World Investment Report, they increasingly developed along a “North-South” trajectory until 2007, although they decreased dramatically after the economic meltdown had started. However, a significant recovery of total FDI flows has been recorded over the past year while an unprecedented outward investment dynamics has been singled out for the newly industrialized countries giving rise to investment flows of growing strength along “South-South” trajectories. As such, this seems to suggest that in the latest years the growth of renewable technology exports in the newly industrialized countries is rather the outcome of a renewed capacity of production as well as the premise of a built-in process of technological development.

As a matter of fact, the analysis of the patenting activity² points out that in these economies innovation processes in renewables technologies just started taking place in the latest period and that both solar and wind power technologies were significantly involved. In all these countries (including most Nics and Necs, China and India) patent shares in pv and wind power (Figure 2) appear to be still much lower than export shares (Figure 3).

Yet their trend is increasing and technological specialization is clearly emerging as far as wind power technologies are concerned.

In the case of wind power technologies a prominent

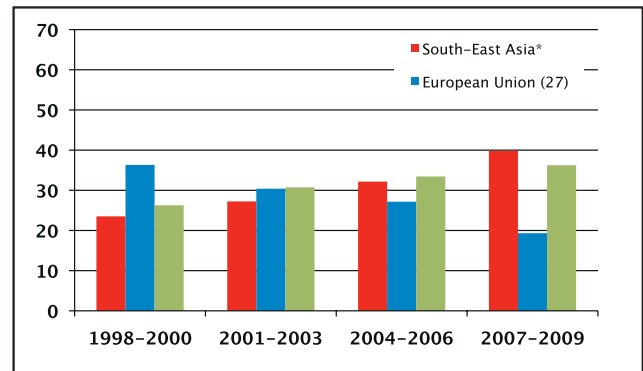


FIGURE 2 Photovoltaic technology – Shares in world patents
Source: ENEA's Observatory on Technological Competitiveness elaboration from OECD-ITCS database

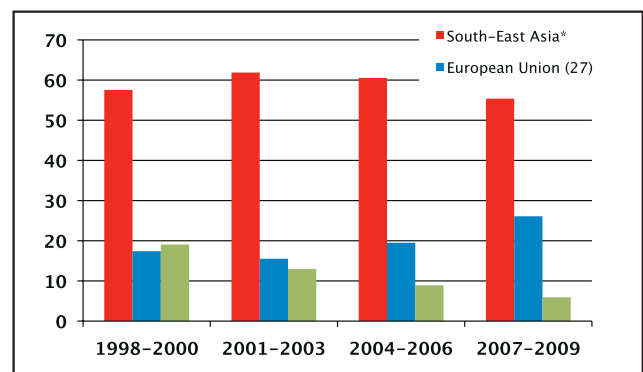


FIGURE 3 Photovoltaic technology – Export shares in world trade
Source: ENEA's Observatory on Technological Competitiveness elaboration from OECD-ITCS database

role is being also played by the other two countries belonging to the BRICS group (Russia and Brazil), whilst further insights can be drawn from the analysis of the “off-shore” applications over the very recent period. In fact about 8% of total patents in the “off-shore” wind power are held by Brics countries (mainly China and Russia) in the 2007-2009 period, whereas technological specialization has been growing over time. However “off-shore” wind power has become an emerging technological niche for a large number of (often small) countries throughout the world in Europe, Asia and Efta countries, with a widespread distribution of patent shares across regions (Table 2).



	1998-2000	2001-2003	2004-2006	2007-2009
SOLAR THERMAL				
European Union (27)	0,07	0,07	0,24	0,21
Norway	0,34	0,37	0,03	-0,20
Switzerland	0,34	0,05	-0,02	0,01
Israel	0,39	0,37	0,12	0,45
Australia	0,53	0,72	0,64	0,48
China	0,26	0,35	0,34	0,03
Russian Federation	-0,12	0,66	0,59	0,15
CONCENTRATED SOLAR POWER				
European Union (27)	-0,38	0,18	0,17	0,06
Switzerland			0,27	0,36
Israel	0,87		0,77	0,84
Australia		0,92	0,21	0,32
China				0,06
WIND OFF-SHORE				
European Union (27)	0,42	0,25	0,28	0,19
Norway		0,90	0,89	0,94
Australia			0,27	0,23
Rep. of Korea		0,11	0,18	0,11
China	0,27		0,17	0,09
Russian Federation		0,68	0,63	0,66
Brasil		0,59		0,26

A country is defined as being specialized in exports of a certain product if its market share in that product x is higher than its manufacturing market share y. The index is then normalized between -1 and +1:

$$IS = \frac{\frac{x}{1} - 1}{\frac{x}{1} + 1}$$

TABLE 2 Patent specialization index for some renewable energy technologies

Source: ENEA's Observatory on Technological Competitiveness elaboration from Oecd-Itcs database

As far as European countries are concerned, wind power technologies are still fundamental in shaping their technological specialization in “second generation” technologies, but solar technologies - let aside pv - have grown much in importance over the most recent years involving an increasing number of countries. In pv technologies the European position is, instead, still lagging behind with only few countries holding significant patent shares. Ger-

many and France hold the highest pv shares (4% and 8% in the 2007-2009 period) but they are still despecialized. Pv technologies are, in fact, a point of concern for Europe as the demand for pv energy soared over the most recent years, which was at the origin of deepening trade deficits in a large number of countries. The case is quite peculiar for Italy which ranked second in world pv energy production but increasingly enlarged pv imports and trade

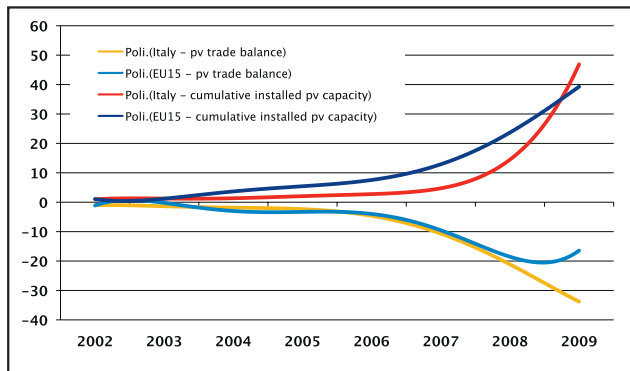


FIGURE 4 Italy and the pv balance-of-payment-constraint growth
 Source: ENEA's Observatory on Technological Competitiveness elaboration from OECD-ITCS database and EurObserv'ER data

deficit despite the economic slowdown (Figure 4). In other terms, this shows how coordinating energy and industrial policies is crucial when tackling structural changes in the production system. It also seems to be a convincing explanation for the catching up process in pv technology development which is clearly shown by patent patterns in both a number of European countries and the United States since the second half of last decade.

More in general, it should be stressed that the capacity of technology to transform profoundly the whole economy lies in the characteristics of the changing network of interactions of all the socio-economic agents that contribute to innovations, also referred to as the *national system of innovation* (Lundvall, 1992). This means that conditions are to be set so as the *national system of innovation* induces an effective dynamics towards the radical change desired as implied in the Perez's view of *techno-economic paradigm* (Perez, 1983). In fact a *techno-economic paradigm* is "a best practice model for the most effective use of the new technologies within and beyond the new industries. The new industries expand to become the engines of growth, for a long period while the techno-economic paradigm drives a vast reorganization across the economy [...] A techno-economic paradigm serves as an envelope encompassing and shaping the trajectories of individual technologies. Its influence

extends from the business sphere to institutions and society so that it gradually becomes the shared common sense for decision making in management, engineering, finance and trade. This new logic and its capacity to increase effectiveness and efficiency eventually also shape institutional and social organizations, expectations and behavior" (Perez, 2010).

When looking at "environmental innovations", one should consider that these may not be specifically disentangled from other types of innovations and from the full matrix of complex relationships associated with innovation dynamics and policies (see Jaffe 2003 and Mazzanti and Zoboli 2008 for recent developments). In fact, "environmental innovations" can be more often devised in a context of "double externalities", with on the one hand the typical technological (R&D) spillovers, and on the other hand the reduction of environmental externalities (Jaffe et al., 2005). Therefore, the emergence of an "environmental techno-economic paradigm" has to be addressed in terms of both the environmental objectives to meet and the characteristics of the national innovation system.

In order for the economy to react to changes induced by the "environmental constraint", national innovation systems must be equipped with adequate scientific and technological knowledge (Altman, 2001). Under "proper" conditions, the use of environmental measures (namely regulations and/or carbon pricing instruments) may even give rise to competitive advantages in environmental technologies (Porter and Van der Linde, 1995, and Costantini and Crespi, 2008, for recent empirical findings). In contrast, inadequacy of innovation systems not only precludes success in environmental innovation, but may also damp growth dynamics causing major divergences from virtuous paths of growth and leading further to loss of competitiveness. This kind of dynamics between growth, technical change and competitiveness has been well addressed by Kaldor (Kaldor, 1957), as he recognizes the importance of endogenously determined technical change and technological learning, while emphasizing the importance of expanding markets to explain the presence of increasing returns and "cumulative causation" growth thereafter.

In these terms, loss of competitiveness may in turn give rise to further loss of capacity of absorbing technical progress and, because of the “environmental constraint”, failure to develop competitive environmental innovation can lead to further divergence in the patterns of growth.

Loss of technological competitiveness with tighter environmental standards may also give rise to a tighter balance-of-payment constraint (Thirlwall, 1979), which is the same as making development less sustainable (the aforementioned case of Italy in pv technologies appears to be quite emblematic of this problem. A comprehensive analysis of loss of technological competitiveness for Italy is presented in Ciriaci and Palma, 2008). This turns to be essential as far as the creation of “green jobs” is concerned and should be therefore taken into careful account if a sort of “green-growth” goal is to be accomplished. The existence of a significant balance-of-payment constraint hampers growth and targeting “green growth” without targeting a suitable goal of “technological competitiveness” may well give rise to job destruction rather than creation.

The emergence of new patterns of comparative advantage in renewables technologies as the global demand for clean technologies surges clearly points out that innovation in the energy sector is going to become crucial for supporting competitiveness and growth. With rapid technological catching up of the newly industrialized countries, the most advanced economies are going to face a much bigger challenge than in the first period of globalization. The new “multipolar” economy is, in fact, increasingly turned into a knowledge-based multipolar one where competitiveness is essentially based on innovation.

As reported by Victor and Yanosek in Foreign Affairs, “nearly seven-eighths of all clean-energy investment worldwide now goes to deploying existing technologies, most of which are not competitive without the help of government subsidies. Only a tiny share of the investment focuses on innovation”. Rather, solutions for innovation “must start with more consistent long-term policies that depend

less on subsidies and thus are less vulnerable to cutbacks in these time of fiscal restraint”. This has been the story so far, and it will certainly be a point of big concern for western economies until their sovereign debts will continue to jeopardize investment policies.

References

- [1] Altman M. (2001), “When green isn’t mean: economic theory and the heuristics of the impact of environmental regulations on competitiveness and opportunity cost”, *Ecological Economics* 36, pp. 31-44.
- [2] Ciriaci D., Palma D. (2008), “The role of knowledge-based supply specialization for competitiveness: A spatial econometric approach”, *Papers in Regional Science*, v. 87, issue 3, pp. 453-475.
- [3] Costantini V., Crespi F. (2008), “Environmental regulation and the export dynamics of energy technologies”, *Ecological Economics* 66 (2-3), pp. 447-460.
- [4] Jaffe A.B., Newell R.G., Stavins, R.N. (2003) “Technological change and the environment”. In: Mäler, K.G., Vincent J.R. (Eds.), *Handbook of Environmental Economics*, vol. 1. Elsevier, pp. 461-516. ed. 1, chapter 11.
- [5] Jaffe, A.B., Newell, R.G., Stavins, R.N. (2005). “A tale of two market failures: technology and environmental policy”, *Ecological Economics* 54, pp. 164-174.
- [6] Kaldor N. (1957), “A Model of Economic Growth”, *The Economic Journal* 67 (268), pp. 591-624.
- [7] Lundvall B.A. (1992), *National Systems of Innovation*, London, Pinter.
- [8] Maddison A., Mazzanti M., Zoboli R. (2007), *Environmental Efficiency, Emission Trends and Labour Productivity: Trade-Off or Joint Dynamics? Empirical Evidence Using NAMEA Panel Data*, FEEM Working Paper, n. 38.
- [9] Perez C. (1983), “Structural Change and the Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems”, *Futures*, Vol. 15, No. 5, pp. 357-75.
- [10] Perez C. (2010), *Technological Revolutions and Techno-Economic Paradigms*, Cambridge Journal of Economics, vol. 34, n. 1, pp. 185-202.
- [11] Porter M.E., van der Linde C. (1995), “Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship”, *Journal of Economic Perspectives* 9 (4), pp. 97-118.
- [12] Thirlwall A.P. (1979), “The Balance of Payments Constraint as an Explanation of International Growth Rate Differences”, *Banca Nazionale del Lavoro Quarterly Review*, Banca Nazionale del Lavoro, vol. 32(128), pp. 45-53.
- [13] UNCTAD (2010), *World Investment Report 2010. Investing in a low-carbon economy*.
- [14] UNCTAD (2011), *World Investment Report 2011. Non-Equity Modes of International Production and Development*.
- [15] UNEP (2010), *Global Trends in Sustainable Energy Investment 2010. Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy and Energy Efficiency*.
- [16] UNEP (2011), *Global Trends in Sustainable Energy Investment 2011. Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy and Energy Efficiency*.
- [17] Victor D. G., Yanosek K. (2011), *Foreign Affairs*, July/August, pp. 112-120.

Notes

- [1] Data on trade and patents are elaborated by ENEA’s Observatory on Technological Competitiveness (ENEA-UTT).
- [2] In the present work the analysis of patenting activity has been carried out through the Orbit database (a platform specialized in intellectual property) that allows much more accuracy in the selection of techniques as patent search can be run on both IPC codes and keywords for specific fields of technological applications.



The heterogeneous condensation. An effective way to adapt conventional dust removal techniques to new environmental challenges

The emission of particulate matter entrained in industrial and vehicle exhaust gases is one of the major health and environmental concerns. Social awareness on the effects of particulate pollution in urban area has increased sensibly in the past few years moving politics toward the introduction of better environmental regulations.

The traditional particle abatement devices are mainly designed and optimized to treat particles with sizes above 1 μm , and they are far less efficient in collecting sub-micrometric particles, especially in the range 0.1-2 μm , called Greenfield gap. The heterogeneous condensation is a promising technique to improve the performances of traditional particle collection devices. This technique consists in condensing vapor on the ultrafine particles in order to create a coarser liquid-solid aerosol larger in size than the upper limit of the Greenfield Gap. This paper reports the results of an experimental activity, which are described by using consolidated models for heterogeneous condensation. A description of the experimental plant specifically designed and built-up, located in the laboratory of UTTP-CHIA in the ENEA Research Centre Portici, is provided

■ **Marco Tammaro, Antonio Salluzzo**

ENEA, Technical Unit for Partic Technologies

■ **Paolo Lauriola, Meri Scaringi**

University of Naples "Federico II", Department of chemical engineering

La condensazione eterogenea. Uno strumento efficace per adeguare le tradizionali tecniche di rimozione del particolato alle nuove sfide in campo ambientale

L'emissione di particolato contenuto nei gas di scarico delle industrie e dei veicoli è uno degli argomenti più attuali per la salute umana e l'ambiente. La consapevolezza sociale sugli effetti negativi derivanti dall'inquinamento da polveri sottili in aree urbane è aumentata sensibilmente negli ultimi anni e questo ha spinto la legislatura verso la definizione di nuovi e più stringenti limiti di emissione. I tradizionali dispositivi di abbattimento delle particelle sono principalmente progettati e ottimizzati per il trattamento di particelle con dimensioni superiori a $1\text{ }\mu\text{m}$, quindi sono meno efficienti nella cattura di particelle submicroniche, soprattutto nel range $0,1\text{-}2\text{ }\mu\text{m}$, chiamato Greenfield gap. La condensazione eterogenea è una promettente tecnica per migliorare le prestazioni dei dispositivi tradizionali di rimozione delle particelle. Questa tecnica consiste nella condensazione del vapore sulle particelle ultra fini, al fine di creare un aerosol liquido-solido la cui dimensione è maggiore del limite superiore del Greenfield gap. Questo lavoro riporta i risultati di un'attività sperimentale, che sono poi descritti utilizzando modelli consolidati per la condensazione eterogenea. Infine è fornita una descrizione dell'impianto sperimentale, appositamente progettato e costruito, che si trova nel laboratorio di UTTP-CHIA nel Centro Ricerche ENEA di Portici

Introduction

The emission of particulate matter entrained in flue gas issuing from industrial and vehicle exhaust systems is one of the major health and environmental concerns [1]. The entrained very fine inhalable particles can remain suspended in the air for a long time, travelling long distances from the emitting sources, and once inhaled, they can reach the deepest regions of the lungs causing respiratory and other diseases, thus causing severe health hazards. These include heart diseases (strokes, high blood pressure, arteriosclerosis, heart attack) and altered lung functions (asthma, difficult or painful breathing, and chronic bronchitis), especially in children and elder people. In particular, fine particulate matter associated with diesel engine exhaust emissions is also recognized as a carcinogenic substance and, therefore, listed as a mobile air toxic source.

The particle size determines the capacity of penetration in the respiratory organs and the point of deposition of substances within the body. Toxicological studies [2] found an association between

exposure to ultrafine particles and mortality due to respiratory or cardiovascular disease. In fact, particles finer than 100 nm are capable of penetrating the cellular membrane, where they create an inflammatory response by means of oxidative stress, and cause damages to the mitochondria. Particulate emission sources are mainly related to industrial activities, even though the major exposure risks are related to those sources active in urban areas - such as domestic heating, urban traffic and emission from the diesel engines of harboured vessels - usually accounting for 30% of the total particulate emission inventories. Furthermore, nanoparticles are also formed in the atmosphere by nucleation events related to photochemical processes. These nanoparticles are important to cloud formation, but they can also be transported in the atmosphere over large distances and can eventually give rise to additional human exposure via inhalation routes. Nanoparticles can also be deposited onto the soil and water bodies and result in secondary contamination or other environmental effects. Even though the toxicity of particulate matter is

TABLE 1 Treatment techniques for particulate abatement from gas streams

Device	Size (μm) (Efficiency)	Advantages	Disadvantages
Electrostatic Precipitators (dry and wet)	1-2 (95-98%) 0.5 (91%) 0.1 (95%)	• High efficiency even for small particles. • Suitable for wide temperature, pressure and gas flow ranges. • Low pressure drop, hence the energy required tends to be low.	• Explosion risk with dry ESP. • The separation capacity depends on the resistivity of dust particles. • Dry ESP not recommended to remove sticky or moist particles.
Wet scrubber (Spray Towers)	1-2 (70-85%) 0.5 (60%) 0.1 (93%)	• Flammable and explosive dusts can be handled with little risk. • Simultaneous removal of dust and inorganic compounds.	• Relatively low mass-transfer efficiencies. • Relatively inefficient at removing fine PM.
Fabric Filter	1-2 (99.7-99.8%) 0.5 (99.1%) 0.1 (99.8%)	• High collection efficiencies for coarse and fine particles. • Residual emissions are virtually independent of the intake concentration.	• No wet or sticky dusts allowed as input. • There is an explosion risk.
High Efficiency Cyclone	1-2 (20-40%) 0.5 (8%) 0.1(-)	Simple plant and low cost.	For lower diameter it needs to be enhanced by another method.

Source: elaborated by the authors

well recognized since the early years of the industrial era, a significant portion of the existing knowledge on particulate matter toxicity and on the diagnostic methods to determine particle size and concentrations in gas streams have advanced significantly during the past years.

As a direct consequence environmental regulations have gradually reduced the minimum, “cut-off”, particle size allowed at the emission point of industrial exhaust systems from 10 μm (PM10) to 1 μm (PM1). Similarly, the adoption of restrictive regulations is envisaged for diesel engines (e.g., Euro 5 and 6 regulations for cars; USA Tiers 2 and 3 standards for diesel locomotives). These stricter emission limits need engineering challenges both for defining very low particulate emission processes, and the implementation of appropriate filtering systems able to pull down the fine particles [3-4]. However, despite this scenario, the conventional particulate removal devices are generally optimized for particles larger than 1-2 μm and they are far less efficient in collecting submicron particles, especially in the range 0.1-2 μm , called *Greenfield gap*. Usually, complex systems are employed, including trains of consecutive, different, abatement

units (cyclones, fabric filters; electrostatic precipitators; wet scrubber). In Table 1 a brief description of the main traditional particle abatement device is reported.

The enlargement of the particle size through condensational growth is one of the oldest approaches for aerosol measurement and many particle counters are based on this principle [5-6]. Subsequently, condensational growth has been used to enable the collection of particles for chemical analysis or to permit aerodynamic focusing and concentration of ultrafine particles. Finally, water vapour heterogeneous condensation has been exploited as an efficient technique for enlarging particles' diameter prior to conventional separators [7-8]. Particles undergoing water vapour heterogeneous condensation increase their diameter through a deposition of a water film upon the external surface (Figure 1). Once the droplet with inclusions raises the size over the Greenfield gap, these can be effectively removed by conventional removal devices. In this paper the heterogeneous condensation as a method for growing sub-micrometric particles by means of water vapour condensation – so the grown particles can be separated by a traditional

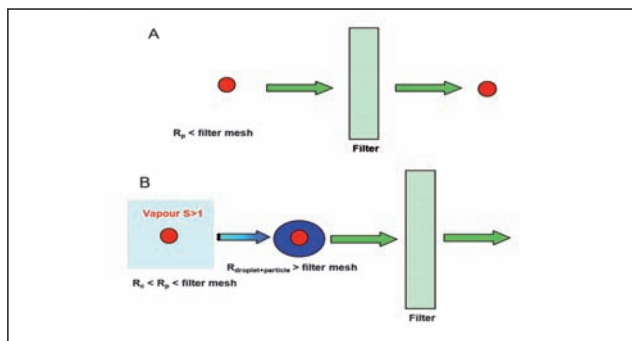


FIGURE 1 Scheme of a mechanism to remove particle from gas without (A) and with (B) heterogeneous condensation, through a conventional device used as a filter
Source: Tammaro [14]

solid-gas separation treatment – was studied. For this purpose, specific equipment has been designed, realized and tested. This experimental plant allows the heterogeneous condensation of water onto the sub-micrometric particles coming from the combustion smokes. Experiments can be proficiently described by using consolidated models for heterogeneous condensation.

Theoretical framework

The Kelvin's equation

Heterogeneous condensation of vapour on a particle is an energetically unfavourable process because the increase in liquid free surface causes a rise in the free energy [5-6]. In order to overcome the energetic barrier and to activate condensational growth, the vapour must be oversaturated. That is, the ratio S (known as *supersaturation*), between partial vapour pressure P_v and equilibrium vapour pressure, $P^\circ(T)$, at the flow gas temperature T , must exceed the unit [5-6-9]:

$$S = P_v / P^\circ(T) \quad (1)$$

The smaller the particle the higher the supersaturation required to activate condensational growth. This is because the equilibrium vapour pressure over a droplet is higher than that over a flat surface as a result of the curvature effects on the droplet surface tension [5]. This effect is described by the Kelvin's relation, which associates the equilibrium vapour supersaturation with the diameter of a

droplet composed of that condensed vapour, d_{cr} , called *critical diameter*,

$$d_{cr} = \frac{4\sigma M_w}{\rho R_v T \ln S} \quad (2)$$

where M_w , ρ , and σ are the molecular weight, liquid density, and surface tension of the condensing species, respectively; R_v is the universal gas constant.

The d_{cr} is a property of the condensing species and is equal to the diameter of a droplet in equilibrium with its vapour at S and T . In the case of heterogeneous condensation, the value d_{cr} represent the theoretical minimum size of the solid particle necessary, given S , to activate the condensation process onto its own surface (i.e., the *activation diameter*) [5-6].

Nucleation and growth to droplet

The process of particle enlargement by heterogeneous condensation can be divided into two steps. The first step is called *nucleation*, that involves the formation of a liquid embryo on the particle surface, and the second one is the *growth*, with a formation of a droplet around the particle through condensation of vapour [10]. The physical and chemical properties of particles (compositions, surface characteristics and wettability) affect heterogeneous characteristics considerably. However, the theoretical model considers spherical, smooth and homogeneous particles of coal.

Nucleation rate modelling

The nucleation rate represents the number of critical embryos created on a particle surface per second. Basically, the nucleation rate increases with the supersaturation of the water vapour and the size of the particle [11]. The Fletcher's model is the first and more important model for the nucleation rate. More recent models use the Fletcher's model for their system, upgraded with experimental data [10]. The rate of formation of embryos of size d_e on a particle of size d_p is given by the equation [10,11,12]

$$J = 4\pi K R_p^2 \exp \left(-\frac{\Delta G^*}{kT} \right) \quad (3)$$

where ΔG^* is the free energy of formation of the

embryo. The ΔG^* can be expressed as:

$$\Delta G^* = \frac{8\pi M_w^2 \sigma^3}{3(R_v T \rho \ln S)^2} f(m, x) \quad (4)$$

where $f(m, x)$ is a “geometrical factor” [11], where x is a dimensionless factor defined as ratio between particle and embryo diameters, and m is defined by:

$$m = \cos \Theta = \frac{\sigma_{vs} - \sigma_{ls}}{\sigma_{vl}} \quad (5)$$

with

σ_{vs} : surface tension between vapour and solid;
 σ_{ls} : surface tension between liquid and solid;
 σ_{vl} : surface tension between vapour and liquid coinciding;

θ : contact angle between the particle surface and embryo.

Eq. n. 5 is the Young's equation and is the usual definition of the contact angle θ , provided $-1 \leq m \leq 1$.

Finally, in eq. 3, the value of K is somewhat uncertain and depends in detail upon the nucleation situation. Fletcher [11] adopts for K the value of 10^{25} (1/cm²sec).

Commonly, a critical supersaturation, S_{cr} , is conventionally defined in the pertinent literature [9,10,12] as the level of S required to allow the formation of one liquid embryo of size d_e per second. Application of the Fletcher model for an insoluble and

spherical particle for $J = 1$ (1/s) gives:

$$S_{cr} = \exp \left[\frac{1}{R_v T \rho_l} \sqrt{\frac{8\pi M_w^2 \sigma^3}{3k_B T \ln(\pi K d_p^2)}} f(m, x) \right] \quad (6)$$

The S_{cr} is strongly affected by the particle size. In particular it decreases as the particle diameter increases. Then a particle can be activated at saturation equal or higher than its critical saturation.

Growth modelling

Once the liquid embryo becomes stable on the particle surface, a liquid-solid aerosol is formed and the liquid embryo can enlarge thanks to vapour condensation that is regulated by the classical laws of heat and mass transfer. In spite of the geometrical differences, the embryo is usually modelled as a single spherical droplet. Heidenreich [8], in a review on the condensational droplet growth in the air-water system, demonstrated that heat flux between droplets and vapour can be related only to heat conduction and by diffusing molecules, neglecting the Dufour effect. The same author showed that the mass balance on a droplet in a binary air-water gas mixture can be taken into account only for the mass flux due to diffusion: the Stefan-flow and the Soret effect contributions can be neglected since they account for less than 1.5% of the overall mass transfer rate. Under these assumptions the heat and mass balance become [7, 8]:

$$cm_d \frac{dT_d}{dt} + h_l I = Q \quad (7)$$

$$\frac{dm_d}{dt} = \frac{1}{2} \pi \rho_l d^2 \frac{dd}{dt} = -I \quad (8)$$

$$\text{with } t=0, m = m_e = \frac{\pi d_e^3}{6} \rho_w \text{ and } T=T_e$$

where Q is the total heat flux and I is the total mass flux to the droplet; T_d is the temperature of the droplet and h_l , c , m_d , d are the specific enthalpy of the liquid, the specific heat capacity, the mass and

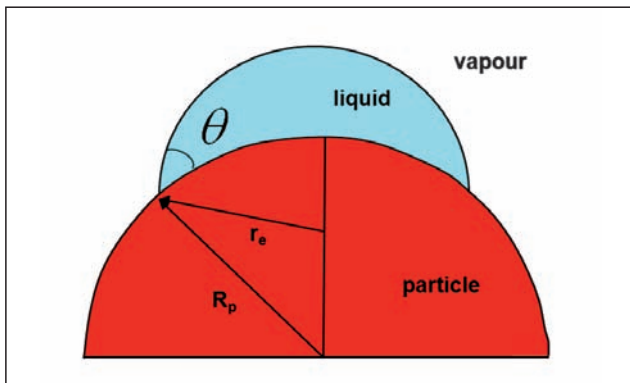


FIGURE 2 Schematic representation of a liquid on a spherical particle (R_p); r_e , radius of embryo; θ : contact angle
 Source: Fletcher [11]

the diameter of the droplet respectively; m_e and T_e are the mass and the temperature of the embryo respectively. The expression of I was first given by Maxwell (see Fuchs [13]):

$$I = \frac{2\pi d \cdot M_w D}{R_v T} (P_{v,a} - P_{v,\infty}) \quad (9)$$

where D is the diffusivity of water, T is the film temperature at the droplet surface and $P_{v,a}$ is the vapor pressure at the droplet surface, obtained by the Kelvin's relation.

Through equations n. 8 and 9 it's possible to describe the final diameter of droplet obtained from condensational growth [7,8,14], if the initial embryo size, the properties of the particle surface and the properties of the gas phase are known. In particular, it should be noticed that the proposed equations for heterogeneous condensation can be safely used only if θ is known *a priori*, from specific experiments, or if it is used as a parameter for numerical fitting of experiment [15].

Experimental apparatus

In Figure 3 the experimental system adopted for the heterogeneous condensation tests is described. The particles were produced by premixed ethylene-air flame whose C/O equivalent ratio is adjusted with the two flowmeters (FC1) that controlled the ethylene and air flows to the burner. The flue gases emitted by the flame are diluted with indoor air (the laboratory air was conditioned at 20°C and

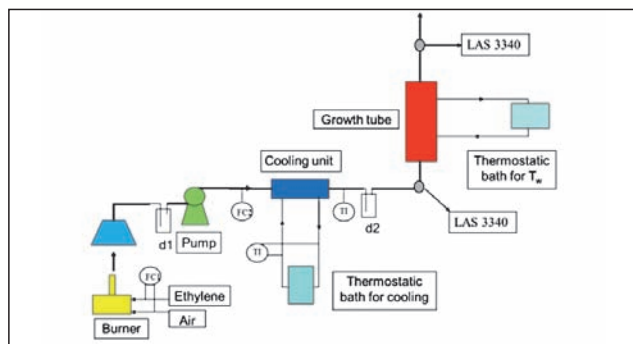


FIGURE 3 Experimental apparatus
Source: Tammaro et al. [15]

30% *circa* of relative humidity) and sampled by means of a hood connected to an extractor fan. The gas flow rate was controlled by the flowmeter FC2. The gas was then cooled to its dew point temperature, i.e., to its saturation level, determined by the temperature measurement. The latter was estimated on the basis of the reaction stoichiometry and the water content in the indoor air. The gas cooling unit was a typical glass condenser with cold water coils inside. Water temperature was controlled by a thermostatic bath. To prevent the presence of accidental droplets in the gas, two Drechsel bottles (d1 and d2) were placed along the gas line before the growth tube. The saturated gas was then sent to the *growth tube* (see following). The aerosol size distribution (ASD) and concentration in gas streams were measured by using a Laser Aerosol Spectrometer (TSI Model 3340) that allows measuring particle size in the range 90-7500 nm.

Growth tube

The most important part of the experimental plant is the one where the so-called *growth tube* – the size amplification of particles' heterogeneous condensation – is realized.

The growth tube is a glass pipe with $L = 40$ cm and $ID = 1.5$ cm. The dimensions of the tube have been specifically fitted for having a permanence time (t_{res}) of the smokes inside the tube higher or equal than $t_{het,cond}$, ($t_{res} \geq t_{het,cond}$), defined as the time needed for the heterogeneous condensation and the growth to occur, which has been assessed as 1 sec [5,6,9,10]. Actually, once fixed t_{res} , the length and internal diameter of the growth tube take into account the thermal and mass diffusivity of air and vapour respectively. Water vapour supersaturation is achieved by introducing an air flow into the growth tube, where temperature is lower than that of the growth tube walls, as illustrated in Figure 4. The walls are actively wetted to maintain a partial pressure of water vapour at the walls near the equilibrium vapour pressure at the wall temperature. The liquid film, on the growth tube wall, has been obtained with tangential inlet of the water. In Figure 5 a functioning scheme of growth tube is shown, where the nucleation and condensational growth steps are highlighted.

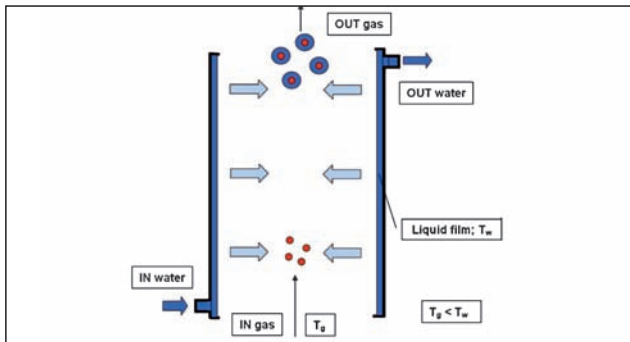


FIGURE 4 Schematic of the growth tube, showing a wet-wall tube, the walls of which are warm with respect to the entering flow. T_w : wall liquid temperature, T_g : gas temperature
Source: Tammaro [14]

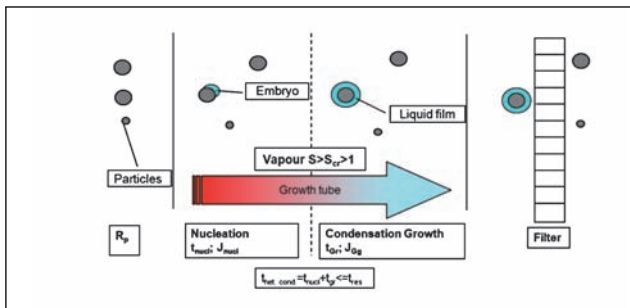


FIGURE 5 Functioning scheme of growth tube with nucleation and condensational growth steps
Source: Tammaro [14]

Experimental Test

In this work the results of an experimental campaign are presented, composed by thirty-six tests, organized in two main groups, corresponding to two equivalent ratios Φ , of 2.38 and 3.30. Each group was composed by six sub-groups, each of which made by three tests with constant residence time (t_{res}), dilution ratio (Dr , equal to the ratio between dilution air and combustion smokes) and total flow (Q_g). Each term of tests in a group consisted of one “blank test” (without any water in the growth tube) and 2 tests with different water temperatures, respectively of 309 and 317 K. Details of the experimental conditions are reported in Table 2.

During a test, the burner was turned on at given ethylene and air flow rates, and the dilution air flow

GROUP 1: $Q_{C_2H_4} = 59 \text{ ml/min}$, $Q_{air'} = 355 \text{ ml/min}$; $\Phi = 2.38$				
Test	T_w , K	t_{res} , s	Dr	Q_g , l/min
1 2 3	Blank test 309 317	0,94	9,86	4,50
4 5 6	Blank test 309 317	1,06	8,65	4,00
7 8 9	Blank test 309 317	1,21	7,45	3,50
10 11 12	Blank test 309 317	1,41	6,24	3,00
13 14 15	Blank test 309 317	1,70	5,03	2,50
16 17 18	Blank test 309 317	2,12	3,83	2,00
GROUP 2: $Q_{C_2H_4} = 82 \text{ ml/min}$, $Q_{air'} = 355 \text{ ml/min}$; $\Phi = 3.30$				
Test	T_w , K	t_{res} , s	Dr	Q_g , l/min
19 20 21	Blank test 309 317	0,94	9,32	4,50
22 23 24	Blank test 309 317	1,06	8,17	4,00
25 26 27	Blank test 309 317	1,21	7,03	3,50
28 29 30	Blank test 309 317	1,41	5,88	3,00
31 32 33	Blank test 309 317	1,70	4,73	2,50
34 35 36	Blank test 309 317	2,12	3,59	2,0

TABLE 2 Experimental plan
Source: Tammaro et al. [15]

rate, the water flow at the growth tube and the exchanger were fixed at the desired levels. The blank tests were performed in order to take into account all the scavenging phenomena occurring in the entire equipment, when heterogeneous condensation is absent. The two tests at different temperature provide information on the actual particle size distribution at the exit of the growth tube in two different operating conditions.

Figure 7 reports the typical experimental results of heterogeneous condensation tests, compared with the initial particles' distribution. In particular, these

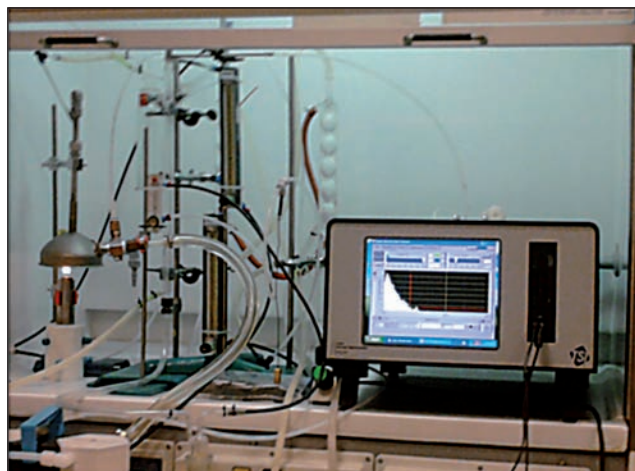


FIGURE 6 Laboratory plant
Source: ENEA

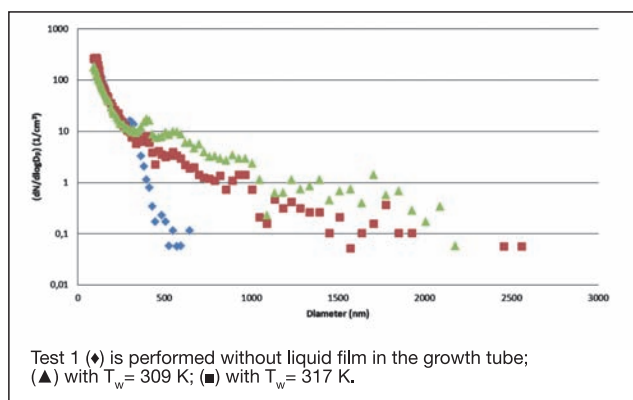


FIGURE 7 Size distribution vs diameter in Tests 1-2-3 (Table 2),
with $\Phi=2.38$
Source: Tammaro [14]

were obtained for the case of water temperature of 309 and 317 K and residence time of 0.94 s (Test n. 1, 2 and 3 in Table 2).

In Figure 7, the diamond symbols represent the blank tests, i.e., the particle size distribution generated by the flame and measured at the end of the growth tube. The square and triangle symbols represent the particle size distribution at the exit of the growth tube when heterogeneous condensation occurs.

The comparison between the aerosol size distributions with and without condensation clearly points out that below an experimental critical particle diameter (300 nm ca in Figure 7) no condensation occurred. The coarser particles, instead, were enlarged due to the heterogeneous condensation growth and a liquid-solid aerosol with size up to 2.0 μm was formed. All the experimental tests gave results qualitative similar to those reported in Figure 7. Although tests were planned for two different values of Φ , 2.38 and 3.30, no apparent differences were observed from the two cases. The results are quite easy to understand since higher particle residence times means that the particles persist in a supersaturated environment for longer times, allowing the condensation of more vapor and the formation of larger liquid-solid aerosols.

Furthermore, experimental results show that particle enlargement is favored by higher temperatures and, if enlargement of 90 nm particles is desired under the examined conditions, a residence time close to 2 s should be adopted at $T_w = 309$ K, but this time is almost halved at 317 K. Nevertheless, to enlarge all particles above 1 μm and allow their removal by conventional particle collection technologies, longer residence times and higher water temperatures are necessary.

The analysis of the experimental data requires the modelling of the dynamics of embryo nucleation and aerosol growth in the supersaturated environment of the growth tube. The objective of the model is to obtain the size distribution of the liquid-solid aerosol at the exit of the growth tube at the different investigated conditions, once the inlet particle size distribution is known. To this aim, the heterogeneous condensation process was modelled considering the fate of each particle flowing in the growth

tube under the assumptions that:

- the particles were homogeneously distributed in the gas stream;
- the gas flow in the growth tube was laminar and in steady state;
- the particles follow the gas streamlines as they were free of inertia, so that they move longitudinally along the growth tube without changing their radial position;
- the particle concentration was sufficiently low to ensure that heterogeneous condensation negligibly influences the water vapour concentration profile generated by the liquid film in the growth tube.

The first three assumptions are easy to accept once the gas properties and the geometry of the growth tube are known. The last one, instead, has been verified in our experimental conditions [15]. This modelled particle size distribution was compared with the corresponding experimental one and the value of the contact angle, θ , was then determined by best fitting experimental results [15]. Two sample results are reported in Figure 8, which describes the comparison between modelled and experimental values of the particle size distribution at the exit of the growth tube for two different operating conditions (corresponding to tests n. 11 and 3 of Table 2, respectively). Experimental values of the corre-

sponding inlet particle size distributions are also reported. It clearly appears that, at both temperatures, the modelled aerosol size distribution gives a very good representation of experiments. Initial particles' size distributions are also reported.

Conclusions

This work reports the study of the heterogeneous condensation as a technique to pre-conditioning the sub-micrometric particles contained in a gas, with the aim of increasing their dimensions enough to allow the use of consolidate gas cleaning techniques. This problem is particularly important for particles in the Greenfield gap and for ultrafine particles, for which the conventional depuration techniques are quite ineffective.

For this purpose, an instrumented lab scale equipment was designed, constructed and tested. The core of the equipment was the growth tube, which consisted of a glass tube where the particle laden gas flow came into contact with a supersaturated water vapour environment, generated by a liquid film flowing on the tube's internal wall. Experiments showed that by increasing the treatment time, the maximum size of the liquid-solid aerosol increases as well. A descriptive model based on the theories of heterogeneous nucleation and condensational growth was used to estimate the final

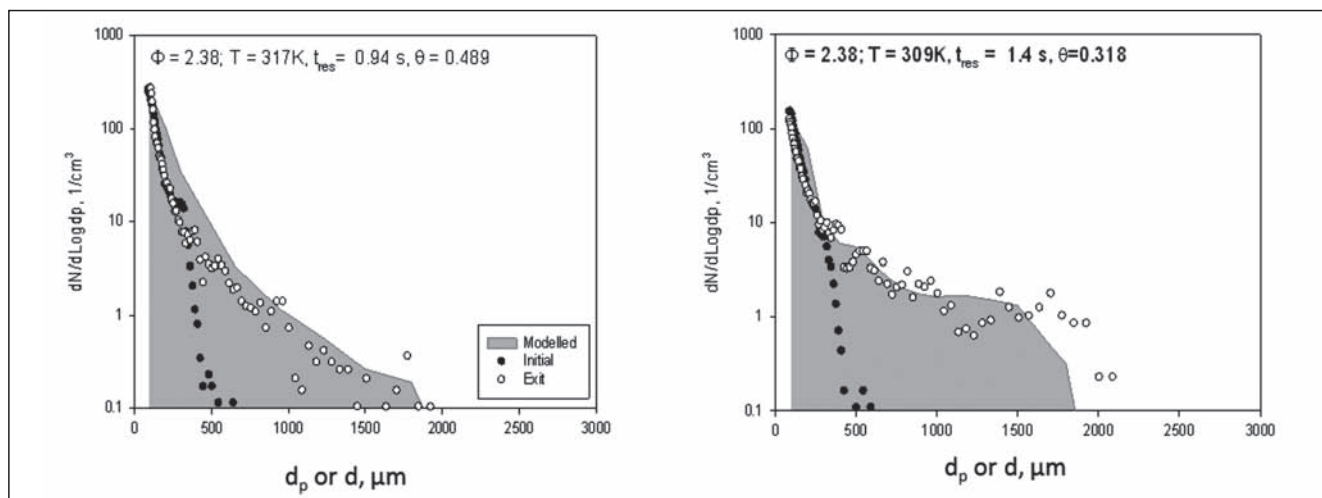


FIGURE 8 Comparison between experimental and modelled particle size distributions at the exit of the growth tube for two different operating conditions
Source: Tammaro [15]



particle size distribution at the exit of the growth tube. The parameter θ , the contact angle, is used here to take into account the discrepancies between the actual experimental conditions and the assumptions at the very basis of the models used to describe the physics of nucleation phenomena, above all the hypothesis of homogeneous spherical particles and of a liquid embryo modelled as a continuous fluid, regardless of the nanometric size of the investigated aerosol.

With reference to the industrial application of growth tube devices, the experimental results showed that the heterogeneous condensation can be easily carried out. Anyway the experimental configuration was not optimizing the heterogeneous condensation and different solutions should be investigated, but for its simple design, this system should be worth considering for large scale industrial applications.

References

- [1] Biswas P., Wu C., *Nanoparticles and the Environment*, Journal of the Air & Waste Management Association 55 (39), (2006).
- [2] Nemmar, A., Hoylaerts, M.F., Hoet, P.H., Nemery, B., *Possible mechanisms of the cardiovascular effects of inhaled particles: systemic translocation and prothrombotic effects*, Toxicological Letters 149 (2004) 243-253.
- [3] Peukert W., Wadenpohl C., *Industrial separation of fine particles with difficult dust properties*, Powder Technology, (2001)118:136-148.
- [4] Flagan R.C., Seinfeld J.H., *Fundamentals of air pollution engineering*, (1988)Prentice Hall, USA.
- [5] Hering S.V., Stolzenburg M.R., Quant F.R., Oberreit D.R., Keady P.B. *A laminar-flow, water-based condensation particle counter (WCPC)*, Aerosol Science and Technology, (2005) 39:659-672.
- [6] Hering S.V., Stolzenburg M.R., *A method for particle size amplification by water condensation in a laminar, thermally diffusive flow*. Aerosol Science and Technology, (2005) 39:428-436.
- [7] Heidenreich S., Ebert F., *Condensational droplet growth as a pre-conditioning technique for the separation of submicron particles from gases*, Chemical Engineering and Processing, 34 (1995) 10.
- [8] Heidenreich S., *Condensational droplet growth in the continuum regime. A critical review for the system air-water*, Journal of Aerosol Science 25 (1994) 11.
- [9] Smorodin V.Y., Hopke P.K., *Relationship of heterogeneous nucleation and condensational growth on aerosol nanoparticles*, Atmospheric Research, 82 (2006) 591-604.
- [10] Smorodin V.Y., Hopke P.K., *Condensation activation and nucleation on heterogeneous aerosol nanoparticles*. Journal Physics Chemical, (2004) 108, 9147-9157.
- [11] Fletcher N.H., *Size effect in heterogeneous nucleation*, The Journal of Chemical Physics, (1958) 29, 3.
- [12] Lee D.-W., Hopke P.K., Rasmussen D.H., Wang, H.-C., Mavliev R., *Comparison of experimental and theoretical heterogeneous nucleation on ultrafine carbon particles*. Journal Physics Chemical, (2003) 107, 13813-13822.
- [13] Fuchs N.A., *Evaporation and Droplet Growth in Gaseous Media*, Pergamon Press, London, (1959).
- [14] Tammaro M., *Heterogeneous condensation for submicronic particles abatement*, PhD Thesis, University of Naples "Federico II", (2010).
- [15] Tammaro M., Di Natale F., Salluzzo A., Lancia A., *Heterogeneous condensation of submicronic particles in a growth tube*. Manuscript submitted for publication (2011).

Alternative use of CO₂

This paper describes the CO₂ conversion to methane by reduction with hydrogen on a Ni catalyst. When compared to geological sequestration, the conversion of CO₂ to methane represents an interesting alternative to the common treatment of the CO₂ problem. CO₂/CH₄ conversion process is a good way to chemically store energy, provided that hydrogen is generated from a renewable energy source

■ Vincenzo Barbarossa, Giuseppina Vanga

Usò alternativo della CO₂

Nel presente articolo è discussa la conversione della anidride carbonica in metano, via riduzione con idrogeno. La proposta rappresenta un modo alternativo, rispetto al sequestro geologico, di trattare l'eccesso del gas serra. Se l'idrogeno è ottenuto da fonte rinnovabile, la conversione CO₂/CH₄, risulta essere un buon metodo per accumulare chimicamente l'energia rinnovabile

Introduction

The growing use of fossil fuels (solid, liquid and gas) as the main primary energy sources, inevitably leads to an increasing amount of carbon dioxide released into the atmosphere.

All estimates converge in indicating the contribution of coal, oil and gas estimated at about 80% of our energy portfolio until at least 2050.

On the other hand, the increasing CO₂ concentration in the atmosphere is indicated as the main cause of the greenhouse effect on the planet with consequent climate change. These reasons motivated in recent years growing efforts, from both technical-scientific and political communities, to control the accumulation of the atmospheric CO₂. Carbon capture technologies are a well stabilized route to reduce the concentration of the greenhouse gas (CO₂) from the atmosphere. However, the introduction of these capture processes always requires additional costs regardless of the adopted technology (post-combustion capture, pre-combustion capture or oxy-combustion).

Despite higher costs, the adoption of efficient technologies for capturing CO₂ is essential for the preservation of the environment. For this reason, legislation in developed countries is directed towards increasing restrictions on the amount of carbon dioxide emitted into the atmosphere.

Besides the capture of CO₂, its final sequestration in geologically stable sites is currently proposed for storing enormous quantities of gas involved. However, the geological storage of a given amount of CO₂ avoids the possible use of C for about 27% wt. Therefore it seems reasonable to question if we can take advantage of this huge amount of carbon (1 ppm CO₂, all over the Earth corresponds to ~ 1.4 10⁹ metric tons of carbon!).

The answer is, of course, positive and there are numerous examples of technological uses of CO₂ and synthetic processes using this gas^(1,2,3). Among its technological utilization we can remember carbon dioxide used as an additive in beverages and food, as a refrigerant, in fire extinguishers and as a solvent in supercritical conditions. Moreover, CO₂ finds wide application in the natural oils' extraction process from vegetables as well as, at an even higher quantitative extent, in the pressurization of fossil fuel deposits for enhanced oil recovery (EOR).

■ Vincenzo Barbarossa, Giuseppina Vanga

ENEA, Technical Unit for Advanced Technologies for Energy and Industry, Sustainable Combustion Laboratory

These technological processes do not contribute to the emission limitation of CO₂ since the gas is largely released into the atmosphere; they are nevertheless interesting because the CO₂ often replaces toxic or more expensive chemicals.

The CO₂ is also an important source of carbon for the synthesis of organic and inorganic compounds. Unfortunately, carbon dioxide is a very stable molecule that needs high-energy reducing substances for its conversion into useful compounds. The high amount of energy required for its activation has so far limited its use on a large scale. The most widespread use of CO₂ in the industrial processes is the urea synthesis:



In pharmaceuticals the CO₂ is used for the synthesis of salicylic acid, precursor of acetyl-salicylic acid (Aspirin). Another example is provided by dimethyl carbonate (DMC) which is conventionally synthesized from methanol and phosgene:



The carbon dioxide is an interesting alternative to highly toxic phosgene, according to the simple reaction:

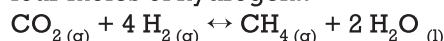


The DMC is used as a precursor of several important industrial products such as polycarbonates.

The hydrogenation of CO₂

Given the enormous amount of CO₂ discharged into the atmosphere, none of the uses discussed above is able to significantly contribute to reducing emissions of greenhouse gases. The only product consumable at the same rate generating the CO₂ is a fuel. There is, in fact, a growing interest around the possibility to treat the CO₂ in a reducing environment to convert it to methanol ^(4,5) or methane ^(6,7,8). This option is an alternative to the well documented reduction of CO₂ to carbon monoxide. In the latter case reduction can be achieved with hydrogen or water vapour using heat or radiation ^(9,10,11). The obtained CO/H₂ mixture can be used as fuel or for subsequent FT synthesis of hydrocarbons ⁽¹²⁾. More recently, decomposition of CO₂ has been achieved by applying the same thermochemical cycles' approach used for the water splitting ^(13,14).

Among all possible reduction products of CO₂, our interest⁽¹⁵⁾ is focused on the conversion to methane, for reasons that will be better clarified later. We will discuss in more details the carbon dioxide reduction by hydrogen according to the Sabatier's reaction, in which one mole of methane can be obtained by the reaction of one mole of carbon dioxide and four moles of hydrogen::



This equilibrium reaction has been deeply investigated mainly in the direction of the formation of H₂ and CO₂: the methane reforming with superheated steam is commonly used for hydrogen production. The temperature is the main parameter affecting the equilibrium. The methanation reaction is exothermic and spontaneous at room temperature: ΔH = -165 KJ/mole e ΔG = -113.5 KJ/mole. The ΔH and G behaviours with the temperature are shown in Figure 1 below.

The Gibbs free energy increases rapidly with temperature, and becomes positive over 500 °C, making the spontaneous reaction opposite to that of methanation, which is the reforming of methane.

A simple numerical simulation of the Sabatier's equilibrium is shown in Figure 2 for the total pressure of 1 bar and starting from 2 moles of water and 1 mole of methane. As it can be seen, we have a complete conversion to methane at room temperature, whereas over 300 °C the methane reforming takes places.

Therefore temperature is the main experimental parameter. The Sabatier's reaction has been experimentally tested at ENEA Casaccia labs. We have carried out some experimental measurements using a quartz tubular reactor for three different CO₂/H₂ feed molar ratios by operating at 1 atm. Due to the kinetic barrier in this reaction, it is necessary to introduce a catalyst that increases the reaction rate. The catalysts commonly used are metals such as Ru, Rh and Ni: in our study we filled the quartz reactor with Ni powder (average particle size 43 nm). In Figure 3, we report the CO₂ to CH₄ conversion yield vs. the reaction temperature, ranging from 25 °C to 500 °C, when the feed gas is composed only of carbon dioxide and hydrogen in the ratio of 1:3, 1:4 and 1:5.

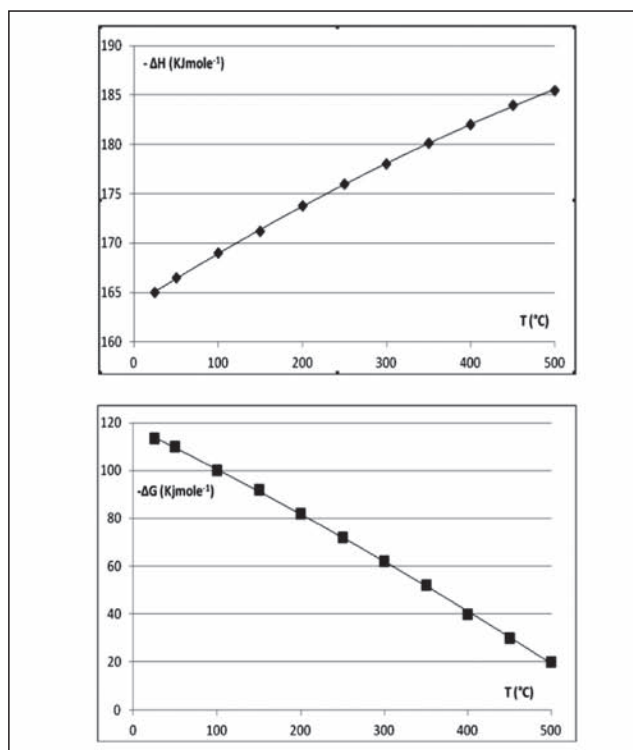


FIGURE 1 Molar enthalpy and molar Gibbs free energy for Sabatier reaction in the temperature range 25 °C - 500 °C
Source: ENEA

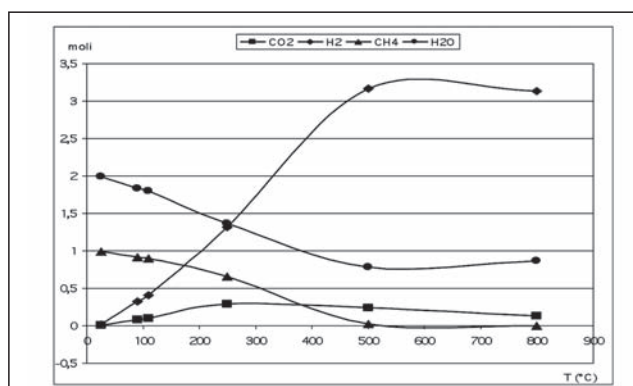


FIGURE 2 Numerical simulation for Sabatier equilibrium
Source: ENEA

As it can be seen from the figure, there is a threshold around 200 °C, then the yield increases rapidly and reaches a maximum value just before 300 °C. When the CO_2/H_2 ratio is 1/4 and 1/5 the maximum

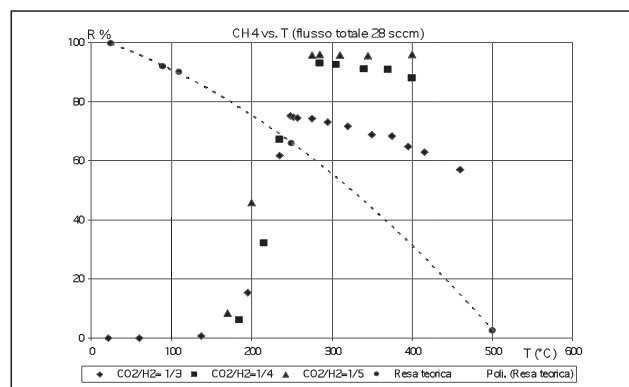


FIGURE 3 Experimental behaviour of the conversion yield as a function of temperature
Source: ENEA

yield is close to 100 %, while when the ratio CO_2/H_2 is less than the stoichiometric ratio, the maximum yield is about 75%. In all the cases a further increase in temperature corresponds to a reduction in yield, that is more remarkable as far as we are away from stoichiometric ratio. The observed behaviour is congruent with expectations: as temperature increases the methanation regresses in favour of the reforming. The kinetic barrier moves the maximum methane yield of nearly 300 degrees. The preliminary experimental results just described demonstrate the simplicity of the methanation reaction and the ability to “exploit” the CO_2 by reduction with hydrogen.

Consider the following reactions:

- 1) $\text{C} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{CO}_2$ $\Delta H = -94.051 \text{ Kcal/mole}$
- 2) $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ $\Delta H = -39.439 \text{ Kcal/mole}$
- 3) $4 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 4 \text{H}_2 + 2 \text{O}_2$ $\Delta H = +231.2 \text{ Kcal/mole}$
- 4) $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \leftrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ $\Delta H = -191.761 \text{ Kcal/mole}$

Reaction (1) represents the combustion of carbon and can be considered the generation phase in a generic thermal plant; reactions (2-3-4) represent a cycle in which CO_2 is continuously transformed into CH_4 that, in turn, is burned by restoring the CO_2 . This is a carbon free emission cycle for power generation that consists of 3 main phases:

- i- electrolysis to produce hydrogen and oxygen from water;
- ii- methanation reaction to produce methane;
- iii- methane storage or power generation.

The cycle is supported by the dissociation of H_2O , which provides H_2 for the methanation and O_2 for the combustion, while both reactions (2, 4) regenerate H_2O . The entire cycle can be represented by the following scheme:

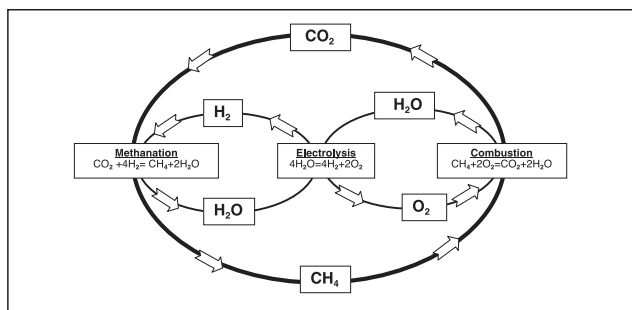


FIGURE 4 Theoretical cycle involving CO_2 , H_2 , O_2 , H_2O and CH_4
Source: ENEA

Looking at this cycle, someone could smile naughtily, as if proposing to bring up the water already fallen by a dam. But if the energy to operate the water dissociation comes from a renewable source (i.e., solar, wind), the cycle is a way to chemically accumulate renewable energy as methane. This occurrence allows us to overcome the problem of renewable sources variability. A project based on this cycle is currently underway in Germany ⁽¹⁶⁾, where a company formed by three different institutions has already set up a working prototype.

Custom-made solution for Italy

Our proposal stands as a possible solution to several problems, some of a general nature, such as the reduction of atmospheric CO_2 , other local, related to the particular Italian situation. The development of renewable sources in Italy is witnessing the peculiar condition of restriction instead of encouragement. According to ANEV (National Association of Wind Energy), 1,300 MW of installed wind power plants are subject to a modulation of their power with a reduction in annual energy capability of 700 GWh ⁽¹⁷⁾. It is as if 30% of the installed wind power capacity was blocked. The serious difficulties renewable energy sources are faced with in Italy can be traced to two main categories: administrative barriers related to the uncertainty of the authorized

standards and technical barriers due to the inadequacy of the electricity distribution network to receive all the power generated by renewable energy plants ⁽¹⁸⁾. Apart from the administrative problems, the technical problem can be solved by significantly reconsidering the structure of our electricity distribution network.

And what if our electricity-producing wind turbines and photovoltaic systems should produce methane? We would save the cost of compliance of the electricity distribution network, remove an obstacle to the diffusion of renewable energy sources, contribute to reducing CO_2 , and finally reduce our dependence on foreign energy supplies.

Conclusions

We have proposed an alternative route to the treatment of CO_2 , which allows the enhancement of carbon in the molecule, through its conversion to methane. The process uses well established and reliable technologies (water hydrolysis, methanation reactors, fuel cells, etc.). The method is a good way to store the electricity generated from renewable sources such as chemical energy; it is easily accessible and transportable thanks to the widespread presence in Italy of methane distribution network. Finally, considering the Italian CO_2 emissions in 1990 (about 500 Mt), a reduction of 20 % (100 Mt) could lead to the production of 36 Mt of methane. At least it's something!

References

- [1] C. Song, *Catalysis Today* 115 (2006) 2.
- [2] M. Aresta, *La Chimica e l'Industria* 80 (1998) 1051.
- [3] I. Omae, *Catalysis Today* 115 (2006) 33.
- [4] K. Ushikoshi et al., *Appl. Organometal. Chem.* 14 (200) 819.
- [5] D. Mignard et al., *Int. J. Hydrogen Energy* 28 (2003) 455.
- [6] E. Novák et al., *Topics in catalysis* 20 (2002) 107.
- [7] W. Wang, J. Gong, *Front. Chem. Sci. Eng.* 5(1) (2011) 2.
- [8] F.J. Martin, W. L. Kubic Jr.; *Green Freedom*, LA-UR-07-7897 Los Alamos National Laboratory.
- [9] S.S. Tane et al., *Catalysis Today* 115 (2006) 269.
- [10] Pubblicazione della Brillian-C an XMR Partners Company, Tel Aviv (Israele).
- [11] A. J. Traynor and R. J. Jensen, *Ind. Eng. Chem. Res.* 41 (2002) 1935.
- [12] H. Ando et al., *Catalysis Today* 45 (1998) 229.
- [13] A. Ambrosini et al., in "Advanced in CO_2 Conversion and Utilization", Chap. 1, ACS Symp. Ser., ACS Washington, DC (USA), 2010.
- [14] P.G. Loutzenhiser et al., *JOM* (2011) 32.
- [15] V. Barbarossa et al., *Sustainable Fossil Fuels For Future Energy*, Roma (2009).
- [16] Fraunhofer, IWES, ZSW, *Solarfuel project*.
- [17] L. Tabasso, *Quotidiano Energia*, 8 maggio 2009.
- [18] Rapporto Nomisma Energia-Legambiente 2010, *Condizioni per lo sviluppo delle rinnovabili in Italia*.



New method to obtain hybrid conducting nanocomposites based on polyaniline and carbon nanotubes

The combination of nanoparticles and conducting polymers, known as *hybrid conducting nanocomposites*, is a new emerging research field. The combination of conductive polymers, such as polyaniline (PANI), with conductive carbon nanotubes (CNTs) has already shown some synergistic properties. Hence, they have a variety of applications, e.g., as sensors, actuators, touch screens, etc. Usually PANI and CNTs are combined by using electrochemical synthesis starting with the monomer aniline. In this work a new method to obtain PANI/CNTs nanocomposite is described, consisting of Electrophoretic co-Deposition of PANI in the polymerised form, and CNTs. The advantages of the new deposition method, with respect to the usual electrochemical synthesis, are shown also in terms of electrochemical properties of the obtained hybrids nanocomposites

■ M. Federica De Riccardis, Virginia Martina

Un nuovo metodo per preparare materiali ibridi nanocompositi a base di polianilina e nanotubi di carbonio

I nanocompositi ibridi conduttori, formati da nanoparticelle e polimeri conduttori, sono una classe emergente di materiali con straordinarie caratteristiche. La combinazione di polimeri conduttori, ad esempio la polianilina (PANI) e di nanotubi di carbonio (CNT) ha dimostrato di avere notevoli proprietà, tanto da renderla adatta alle più svariate applicazioni, ed esempio come sensori, attuatori o touch screen. Usualmente, il nanocomposito formato da PANI e CNT è ottenuto mediante una sintesi elettrochimica operata sul monomero corrispondente, l'anilina. In questo lavoro, è stato descritto un nuovo metodo di elettrodeposizione, basato sulla Deposizione Elettroforetica, in cui si usa la forma già polimerizzata della PANI. I vantaggi del metodo proposto sono illustrati anche attraverso lo studio delle proprietà elettrochimiche dei materiali ottenuti con i due metodi

Introduction

Polymeric nanocomposites consist of nanoparticles imbedded in organic polymers. When *conducting nanoparticles* are inserted in *conducting polymers*,

hybrid conducting nanocomposites are obtained. The properties of these materials are so outstanding that they are attractive for both industry and academia.

Among conducting polymers, polyaniline (PANI) has been one of the most studied because of its facile synthesis, electrical conductivity, low cost and environmental stability [1-2]. It is characterised

■ M. Federica De Riccardis, Virginia Martina
ENEA, Technical Unit for Brindisi Material Technologies

by a relatively wide potential stability, a reproducible synthesis and a well-behaved electrochemistry showing different domains of conductivities, which refer to different oxidation states of the polymer. Each oxidation state can exist in the form of its base or its protonated form (salt) by treatment of the base with an acid. Depending on the oxidation state and the degree of protonation, PANI can be either an insulator or a conductor with different conductivity [3-4].

As an electrochromic polymer, PANI is one of the most promising materials because its colour can be controlled electrically. However, the electrochemically deposited polyaniline exhibits substantial resistivity, which is attributed to the lack of conducting pathways at the nanoscale associated with random deposition morphology. PANI is also characterized by a good supercapacitive behaviour but its stability is not so much good.

Finally, PANI is known as having good anticorrosion properties, depending on the oxidation states. Although the synthesis of a PANI coating is direct and controllable, particular care has to be taken on choosing the proper polymerisation solution and electrochemical parameters affecting PANI's growth and properties. The mechanism underlying the protective behaviour of PANI is still not completely clear. Most studies agree that PANI films have an active role in keeping the passivity of the metal substrate in acid solution [5-6]. Other suggested the non-conductive state of PANI performed better than the conductive one [7].

Recently, several studies in the fields of new materials have introduced the possibility to use conducting polymers as suitable matrices to disperse nanostructured elements, such as Carbon Nanotubes (CNTs). In particular, it has been shown that the introduction of CNTs into PANI can improve its electrical conductivity and mechanical properties [8-9]. In this work, we introduced CNTs in a PANI matrix in order to obtain a better performance in terms of corrosion protection. Moreover, two different electrosynthesis methods, Electropolymerisation and Electrophoretic Deposition, were used in order to compare the properties of the so obtained hybrid conducting nanocomposites.

Electropolymerisation is typically used for the synthesis of PANI coatings. In general, this method consists in applying an opportune potential to a working electrode immersed in an electrolyte solution (Fig. 1). The monomer is thus electrochemically oxidised and polymerisation occurs at the electrode surface with deposition of the polymer film. The main advantage of this method is an accurate control of the polymerisation rate and of the state of material generated by varying potential values. Moreover, Electropolymerisation is environmentally friendly and polymerisation media can be used repeatedly. However, this method is hardly applicable to large areas, due to problems related to solubility, film quality and coverage. These drawbacks are particularly relevant since relatively large quantities of materials are needed for industrial applications.

Electrophoretic Deposition (EPD) is one of the most outstanding coating techniques based on electrodeposition. It is a traditional method employed to obtain ceramic coatings. Nowadays, due to its wide potential in coating processing technology, it has gained increasing interest both by the academia and industrial communities.

The main advantages of this technique are high versatility, since it can be used with different materials and their combinations, and cost effective-

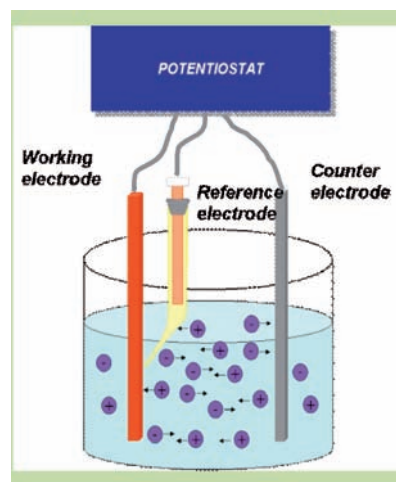


FIGURE 1 Electrolytic cell with the three-electrode configuration

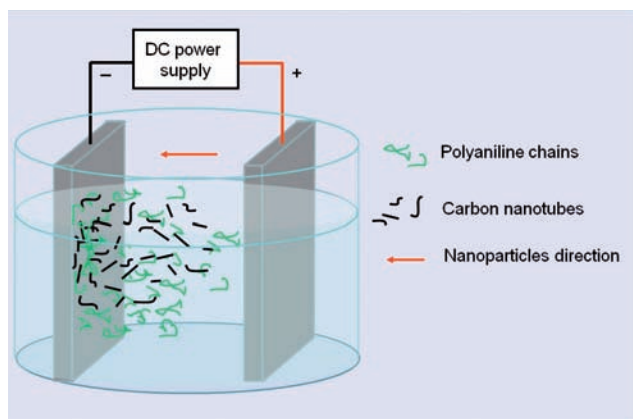


FIGURE 2 Scheme of an electrophoretic cell, with a suspension containing PANI and CNTs

ness, as it requires simple and cheap equipment. Moreover, it can be used both on a large scale also when coating objects with a complex geometrical form, and on a small scale, to fabricate composite micro- and nanostructures, as well as near net-shape objects having accurate dimensions (micro- and nano-manufacturing).

EPD is a two-step process. In the first step, charged particles suspended into a liquid medium move towards the oppositely charged electrode under the effect of an externally applied electric field (electrophoresis). In the second step, the particles deposit on the electrode forming a more or less thick film, depending on the process conditions (concentration of particles in solution, applied electric field, time). The substrate acts as an electrode and the deposit of particles is the coating (Fig. 2).

Of course, the process parameters, mainly the formulation of the electrophoretic suspension containing the particles, have to be suitable to coating material and coating application. New EPD application areas are: low-cost fabrication of composite materials including advanced coatings based on nanocomposites, laminate structures, functional graded materials and fibre reinforced ceramics.

In this paper, the synthesis of PANI composite films containing CNTs, performed by ELD and EPD, is described. Since PANI properties, and therefore its performance in several applications, depend on

synthesis parameters – such as the technique of electrosynthesis and the composition of the polymerisation solution – films characterisation was performed in order to investigate electrochemical properties and CNTs influence on the PANI composite coatings.

Experimental details

All analytical-grade chemicals were purchased from Sigma-Aldrich and used as received, including Aniline monomer (analytical-grade), Polyaniline and CNTs. The used CNTs had a 110-170 nm diameter and were 5-9 μm long. By SEM observation, CNTs resulted to be quite straight and similar to hollow ropes with some impurity.

CNTs were purified by boiling in a solution of HNO_3 and HCl (3:1) for 1 hour to dissolve any catalysts. Then, CNTs were washed with deionised water until pH 6 and then dried at about 70°C . Triton X-100 was used as surfactant to disperse CNTs in water, since this prevents them from becoming aggregated for a long period. For the aniline polymerisation and composite formation (ELD process), a conventional three-electrode cell was used where the working electrode was a carbon paper disk, the counter electrode was a Pt wire, and the reference electrode was an Ag/AgCl electrode (AMEL). For the films deposition, a PAR 273A potentiostat (Princeton Applied Research, Oak Ridge, TN) in remote control was used. All the experiments were carried out at room temperature. Deionised water was used for rinsing electrodes and preparing solutions.

In order to deposit PANI and PANI-CNTs films on carbon paper substrates, 0.25 M Aniline solution in 1 M HCl was used. In a typical experiment, CNTs dispersed in Triton X-100 were added to Aniline solutions, varying the content from 0 to 0.3 %v/v (volume percent with respect to Aniline solution). The electrodeposition of PANI/CNTs composite films, hereinafter referred to as ELD PANI/CNTs, was performed by Cyclic Voltammetry between 0.0V and +1.0V vs. Ag/AgCl , at 50mV/s as scan rate.

For Electrophoretic Deposition of PANI-CNTs composite (EPD process), a well dispersed solution containing PANI and CNTs was used. Firstly, 0.2 mg/ml of PANI was mixed with 0.38 mg/ml of dode-

cylbenzenesulfonic acid (DBSA) and dissolved into a chloroform : *m*-cresol solution (9:1 v/v). Then, an opportune aliquot of the aqueous CNTs suspension was added to the PANI solution, so that the CNTs content was varied between 0 and 0.3 %v/v. For EPD of composite films, hereinafter referred to as EPD PANI-CNTs, a voltage supply was used (Keithley 2400). EPD composite films were obtained by applying 25 V for 5 minutes.

The morphology and the microstructure of both ELD and EPD composite films were characterised by using a FEG-SEM LEO 1530 microscope and a transmission electron microscope TECNAI G2 F30. ELD and EPD PANI-CNTs films were characterised electrochemically in a 0.5 M H_2SO_4 solution, that was deaerated with Argon gas for 10 min prior to use. In order to study their potential efficiency in corrosion prevention, 10 mM FeSO_4 was added to Sulphuric Acid solution. All experiments were done at room temperature.

Results and discussion

ELD process

As mentioned before, the synthesis of ELD PANI-CNTs composite films was performed via electrochemical co-deposition onto electrode materials, so that CNTs were incorporated in the PANI matrix during the Electropolymerisation process. In other words, the formation of the composite occurred during the electrogeneration-deposition of the polymer just near the electrode surface, in the solution containing both CNTs and Aniline.

Recent studies have shown that the functionalisation of CNTs by means of PANI occurs via formation of donor-acceptor complexes (Fig. 3). In fact CNTs act as good electron acceptors, while PANI is a fairly good electron donor [10]. The π -bonded surface of

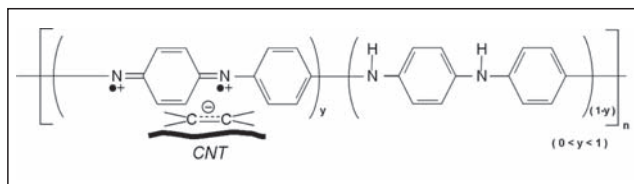


FIGURE 3 Scheme of PANI - CNTs interaction during electropolymerisation

the CNTs interacts strongly with the conjugated structure of PANI, especially through the quinoid ring. Such selective interaction of CNTs with the quinoid ring of PANI was reported in literature [11-12]. Moreover, the possible presence of functional groups on the CNTs' surface can favour a chemical interaction of both the monomer and the polymer during its generation [13].

In this work, the formation and deposition of PANI and PANI-CNTs films on carbon paper were obtained by means of 3 consecutive CV scans recorded from 0.0 V to 1.2 V at a scan rate of 20 mV/s. Whereas the aniline solution was uncoloured, the deposited films were green, the typical colour of PANI in the emeraldine salt state, meaning that the polymerisation had occurred.

Figure 4 shows the CVs of the 3 cycles in a 1 M HCl solution containing 0.25 M Aniline and 0% CNTs (a) and 0.3%v/v CNTs (b), respectively. As previously described, in the first positive potential scan, the Aniline is oxidized, exhibiting an irreversible anodic peak. This peak is at 1.1 V in the absence of CNTs, whereas it is shifted at lower anodic potential, i.e., 1.0 V, in the presence of CNTs.

When the Aniline is oxidised, the polymer growth process takes place. Voltammograms recorded during continuous scans showed an increasing current in each successive cycle, meaning the regular growth of the polymer film onto the carbon substrate. From a comparison of the first CV for PANI and PANI with CNTs, it is possible to notice that the voltammogram related to the solution containing CNTs is similar in shape to that recorded from the solution containing only Aniline. However, the curve for ELD PANI-CNTs exhibits a considerable increase in current intensities at the monomer oxidation region. Moreover, the CNTs addition to the Aniline solution favours a catalytic effect towards the monomer oxidation. In fact the Aniline is oxidised more readily in the presence of CNTs (see the peak shifted at less anodic potential), producing a higher current density during the anodic oxidation. This phenomenon was already observed by Wu [14], who reported that the presence of CNTs in an acid Aniline aqueous solution accelerates the growth rate of PANI.

Similar behaviour was observed in CV curves re-

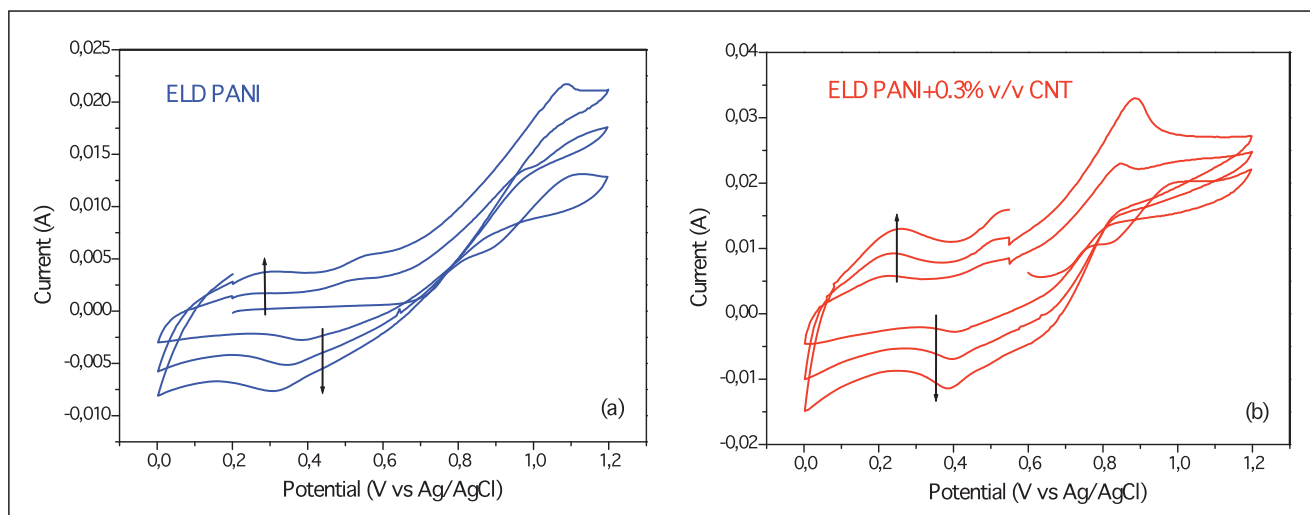


FIGURE 4 CV curves referred to electrodeposition cycles in a 1 M HCl solution containing 0.25 M Aniline and 0% CNTs (a) and 0.3%v/v CNTs (b)

ferring to lower CNTs content (not reported here for sake of brevity). In those curves, a higher current was recorded when the content of CNTs was higher. This effect should be attributed to the dimensional characteristics of CNTs. In fact, in the presence of CNTs, the exposed area available for the PANI electropolymerisation is wide with respect to the surface of a planar working electrode. Therefore, we supposed that an increase in CNTs content in an ANI solution allowed an increase in the amount of electropolymerised PANI.

We also noticed that for CNT-based composites, an anodic peak around 0.2 V appears. This peak can be explained through two mechanistic theories proposed by Huang [15]. One possibility is that CNTs and Aniline undergo strong interactions and lead to charge stabilisation, promoting the protonation of PANI. The other is that CNTs act as condensation nuclei promoting the polymer aggregation.

EPD process

As mentioned before, EPD is a two-step process, consisting in electrophoresis and deposition. Each step requires accurate attention. The main requirement to obtain an efficient EPD process is to use suitable suspensions where particles are well suspended and dispersed into a proper liquid medi-

um. The stability of a suspension is essentially due to two possible phenomena occurring at the surface of solids in suspension: the dissociation of functional groups in ionic charges (electrostatic stability), or the adsorbing of ionic surfactants (steric or electrosteric stability). Both phenomena produce a superficial charge also allowing solids to move in the electric field.

With regard to the second step of EPD, the deposition – the deposited mass per area unit in a cell with planar geometry – is given by the expression [16]:

$$m = C_s \mu A E t$$

where C_s is the solids' concentration in the suspension; t , the deposition time; μ , the electrophoretic mobility; E , the electric field strength; A , the surface area of the electrode. In this expression, the critical parameter is the electrophoretic mobility, defined as:

$$\mu = \varepsilon \zeta / 4\pi\eta$$

where ε is the dielectric constant; ζ , the zeta potential; η , the viscosity of the liquid medium. It is evident that a particle has a good mobility if zeta potential is high. In this way, also the efficiency of the deposition process can be evaluated through zeta potential measurements.

For preparing EPD suspensions based on polyani-

line, PANI was dissolved into a mixture of $\text{CHCl}_3/\text{EtOH}$ containing m-cresol and dodecylbenzenesulphonic acid (DBSA). The amphiphile DBSA was used because it increases significantly the mean molecular area, provided the sub-phase is maintained sufficiently acidic to keep the PANI protonated and the DBSA negatively charged. The addition of m-cresol as a co-solvent is believed to straighten the PANI chains and is therefore responsible for increasing the mean molecular area per PANI unit [17]. The so prepared suspension was green, indicating the emeraldine salt state of PANI. After addition of some aliquots of CNTs solution, the PANI suspension became darker, tending to black, because of the CNTs colour and the interaction occurring between CNTs and PANI chains. Since PANI was in the protonated state, the possible interactions between PANI and CNTs generation were:

- 1) electrostatic interaction between $-\text{COO}^-$ groups of functionalized CNTs (residual of the purification treatment) and $-\text{NH}^+$ of PANI;
- 2) π -stacking, referring to the attractive no-covalent interaction between aromatic rings of PANI and CNTs;
- 3) hydrogen bonding between $-\text{OH}$ of CNTs and $-\text{NH}$ of PANI.

Meanly, all these interactions did not neutralize the

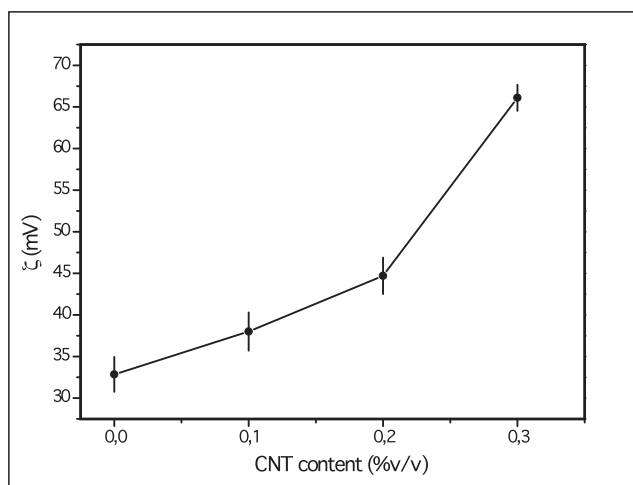


FIGURE 5 Zeta potential of EPD PANI-CNT suspension as a function of the CNTs content

total positive charge of PANI chains, since the amount of CNTs in the PANI suspension was quite low. This affirmation was confirmed by measurements of zeta potential. In Fig. 5, the zeta potential values are reported as a function of the CNTs content. One can notice that PANI is effectively positively charged. After adding CNTs to PANI suspension, the zeta potential increased in positive correlation with the CNTs content, meaning that the CNTs in suspension contributed to improve the efficiency of the EPD process.

Morphological characterisation

After electrochemical and electrophoretic deposition, the surface of all PANI-based films were examined by SEM. Figure 6 shows SEM images of the surface of pure PANI and ELD PANI-CNTs, deposited on carbon paper, when CNTs at the maximum concentration were present in the Aniline solution. The morphology of PANI deposit (Fig. 6a) is porous and appears composed of nano-fibrils. When CNTs are present in PANI, the morphology of ELD PANI-CNTs composites appears modified with respect to pure PANI, as shown in Fig. 6b.

The diameter and the length of the fibrils in composite films are similar to those of individual CNTs, but PANI fibrils are more straightened and with their ends chopped, thus reminding the CNT shape. This means that PANI covered each CNT in a thin layer, acting as a backbone for building the polymer. TEM images (inset) evidence a different structure of PANI-CNTs with respect to pure PANI. The presence of CNTs seems to have made the polymer structure denser, whereas in the pristine form it is characterised by a low degree of order. These results confirm that the interaction between CNTs and PANI produced a PANI coating on each CNT or CNTs wisp.

In the case of EPD PANI-CNTs composites, the presence of CNTs is more evident. In Fig. 7, the EPD PANI shows a structure similar to that of ELD PANI, with the characteristic fibrils having a dimension meanly comparable to ELD PANI's. When CNTs were present in EPD PANI solution, the deposited film appears formed by longer and thinner structures, together to some others with globular shape.

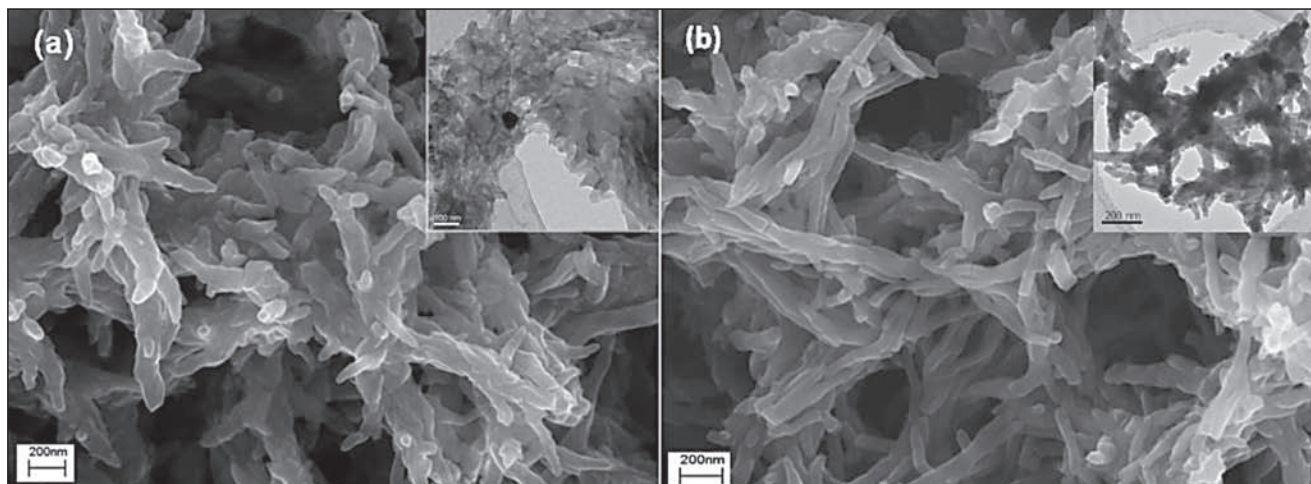


FIGURE 6 SEM and TEM images of ELD PANI without (a) and with CNTs 0.3% v/v (b)

At a higher magnification, the morphology of the surface of the long structures and that of the globular ones is similar, appearing quite rough. We attributed this morphology to the polymer that was able to cover the CNTs. Nevertheless, probably the action of *m*-cresol in straightening the PANI chains was not completely efficient, so that some globular aggregate remained in solution and therefore also in the deposited film. TEM observations (inset of Fig 7b) confirmed the presence of PANI around the CNTs.

Electrochemical characterisation

Electrochemical characterisation of PANI and PANI-CNTs films was carried out by CV in 0.5 M H_2SO_4 , in presence of Argon gas. Figure 8 shows the last of 10 voltammograms acquired on three coatings of each type of PANI-CNTs composites (ELD and EPD), containing 0, 0.1%v/v and 0.3%v/v of CNTs, respectively.

For ELD PANI-CNTs, the peak structure conforms to that already proven in literature [18]. The anodic peak A at about 0.25 V represents the transition

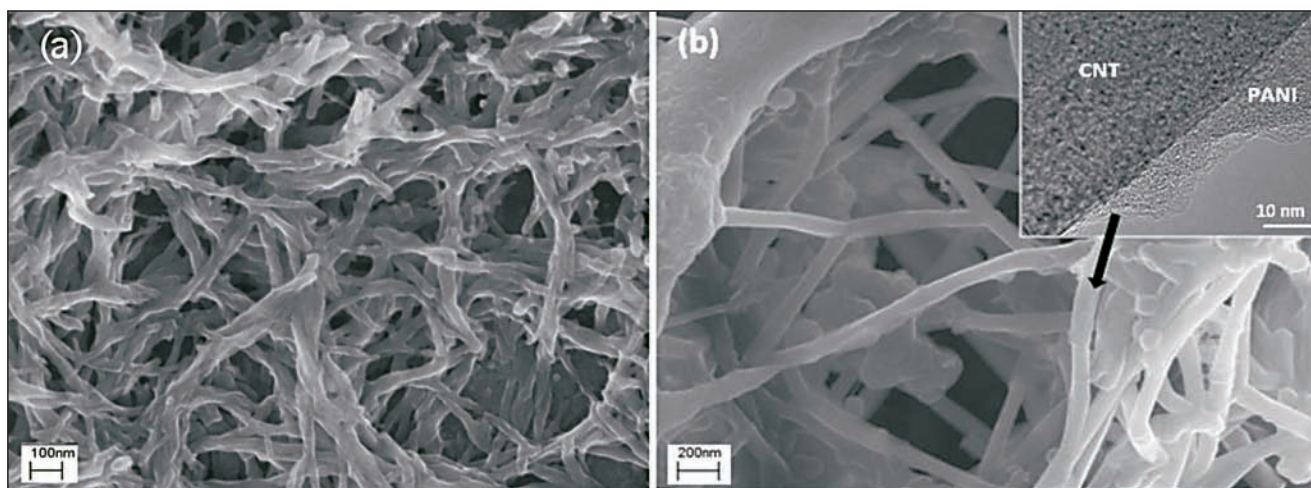


FIGURE 7 SEM and TEM (inset) images of EPD PANI without (a) and with CNTs 0.3% v/v (b)

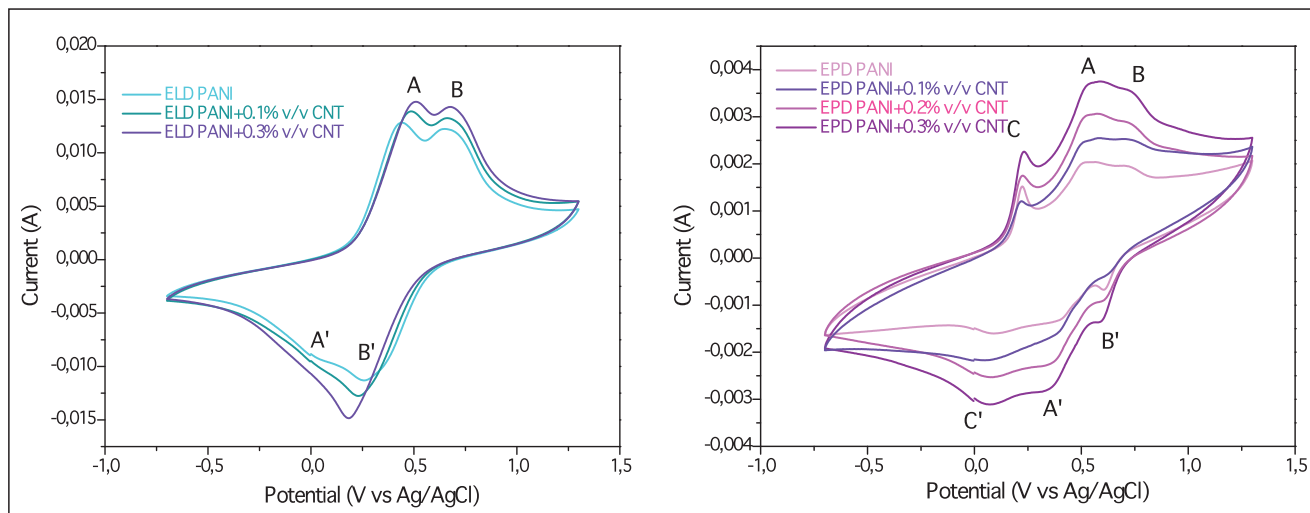


FIGURE 8 CV in H_2SO_4 of ELD PANI-CNTs (a) and EPD PANI-CNTs (b) (the CV referring to 0.2% v/v CNT of ELD composites was omitted for better clarity of the graph)

from leucoemeraldine to protonated emeraldine, which is the most conductive form of PANI. Peak B at about 0.75 V corresponds to the most oxidised state of PANI, concerning the oxidation of emeraldine to pernigraniline. The peaks A' and B' during the cathodic scan correspond to the reversal process.

No additional peaks can be observed due to the CNTs presence in the CV curves, indicating the absence of electrochemical activity of CNTs. However, when compared with PANI, the peak intensities for PANI-CNTs films are higher. This result is in line with the hypothesis that the amount of electrodeposited PANI increases when CNTs are present in the solution. This could allow to have an improved electrochemical activity of the composite films, if compared with the pristine PANI.

For EPD PANI-CNTs, peaks A and B are again present but so close as to form a broad peak. A new peak C is recognizable, corresponding to the generation of radical cations [18]. So, the EPD process seems to produce a more electroactive form of PANI. For both deposition processes, an anodic shift was recorded in the anodic peaks and a cathodic shift in the cathodic peaks, correlated with the CNTs concentration. The shift in the redox peaks can be explained in terms of the effect on the CNTs

addition to the electronic structure of PANI. We suppose that the created interaction between CNTs and ELD PANI during polymerisation, such as that represented in Fig. 4, inhibits the total PANI protonation in the H^+ ions presence, thus making it more possible to block the transition of quinonoid imine ($=\text{N}-$) to benzenoid amine ($-\text{NH}-$).

In Fig. 9. the CVs recorded after FeSO_4 injection into the H_2SO_4 solution are reported for ELD PANI-CNTs (Fig. 9a) and for EPD PANI-CNTs (Fig. 9b). By comparing these curves with the CV acquired in H_2SO_4 , it is possible to notice that the injection of FeSO_4 gave rise to an evident change in the voltammetric behaviour. For ELD PANI-CNTs, the A- and B- type peaks were progressively shifted and their relative intensities were changed. This result can be related to the competition between Fe^{2+} and H^+ for protonation sites and gives information on the ion-exchange capability of PANI. Ion-exchange behaviour of PANI has been identified as the main explanation of the corrosion protection of ferrous alloys by PANI layers [19-20]. As a consequence, the enhancement of the peak shift brought about by the incorporation of CNTs into PANI layers suggests that CNTs favour the interaction of Fe^{2+} with the modified PANI film, possibly leading to an improved blocking of the products of the corrosion reaction.

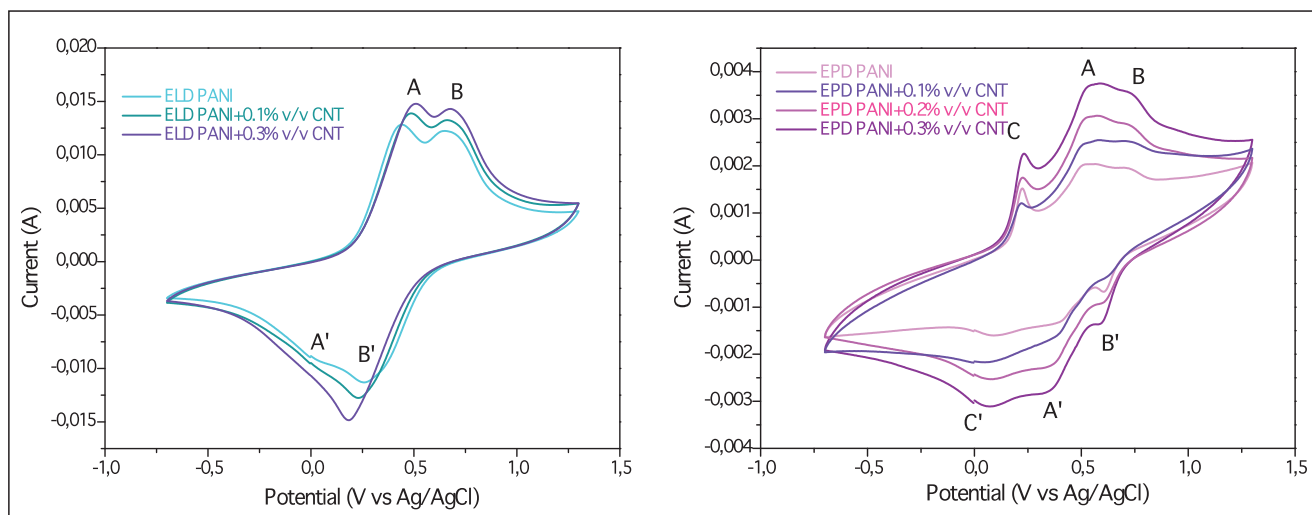


FIGURE 9 CV in H_2SO_4 after injection of FeSO_4 of ELD PANI-CNTs (a) and EPD PANI-CNTs (b)

For EPD PANI-CNTs, after FeSO_4 injection, a shift and a reduction of intensity of the C-type peak was recorded in the anodic scan, whereas a suppression was observed in the cathodic scan. We suppose that this effect was related to the fixing of the Fe^{2+} radicals in the protonated form of PANI. Also the A- and B-type peaks were modified by the FeSO_4 injection, but less evidently with respect to ELD composites. In general, it is possible to notice that the difference between the current intensity of all the peaks, recorded in both the absence and presence of CNTs, was higher for EPD PANI-CNTs than ELD PANI-CNTs.

From the electrochemical characterisation in H_2SO_4 and FeSO_4 , it is possible to conclude that the hybrid composite material based on PANI and CNTs demonstrated the capability to interact with Fe^{2+} , so showing the film potential to block the corrosion products of ferrous alloys. Moreover, PANI deposited by EPD showed more states than that obtained by ELD, also when CNTs were present in PANI matrix. By comparing the two composites, EPD PANI-CNTs demonstrated a better response to the iron ions with respect to ELD PANI-CNTs, in terms of difference between current intensities.

Conclusions

In this work, PANI was modified by introducing CNTs in order to obtain a hybrid conducting nanocomposite. Two different electrosynthesis methods, Electropolymerisation and Electrophoretic Deposition, were used and a comparison between them and the properties of the so obtained materials was made. In the following, the advantages of each method/material are listed.

- ELD technique uses few chemicals and allows to control the oxidation state of PANI. It is a well-known process and the incorporation of CNTs in the PANI matrix is simple. The process is highly reproducible but not applicable on large areas. During electropolymerisation, CNTs acted as a backbone for PANI, so they were completely covered by the polymer. The ELD PANI-CNTs composites showed a good potential in corrosion protection of ferrous alloys, since the interaction of Fe^{2+} with PANI was favoured by the CNTs presence, even if it is scarcely sensible to their amount.
- EPD technique uses more chemicals than ELD, but it is a process easily applicable to large areas, even for simplicity of the deposition apparatus. Nevertheless, it is not simple to control the

oxidation state of deposited PANI, the EPD PANI-CNTs showed to have a better capability to block the corrosion products than the pristine PANI. Moreover, this capability is positively correlated to the amount of CNTs in the PANI matrix.

In conclusion, PANI-CNTs composite material deposited by ELD demonstrated to have better anti-corrosion properties than PANI, which makes it

suitable as a protective coating, for example on electrodes or in electronic devices. Moreover, EPD was successfully used as an alternative method to ELD.

Acknowledgements

The authors are grateful to Dr. L. Piloni and Dr. M. Re for SEM and TEM observations.

References

- [1] A.G. MacDiarmid, J.C. Chiang, A.F. Richter, A.J. Epstein (1987). "Polyaniline: a new concept in conducting polymers", *Synth. Met.*, 18, 285-290. Elsevier, Amsterdam.
- [2] A.G. MacDiarmid, A.J. Epstein (1995). "Secondary doping in polyaniline" *Synth. Met.* 69, 85-92. Elsevier, Amsterdam.
- [3] D.E. Stilwell, S.M. Park (1989). "Electrochemistry of Conductive Polymers" *J. Electrochem. Soc.*, 135, 2491-433. ECS, Pennington USA
- [4] W.S. Huang, B.D. Humphrey, A.G. MacDiarmid (1986). "Polyaniline, a novel conducting polymer. Morphology and chemistry of its oxidation and reduction in aqueous electrolytes", *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1: Phy. Chem. Condensed Phases*, 82, 2385-2400. RSC Publishing, London.
- [5] D.W. DeBerry (1985). "Modification of the Electrochemical and Corrosion Behavior of Stainless Steels with an Electroactive Coating", *J Electroch. Soc.*, 132, 1022-1026. ECS, Pennington USA.
- [6] N. Ahmad, A.G. MacDiarmid (1996). "Inhibition of corrosion of steels with the exploitation of conducting polymers", *Synth Met.* 78, 103-110. Elsevier, Amsterdam.
- [7] N.M. Martyak, P. McAndrew, J.E. McCaskie, J. Dijon (2002). "Electrochemical polymerization of aniline from an oxalic acid medium", *Progress in Organic Coatings*, 45, 23-32. Elsevier, Amsterdam.
- [8] H.D. Wagner, O. Lourie, Y. Feldma, R. Tenne (1998). "Stress-induced fragmentation of multiwall carbon nanotubes in a polymer matrix", *Appl. Phys. Lett.* 72, 188-190. AIP, Maryland USA.
- [9] D. Qian, E.C. Dickey, R. Andrews, T. Rantell (2000). "Load transfer and deformation mechanisms in carbon nanotube-polystyrene composites" *Appl. Phys. Lett.*, 76, 2868-2870. AIP, Maryland USA.
- [10] Y. Sun, S.R. Wilson, D.I. Schuster (2001). "High dissolution and strong light emission of carbon nanotubes in aromatic amine solvents", *J. Am. Chem. Soc.*, 123, 5348-5349. ACS Publications, Washington.
- [11] H. Zengin, W. Zhou, J.Y. Jin, R. Czerw, D.W. Smith, L. Echegoyen, D.L. Carroll, S.H. Foulger, J. Battato (2002). "Carbon nanotube doped polyaniline", *Adv. Mat.*, 14, 1480-1483, J. Wiley and Sons, USA.
- [12] M. Cochet, W.K. Masser, A.M. Benito, M.A. Callejas, M.T. Martínez, J.M. Benoit, J. Schreiber, O. Chauvet (2001). "Synthesis of a new polyaniline/nanotube composite: "in-situ" polymerisation and charge transfer through site-selective interaction", *Chem. Comm.* 16, 1450-1451. RSC Publishing, London.
- [13] C. Peng, J. Jin, G.Z. Chen (2007). "A comparative study on electrochemical co-deposition and capacitance of composite films of conducting polymers and carbon nanotubes", *Electrochim. Acta*, 53, 525-537. Elsevier, Amsterdam.
- [14] G. Wu, L. Li, J.H. Li, B.Q. Xu (2006). "Methanol electrooxidation on Pt particles dispersed into PANI/SWNT composite films", *J. Power Sour.*, 155, 118-127. Elsevier, Amsterdam.
- [15] J.E. Huang, X.H. Li, J.C. Xu, H.L. Li (2003). "Well-dispersed single-walled carbon nanotube/ polyaniline composite films", *Carbon*, 41, 2731-2736. Elsevier, Amsterdam.
- [16] H.C. Hamaker (1940). "Formation Of A Deposit By Electrophoresis", *Transactions of The Faraday Society*, 35, 279-287. RSC Publishing, London.
- [17] A. Riul Jr., L.H.C. Mattoso, G.D. Telles, P.S.P. Herrmann, L.A. Colnago, N.A. Parizotto, V. Baranauskas, R.M. Faria, O.N. Oliveira Jr. (1996). "Characterization of Langmuir-Blodgett films of parent polyaniline", *Thin Solid Films*, 285, 177-180. Elsevier, Amsterdam.
- [18] D.E. Stilwell, S.M. Park (1989). "Electrochemistry of Conductive Polymers", *J. Electrochem. Soc.*, 135, 2491-433. ECS, Pennington USA.
- [19] J. Wang (2002). "Polyaniline coatings: anionic membrane nature and bipolar structures for anticorrosion", *Synth. Met.* 132, 3-56. Elsevier, Amsterdam.
- [20] S. Bialozor, A. Kupniewska (2005). "Conducting polymers electrodeposited on active metals", *Synth. Met.* 155, 443-449. Elsevier, Amsterdam.

Taking energy into account(s)

The paper presents energy use data currently released by Istat in the framework of environmental satellite accounts as well as energy physical supply and use tables that are going to be developed in the near future

■ Angelica Tudini, Aldo Femia, Giusy Vetrella

Fare i conti con l'energia

Il paper illustra i dati sugli impieghi energetici diffusi dall'Istat nel contesto dei conti satellite dell'ambiente e le tavole delle risorse e degli impieghi di prodotti energetici in termini fisici, di prossima realizzazione

Introduction and background

Awareness of the crucial role played by energy in human and economic development and in society's well-being, spurred decades ago a clear demand for high quality energy statistics in response to which most countries set up statistical information systems describing the energy production and consumption stages.

At the same time, on an international level, efforts to reach a high level of standardisation in the domain of energy statistics led to the adoption, in 2011, of the *International Recommendations for Energy Statistics* (IRES), which aim at providing common standards and guidance to national compilers. Similarly to other countries, Italy can rely on a wide range of energy data; among them, a comprehensive framework is provided by the National Energy Balance (NEB) which records – for a wide range of energy products and with reference to a given year – three main sets of information:

- the amount of energy available for consumption

on the national territory, obtained by adding up flows of energy entering the national territory – production and imports – and subtracting flows of energy which are not available for consumption on the territory – exports, stock changes, international bunkers;

- the amount of energy which is transformed, used by energy industries for their own use and lost in distribution and transmission
- the amount of energy used up for final energy consumption and non-energy use.

This paper looks at a subset of energy statistics: those produced in the framework of environmental satellite accounts by the Italian National Institute of Statistics (Istat).

Paragraph 1 explains which kind of demand the energy data derived in an environmental accounting framework are able to meet, and the specific features that make them different from other energy statistics.

Paragraph 2 presents data currently produced and released by Istat: energy use data by household/production activity and by kind of use, while paragraph 3 explores recent developments in the demand at the European level that will bring up further energy data in the form of comprehensive supply and use tables.

■ Angelica Tudini, Aldo Femia, Giusy Vetrella
Istat – Italian National Institute of Statistics

1. Energy data derived from environmental accounts: why do we need them?

The National energy balance, published annually in Italy since the '60s, is a regular and detailed source of data on energy production and consumption, as it covers more than 30 different energy products.

However, there are certain information needs for which the NEB cannot provide a full answer; they relate, typically, to the demand for energy statistics which can be linked to national accounts data for integrated energy environmental and economic analysis. The NEB, as other energy statistics was not originally meant to be fully consistent to economic accounts, (similarly to the case of environmental statistics).

Examples of inconsistencies between the NEB and economic accounts data are:

- economic accounts clearly split production activities and households' consumption activities while in the NEB households' energy consumption is not singled out, but rather is accounted for together with energy consumption occurring in certain production activities belonging to the service sector, such as wholesale and retail trade;
- economic data for a given production activity (e.g., output, value added), relate to its principal activity, to its ancillary activities and to any possible secondary activity¹; hence, in order to be consistent with economic data, energy data for a given production activity should cover the same range of activities encompassed by economic data. For example, since transport can in principle be performed as a secondary or ancillary activity by any production activity (beside those belonging to the 'transport' sector for which transport is the main activity), energy use for transport needs to be accounted for all production activities in which it occurs. By contrast, in the NEB energy consumption for transport is accounted for as a single process (split by mode of transport) and not broken down by activity.
- economic accounts require that all flows relate to the activities of 'residents units' (this is known as 'residence principle'): *an institutional unit is*

said to be resident within the economic territory of a country when it maintains a centre of economic interest in that territory - that is, when it engages, or intends to engage, in economic activities or transactions on a significant scale either indefinitely or over a long period of time, usually interpreted as one year. Some of the production of a resident institutional unit may take place abroad, while some of the production taking place within a country may be attributable to foreign institutional units. (Eurostat, 1996 § 1.30). Consistency with the residence principle requires that energy use data include residents' energy use in the rest of the world for road transport, air transport, water transport activities and exclude non residents' energy use on the domestic territory for road transport, air transport, water transport activities. By contrast, national energy balances worldwide account for all energy consumption by residents as well as non residents on the (national) geographic territory.

The answer to the demand for consistent energy and economic information comes from energy accounts, which belong to the broader framework of environmental satellite accounts. Environmental satellite accounts were born with the specific purpose to integrate economic and environmental information in a standardised accounting framework, which adopts national accounts principles, definitions and classifications. At present, both in Italy and Eu-wide, the production of environmental accounts is relatively mature in three areas that historically proved to be those where suitable statistical data sources existed, namely economy-wide material flow accounts, air emission accounts (a.k.a. Namea²-air), environmental protection expenditure accounts and environmental taxes. In order to meet policy demand for regular and standardised environmental accounts data, Regulation 691/2011 of the European Parliament and the Council on European environmental economic accounts makes it compulsory to produce economy-wide material flow accounts, air emission accounts and environmental taxes; for all three modules, nation-wide and yearly time series will be made available for all

Member States from 2013 onwards.

In the medium term, a second round of the Regulation will probably include three additional modules: environmental protection expenditure, environmental goods and services and energy accounts.

Paragraph 3 will provide a comprehensive presentation of energy accounts; with focus on energy flow accounts in physical terms. Before that, next paragraph looks at energy data currently produced and released by Istat within environmental accounts.

2. Which energy data consistent with an energy accounts framework have we got already?

In 2011, Istat released energy use time series 1990-2008 by type of use and economic activity: production activities and households' consumption (see <http://seriestoriche.istat.it/>)³. Throughout the paper, consistently with the satellite accounts terminology, "economic activity" indicates both production activity (production of goods and services classified by industry, according to the NACE – the statistical classification of economic activities in the European Community) and households' consumption (use of products purchased by final users).

The source of the released figures is a more detailed framework: the EUTs (energy use tables by type of use), traditionally produced within environmental satellite accounts as input for air emission accounts, and recently become an independent output. EUTs data, in physical units (tonne, Mmc, MWh), comply with the residence principle (see above) and are broken down by energy product, type of use and economic activity⁴.

Data cover the following *energy products*: coal, lignite, peat, natural gas, crude oil, semi-finished products, waste (only waste used as fuel for the production of electricity or heat), electricity, coke, coke oven gas, non-energy coal products, lpg (liquid propane gas or liquefied petroleum gas), refinery gas, naphtha, motor gasoline, jet fuel, kerosene, gas work gas, blast furnace gas, diesel oil, fuel oil, petroleum coke, white spirit, bitumes, lubricating oil, chemicals, other non-energy oil products;

Type of use includes "energy use with combustion", "energy use without combustion" and "non-energy use" (see also Table 1 below).

Energy use with combustion is in turn divided into:

"heating" (dwellings, shops, offices, factories, etc.),

"transport" (road and off-road transport, including by rail, air and sea, in addition to all the operations of ships, boats, tractors, construction machinery, lawnmowers, military and other equipment; household transport is considered separately; for production activities, transport can be performed as a main, secondary and ancillary activity consistently with economic accounts)

"transformation into electricity"

"other energy use with combustion" (transformation with combustion into energy products other than electricity, for example the transformation of coke into blast furnace gas; use of energy products by production activities in production processes in a strict sense, excluding heating, transport and transformation; use of energy products by households for cooking and hot water production).

Energy use without combustion includes the transformation without combustion of energy products into other energy products (for example, the transformation of crude oil into motor gasoline) and the use of electricity for any use.

Non-energy use includes the transformation of energy products into non-energy producing products (for example, the transformation of crude oil into plastic) and the use of energy products for non-energy uses (degreasing, dry cleaning, lubrication, etc.).

The figures presented are *gross of transformations*, in that the energy incorporated in the products used to be transformed into other energy products is also counted in the various uses of the derivative products. In principle, therefore, "total use of energy products" is affected by double counting since:

- a) energy incorporated in products used for electricity production is also counted in the phase in which electricity itself is used;
- b) energy incorporated in the products transformed by combustion into other energy prod-

PURPOSES			includes: PRODUCTION ACTIVITIES		HOUSEHOLDS
Energy use with combustion	Heating use		heating (office building, factory, ...)		heating (home)
	Transport use	Road transport	road transport carried out both as principal and secondary activity and as ancillary activity (own account)		road transport by households (own account)
		Off-road transport	railway, air and maritime transport as well as all operations of ships, boats, tractors, construction machinery, lawn mowers, military and other equipment		off-road transport by household (mainly operations of boats and lawn mowers)
	Transformation into energy products	Electricity	energy products used to produce electricity (transformation into electricity)		
		Other energy products	energy products used to produce energy products other than electricity (transformation with combustion into energy products other than electricity)		
	Other energy use with combustion		energy products used in production processes (excluding heating, transport and transformation)		energy products used in cooking and for hot water
Energy use without combustion			energy products used to produce other energy products (transformation without combustion into energy products); use of electricity		use of electricity
Non-energy use			energy products used to produce non-energy products (transformation into non-energy products); energy products used for non energy purposes (degreasing, dry cleaning, ...)		energy products used for non energy purposes (degreasing, lubrication, ...)

TABLE 1 The split by type of use in the Istat's Energy Use Tables
Source: adapted from Eurostat (2010)

ucts is also counted in the various uses of those products;⁵

- c) energy incorporated in the products transformed without combustion into other energy products is also counted in the various uses of those products (for example, the energy counted in crude oil used to produce motor gasoline is recounted in the use of motor gasoline for transport).

The following cases can be distinguished as regards double counting:

- for *production activities as a whole*, double counting does not occur in energy use for “heating”, “transport”, “transformation into electricity” and “non-energy use”; double counting does occur, albeit marginally, in the case of “other energy use with combustion” and “energy use without combustion”. Total use of energy products is, by contrast, strongly affected by double counting;

- in the case of *individual production activities*, the same considerations as for production activities as a whole apply, but the activity breakdown considerably mitigates the extent to which double counting occurs;
- *households data* are not affected by double counting as households do not perform any type of transformation of energy products⁶.

3. What next: full energy supply and use tables

Energy accounts feature as one of the areas for the medium-long term development of environmental accounts identified by Eurostat, with priority being given to energy flow accounts in physical terms. Energy flow accounts in physical terms are only one of the modules foreseen within the comprehensive worldwide accounting framework for energy which is being developed by the United Nations in

the field of energy accounts: the *System of Environmental-Economic Accounting for Energy* (SEEA-E). SEEA-E encompasses the whole spectrum of energy accounts, i.e., energy asset accounts and energy flow accounts, both in physical and monetary terms, energy-related air emission accounts and hybrid energy accounts, whereby: energy asset accounts are asset accounts for energy resources and describe the opening and closing stocks of energy resources and the changes therein; energy flow accounts describe the supply of energy products and their use by economic categories in the economic territory of a country; hybrid energy accounts are combined physical and monetary accounts. Energy accounts are conceived in full compliance with the environmental accounting principles and accounting frameworks outlined in the UN handbook *System of Integrated Environmental and Economic Accounting* (SEEA)⁷ and, more generally, with the *System of National Accounts* (SNA), as regards economic concepts, definitions, classifications and accounting rules.

Physical Flow Accounts in the EU will be developed by adopting the framework of Physical Supply and Use Tables (PSUTs). The supply and use framework is widely used in National Accounts as it allows to present in detail the monetary value of products by producing industry and the use of products by industries (intermediate use) and by several final use categories such as final consumption expenditure, gross capital formation and exports.

Figure 1 presents the basic structure of Physical Supply and Use Tables for energy flows (energy PSUTs). All flows are quantified in physical natural units (tonnes, cubic metres, etc.) as in energy statistics.

The Physical Supply Table represented in Figure 1 shows the origin of all energy flows (row headings) that can occur between the economy and the environment: by definition natural resources can only be supplied by the Environment whereas products and residuals⁸ can only be supplied by the economy, either the domestic industry, households or the Rest of the World (RoW) in the form of imports. In the full tables each flow category is broken down according to a suitable existing classification, For resources the classification of energy resource

assets proposed in the draft SEEA-E and shown in Table 2 will be used.

Products will be broken down according to the classification of energy products applied in Eurostat's energy statistics, presented in Table 3.

The supply from the national economy will be broken down according to the standard industry classification (Nace).

The Physical Use Table shows - row-wise - the uses of available energy flows by: industries for intermediate consumption, final uses including households, RoW (for exports) and the Environment.

The matrices in Figure 1 show *gross* supply and *gross* use of energy products by economic activities, the term "gross" indicating that "double counting" can occur, i.e., the same energy embodied in different products at different stages is counted more than once. This mainly occurs in the case of primary energy products, which are transformed into secondary energy products: energy embodied in both stages is accounted for in the tables.

	SUPPLY Economy			Environment
Energy flows	Industries	Households	RoW	
(i) resources				
(ii) products				
(iii) residuals				

	USE Economy				Environment
Energy flows	Industries (intermediate consumption)	Final uses			
		Households (final consumption)	Changes in inventories	RoW	
(i) resources					
(ii) products					
(iii) residuals					

■ = not applicable

FIGURE 1 Basic structure of Physical Supply and Use Tables for energy flows

Source: adapted from Eurostat (2010)

level (hierarchy)	code	label
1	A	RESOURCE FLOWS (NATURAL INPUTS)
2	AA	Non-Renewables
3	AA.5100	Uranium ores (resource)
3	AA.2115	Anthracite (resource)
3	AA.2116	Coking coal (resource)
3	AA.2117	Bituminous coal (resource)
3	AA.2118	Sub-bituminous coal (resource)
3	AA.2210	Lignite (resource)
3	AA.2310	Peat (resource)
3	AA.311x	Natural bitumen, extra heavy oil, shale oil, sand oil and others n.e.c. etc.
3	AA.3110	Crude Oil (resource)
3	AA.4100a	Natural Gas (resource)
3	AA.4100b	Natural Gas Liquid (NGL) (resource)
2	AB	Renewables
3	AB.5510	Hydro (resource)
3	AB.5520	Wind (resource)
3	AB.5532	Solar Heat (resource = solar radiation)
3	AB.5534	Photovoltaic (resource = solar radiation)
3	AB.5535	Tide, Wave and Ocean (resource)
3	AB.5550	Geothermal (resource)
3	AB.554x	Biomass for energy use

TABLE 2 Proposed classification of energy resources (full version)
Source: adapted from Eurostat (2010)

Both in monetary and in physical SUTs the following equality holds:

$$\text{Supply} = \text{Use}$$

i.e.

$$\text{domestic production} + \text{imports} = \text{intermediate consumption} + \text{final consumption} + \text{gross capital formation} + \text{exports}$$

In addition to adopting the supply and use framework and the existing international classifications where they apply (such as in the case of industries, which are classified by Nace), consistency with national accounts implies that energy use in energy accounts has to be related to residents units (see paragraph 1); this means converting data from the geographic definition of a country which is adopted in energy statistics and balances to the definition based on the residence principle which forms the basis for National Accounts' aggregates such as output or value added⁹. Statistics needed to make the required corrections include, for example: physical data on fuel purchases abroad by tourists as well as by lorries, aircrafts, ships belonging to resident companies, and the same purchases by non-residents on the country's territory. As fuel purchase data in many countries are likely not to include all the details needed, other statistical

level (hierarchy)	code	label
1	B	PRODUCTS
2	B_CPA.01	Products of agriculture, hunting and related services
2	B_CPA.02	Products of forestry, logging and related services
2	B_CPA.10	Coal and lignite; peat
2	B_CPA.11	Crude petroleum and natural gas; services incidental to oil and gas extraction excluding surveying
2	B_CPA.12	Uranium and thorium ores
2	B_CPA.20	Wood and products of wood and cork (except furniture); articles of straw and plaiting materials
2	B_CPA.21	Pulp, paper and paper products
2	B_CPA.23	Coke, refined petroleum products and nuclear fuels
2	B_CPA.24	Chemicals, chemical products and man-made fibres
2	B_CPA.40	Electrical energy, gas, steam and hot water
2	B_CPA.90	Sewage and refuse disposal services, sanitation and similar services

TABLE 3 Proposed classification of energy products (reduced version)
Source: adapted from Eurostat (2010)

sources such as transportation statistics or monetary figures can be used to estimate the needed distinction between resident units and non-resident units operating on the domestic territory.

Another important step in the implementation of energy accounts relates to the breakdown of each flow category by the supply and use categories and - within each category - by its own specific classification, e.g., Nace classification in the case of industries. Since the breakdown by 'industrial sector' of energy statistics/balances does not match the Nace classification, a re-assignment of energy supply/use from the classification used in energy statistics/balances to the classification employed in National Accounts is needed.

Istat's EUTs described in paragraph 2 provide a very good basis as the starting point for compiling the intermediate consumption and final consumption sections of the forthcoming Eurostat's EUT; although, in order to obtain a robust full desired breakdown by energy product and by Nace, further refinement of data is needed.

Conclusions

Data collection on energy data, organized in a PSUT framework by Eurostat from National Statistical Institutes (NSIs), will likely start in 2012. Although the process will take place on a voluntary basis at least for the first period, we can expect it to provide a significant incentive for NSIs to make Energy Accounts an autonomous product in the framework of Satellite Accounts.

As energy PSUTs will mainly be populated with existing physical energy statistics and balances,

which were not traditionally designed to be consistent with monetary economic accounts, the exercise will be challenging for NSIs which do not regularly produce energy accounts yet, or which do so in a way not close to the proposed Eurostat standard.

Once the exercise will be completed in all member states and regular data will be produced, the availability of standardized EU-wide statistical information on economy and energy by means of energy accounts will allow a consistent and thorough statistical representation of the interactions among the two domains. Furthermore, full comparability will also be ensured between energy accounts and other physical aggregates of environmental accounting, such as air emissions accounts, thus allowing the integration of different dimensions within a single accounting framework and significantly expanding the scope for joint economic, energy and environmental analysis.

References

- Eurostat (1996), *European System of Accounts - ESA 1995*, Luxembourg.
- Eurostat (2009), *Manual for Air Emissions Accounts*, Eurostat, Luxembourg.
- Eurostat (2010), *Energy PSUTs – result tables (overview)*, Meeting of the Task Force “NAMEA energy accounts” Meeting of 6-7 May 2010, Luxembourg.
- Femia A., Marra R. (2010), “Production-related air emissions in Italy 1992-2006, a decomposition analysis” in Montini, A., Mazzanti M. (editors), *Environmental Efficiency, Innovation and Economic Performance*, Routledge.
- Femia A., Tudini A., Vetrella G., (2011), *Towards Energy accounts in the Eu*, Paper presented at the 18th Annual Conference of the EAERE (European Association of Environmental and Resource Economists), University of Roma Tor Vergata, 29 June - 2 July 2011
- Istat (2011), *Serie Storiche – l'archivio della Statistica italiana – tema ENERGIA*, <http://seriestoriche.istat.it/>
- United Nations, European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co operation and Development, World Bank (1993), *Handbook of National Accounting – Integrated Environmental and Economic Accounting*, Series F, No. 61, Statistical Office of the United Nations: New York.
- United Nations, European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co operation and Development, World Bank (2003), *Handbook of National Accounting – Integrated Environmental and Economic Accounting 2003 (SEEA 2003)*. (<http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seea.asp>).
- United Nations Statistics Division, *Towards SEEA-Energy*: <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeae/>
- Vetrella G., Femia A. (2010), *From balances to accounts: a meaningful reorganisation of energy data*, Atti del 7th Biennial International Workshop “Advances in Energy Studies 2010 - Can we break the addiction to fossil energy?”, Barcelona, 19-21 October 2010.

Notes

- [1] Economic data follow accounting rules established by the European System of Accounts (ESA95, (see Eurostat 1996). ESA95 distinguishes three main types of activities: 1) Principal: the principal activity of a producing unit is the activity whose value added exceeds that of any other activity carried out within the same unit (Eurostat 1996, §3.10). 2) Secondary: a secondary activity is an activity carried out within a producing unit in addition to the principal activity. The output of the secondary activity is a secondary product (ibidem, § 3.11). 3) Ancillary: an ancillary activity is not undertaken for its own sake but purely in order to provide supporting services for principal or secondary activities. The output of an ancillary activity is not intended for use outside the enterprise. Typical ancillary activities that may be carried out are transporting, storing, marketing, various kinds of financial and business services, computing, communications, training, security, maintenance, etc. Ancillary activities are not isolated to form distinct recording entities, i.e., they are recorded together with the associated principal and/or secondary activity (ibidem, §3.12 – 3.13).
- [2] Namea (national accounting matrix including environmental accounts) is an accounting system, adopted on a European level, representing the interaction between economy and the environment in such a way as to ensure the comparability of the economic and social data (output, income, occupation, etc.) with data on the stress posed by human activities on the natural environment (environmental pressure).
- [3] This is the first release of energy use data in physical units consistent with national accounts since the early 1990s. At that time figures were broken down by economic activity and households as well as by purpose or type of use (transport, heating, non-energy use, other energy use) and by origin of supply (domestic output, imports).
- [4] In detail: 27 energy products, 8 types of use and 102 economic activities, of which 101 production activities plus end users, i.e., households. The main data sources for EUTs are the energy use tables in physical units by economic activity and by energy product (but not by type of use) annually produced by the Istat National Accounts as input for the Supply and use Table in monetary terms, the NEB, the energy use data used as inputs for the Corinair national air emissions inventory annually produced by the Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA).
- [5] In practice the only case in which this does take place is when the energy incorporated in coke is used in blast furnaces to produce blast furnace gas, which in turn is used both for the production of electricity and for industrial steel-working processes and in cokeries.
- [6] In the original data source, the EUTs, the three-dimensional nature of the data (by energy product, type of use and economic activity) – and its layout (27 x 8 x 102) – ensures that no figure is affected by double counting; by contrast, in the data released, energy use is summed up across all products and this implies a certain – although limited – degree of double counting of the same energy in different phases (substantially in the production/transformation phase or consumption phase) as explained in the text.
- [7] The SEEA-E is currently being revised and expected to be elevated to the formal status of an international statistical standard. SEEA-E is expected to be adopted by the United Nations Statistical Commission decision, upon recommendation of the United Nations Committee of Experts on Environmental-Economic Accounting.
- [8] The category ‘residuals’ will not be dealt with in the remainder of the work.
- [9] Consistency with national accounts Monetary Supply and Use Tables is also behind other theoretical features of energy accounts, some of which are still under discussion within the Eurostat expert groups. See Eurostat (2010). Many issues are very technical, they concern, for example, the treatment of losses and “flaring”, “venting” and “re-injection”, or the recording of secondary production energy industry’s intermediate use of its own output and will not be discussed in this context.

Studying the “*induction welding*” process applied to thermoplastic-matrix composites

In recent years the number of applications requiring the use of thermoplastic-matrix composites has increased enormously and so has the emphasis on the assembling techniques of these materials. In particular, alternatives to traditional mechanical fasteners or bonding are of great interest to industry. The present work is a study of a welding process, called “induction welding”, of a composite material made of polyphenylene sulfide reinforced with woven carbon fiber. Process parameters such as temperature, pressure, residence time and presence of susceptor elements at the weld interface were considered. The number of tests to be conducted has been optimized by using DOE (Design of Experiment) techniques. The quality of the weld was evaluated with ultrasound and non-destructive mechanical testing

■ Flavio Caretto

Studio del processo di saldatura *induction welding* applicato a compositi a matrice termoplastica

Negli ultimi anni il numero di applicazioni che prevedono l'utilizzo di compositi a matrice termoplastica è aumentato enormemente e di conseguenza anche l'attenzione verso le tecniche di assemblaggio di questi materiali. In particolare, sistemi alternativi alle classiche giunzioni meccaniche o all'incollaggio sono di grosso interesse per l'industria. Il presente lavoro consiste nello studio di un processo di saldatura, denominato “induction welding” di un materiale composito costituito da polifenilensolfuro rinforzato con tessuti in fibra di carbonio. Parametri di processo quali temperatura, pressione, tempo di residenza e presenza di elementi suscettori all'interfaccia di saldatura sono stati considerati. Il numero delle prove da effettuare è stato ottimizzato per mezzo di tecniche DOE (Design of Experiment). La qualità della saldatura è stata valutata con controlli non distruttivi agli ultrasuoni e test meccanici

Introduction

The development of ever more light and resistant structures, at lower costs, is a key factor in the trans-

portation industry, particularly as to the aerospace industry.

Given their remarkable specific properties, composite materials allow to build 25% lighter structures, if compared to equivalent conventional metallic materials.

■ Flavio Caretto

ENEA, Technical Unit for Brindisi Material Technologies

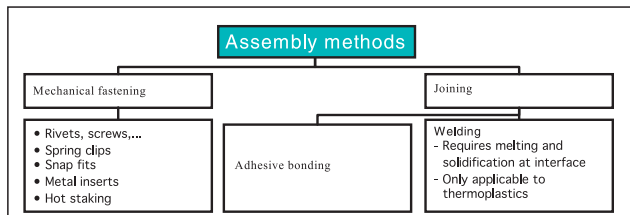


FIGURE 1 Assembly techniques of TPCs
Source: ENEA

Thermoplastic composites (TPCs) of more recent development are made of continuous fibers (glass, carbon, Kevlar, etc..) immersed in matrices consisting of specially designed polymers such as: PEEK, PEI, PEKEKK, PPS.

TPCs able to achieve mechanical properties comparable to those of thermoset composites, compared to these, have advantages in terms of: impact resistance, resistance to environmental stresses (moisture, temperature, aggressive media), deformation capacity, shelf-life and rapid-cycle process. On the other hand they have: high-temperature process, not fully implemented processability, low availability and high cost of materials [1].

The construction of a structure must inevitably take into account such factors as: transport, inspection-ability, accessibility, repairs to components, that make the use of joints inevitable. For TPCs, joints are even more frequently used because of their low deformability, which limits their use to simple geometries.

The junction of the various components is a critical step because it introduces a number of irregularities in the structure that are potential points of weakness and an inevitable source of added weight [2].

Mechanical joining techniques are used for TPCs, but with the limit of introducing important points of stress concentration, due to galvanic corrosion, infiltration of liquids, delamination of the composite during drilling, with a significant increase in weight and work to apply them.

The use of adhesive joints creating continuous connections avoids the presence of stress concentration points and therefore they are more advantageous than mechanical fasteners. For this technique to be applied, however, hard work is necessary to prepare the surfaces to be bonded and so are long

cure times of adhesives [3].

Additionally, the success of TPCs is also due to their easy recyclability, and therefore the use of adhesives, epoxy in particular, is a solution that manufacturers try to avoid as much as possible since it limits the recyclability of the components [4].

The present work is aimed at evaluating the actual potential of the welding process of thermoplastic polymer matrix composites for aerospace known as “induction welding”.

It has been verified that process temperature, compacting pressure, residence time, and type of weld interface affect the quality of the joint.

The experimental work was planned by implementing a “Design of Experiments” in order to reduce the impact of the trial, in terms of time and costs, still maintaining good levels of effectiveness and significance.

The material on which the welding tests were carried out is a semi-crystalline thermoplastic composite in polyphenylene sulfide (PPS), reinforced with high-resistance carbon fiber fabric (T300 3k 5HS), known as *CETEX® PPS* and produced by *Bryte Technologies Inc.*

Along with the experimental welding, the welded specimens are examined with ultrasound and mechanically characterized.

The interlaminar shear strength values, obtained by welding, are well above those of the testing specimens bonded with acrylic structural adhesive, specifically designed for plastics, known as *3M™ Scotch-Weld™ DP 8005*.

The activities have been fully developed at the Laboratory for Polymers, at the ENEA Research Centre of Brindisi.

Induction welding

In recent years, the technique of induction heating – which for a century has been widely used for metallic materials – has also been proposed for thermoplastic matrix composites (TPCs). The technology has proved particularly advantageous especially for welding applications, where the absence of contact between the workpiece and the heat source has significant advantages by reducing process times, increasing the versatility and the types of weldable materials [5] [6] [7].

Induction welding is a process by which the work-



FIGURE 2 Experimental set-up
Source: ENEA

piece is brought to temperature by using the principle of electromagnetic induction.

The welding system consists of a generator of electrical energy that powers a high frequency induction coil (Fig. 2). The coil is designed to generate high-frequency electromagnetic field (EMF) (hence the name *High Frequency Induction Welding*).

At this point, if an electrically conductive material and/or magnetically susceptible is surrounded by EMF, it will circulate the eddy currents with a frequency equal to that of the EMF. These currents will, in turn, bring the piece to heat up by Joule effect. In the case of TPCs, the procedure consists of a reinforced carbon fiber closed loop, into which the eddy currents to circulate are the very reinforcement fabrics.

Materials

The welded material is a composite semi-crystalline thermoplastic polyphenylene sulfide (PPS) reinforced with high-resistance carbon fiber fabric (T300 3k 5HS), called *CETEX® PPS* and produced by Brite Technologies Inc.

Thermal Characterization of TPCs using Simultaneous Thermal Analysis (TGA-DTA)

To assess the oxidative problems of *CETEX® PPS* associated with induction welding, thermogravimetric analyses (TGA) have been used, carried out in static air, acquired simultaneously with the measurement of the difference of temperature (DTA). The purpose is to identify changes in the degree of degradation of TPCs, as a function of time and tem-

perature. The equipment used is the Simultaneous Thermal Analyzer STA 429 NETZSCH GmbH. The tests were performed on both the pre-preg and the laminate *CETEX® PPS*.

In both cases, the TGA curve is stable up to 400 °C and higher temperatures, which indicates the beginning of the process of thermal decomposition associated with a change in weight by about 20%. On the pre-preg DTA curve there was a first exothermic peak at 121 °C (T_{peak}), probably associated with phenomena of crystallization and crystal grain refinement and a second endothermic peak at 279 °C (T_{peak}) characteristic of the fusion phenomenon. At higher temperatures, namely at 512 and 588 °C peak temperatures, the decomposition process of the resin occurs. For the laminate, the DTA curve is identical to that of pre-preg, except for the absence of exothermic peak at 125 °C. This evidence is probably justified by the fact that, during rolling, the material has been cooling by quenching the molten state.

Experimental set-up

To perform the tests a high frequency induction generator FELMI mod. EGMA 6R with inductor 180x241mm has been used for heating overlooking. The machine has a supply voltage of 400V, a maximum output power of 6kW and a working frequency of 150 kHz to 250, varied by inverter and controlled by an automatic coupling system called “*autotuning system*” that it calibrates based on the type of coil fitted.

The temperature was kept under control by means of an infrared camera ThermoCAMS60 FLIR Systems Company.

Welding of specimens

For testing, 50x48mm welding specimens were used in *CETEX® PPS*. The size of the specimens to be welded is chosen so that each one of them could get three specimens for determination of apparent interlaminar shear strength by short beam, according to UNI EN ISO 14130. The analysis of the results obtained from preliminary heating tests showed that by using a distance piece-inducer of 8 mm and a power setting of 1.8 kW (62% of available power), it is possible to reach temperatures useful for welding in an acceptable time (47 sec).

The equipment provided in previous tests of heating has been implemented so that a series of concrete slabs, immune to EMF, were placed on the samples to be welded to exert adequate pressure.

Setup of process parameters

The factors that most influence the quality of welding are: temperature (T), compaction pressure (P) and residence time (t).

DTA analysis showed that the melting temperature of the PPS is 275 °C. Therefore, in the welding tests carried out, temperature has been varied in the neighborhood of this value. The residence time was set on different values varying by the order of minutes, in order to have acceptable timing for the purposes of any industrial process, the same applying to the pressure values varied by about 130 kPa.

Each of the three factors differs on three levels, as reported in Table 1, in order to assess the presence of any non-linearity in the correlation between the three factors and the quality of the junction in terms of values of ILSS.

The influence of these three parameters was examined by planning the number of tests using DOE (Design Of Experiment) techniques. *The number of test combinations has been restricted by using a reduced orthogonal matrix of the $L_9(3^3)$ type. Each test condition was repeated twice. The experimental campaign also planned to use, with the same combinations of factors (T, P, T), three different types of welding interface: 1) no interface element, 2) pre-preg CETEX® PPS, 3) metallic mesh.*

Characterization of specimens welded by non-destructive ultrasonic technique

The objective of ultrasonic characterization is the definition of methodological criteria for the quality control samples welded by induction welding.

The analysis has allowed to obtain the mapping of each sample in order to perform an analytical evaluation of weld quality and its mechanical coupling composite/composite. Furthermore, a database was made of possible defects in this type of welds (discontinuity of adhesion between the two laminates and assessment of the weld compared to the process of life itself) as a function of different welding parameters.

The C-scan system used is composed of: Handler

Factors and levels

Factors	T [°C]	P [kPa]	t [min]
Level 1	260	100	1
Level 2	275	130	5
Level 3	285	160	8

TABLE 1 Description of variability levels of selected parameters
Source: ENEA

Micro-Control Newport XYZ, Newport Motion controller MM4006, Ultrasonic Tool Panametrics P/R 5601°, Oscilloscope LeCroy LC574A 1GHz PC with card NI PCI-GPIB and LabWiew 7.1, Ultrasonic Probe 5 MHz focused for immersion.

Mechanical tests to determine ILSS

In this research, the values of the interlaminar shear strength (ILSS) – measured by the test described in EN ISO 14130 “Determination of apparent interlaminar shear strength by short beam” – have been chosen as an indicator of the quality of the welding process. The determination of the ILSS values for specimens welded in different process conditions has allowed to study the relationship between process parameters and weld quality.

For all tests, we used a test machine MTS Alliance RT/50 equipped with a 50 kN load cell.

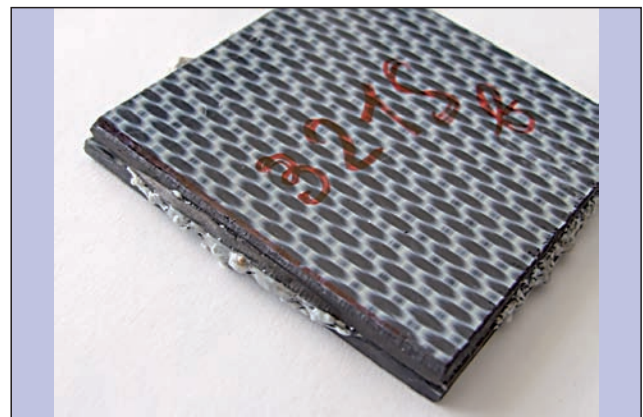


FIGURE 3 Pictures of a welded specimen. As a result of pressure and temperature, it is the squeeze-out of the matrix
Source: ENEA

Analysis of the effects of process parameters on the interlaminar shear strength

The following is a proposed study to determine how process parameters affect the quality of welds carried out, in terms of ILSS values.

The research of the most influential process parameters and the determination of criteria for performance optimization are approached by using the statistical method of Taguchi.

ILSS values are measured experimentally by means of mechanical tests performed on specimens made of those specific levels of process parameters, set as provided by the DOE procedure. By evaluating the mean values of ILSS at various levels of parameters, it has been identified how the interlaminar strength of these levels varies. The same operation was performed with standard deviation values. It was thus possible to identify combinations of levels that maximize the quality of the weld and that minimize the instability of the welding process.

In Table 2, Table 3 and Table 4, the patterns of analysis programs are shown, respectively for the specimens: without insert, with pre-preg and with metallic mesh as inserts interface. In each row, and then for each combination of process parameters, the mean values of interlaminar shear strength ILSS values and their standard deviation are reported.

In case of specimens without insert interface, the parameter that most affects the value of shear strength is temperature, followed by the applied pressure and residence time. Among other things, the oscillations due to the latter parameter, are contained in the experimental error. By setting the process parameters to the values “212” there is the maximum ILSS. Even by the standard deviation, the most influential parameter is temperature, followed by pressure and time. The combination of levels minimizes the standard deviation and the “111” setting that would create a more stable welding process at the expense of the resistance of the junction.

Using the statistical Taguchi an estimate of the values of apparent interlaminar shear strength has been made, even for the process conditions not covered in the adopted experimental matrix. It was confirmed that in the case of welding without insert, the combination of levels optimizing the ILSS is the “212” (T = 275 °C, P = 100 kPa, t = 5 min), a combination that is one of those verified experimen-

Interlaminar shear strength for specimens without insert

Run order	Level			Results	
	T	P	t	ILSS _{average} [MPa]	St Dev [MPa]
1	1	1	1	46.86	2.1
2	1	2	2	46.59	2.9
3	1	3	3	47.61	2.9
4	2	1	2	55.07	4.0
5	2	2	3	47.64	6.6
6	2	3	1	54.63	4.2
7	3	1	3	54.14	5.4
8	3	2	1	46.82	5.6
9	3	3	2	52.58	5.2

Level	T	P	t
1	47.02	52.03	49.44
2	52.45	47.02	51.42
3	51.18	51.61	49.80
Delta	5.43	5.01	1.98
Rank	1	2	3

DevSt ILSS	T	P	t
1	2.66	3.88	4.02
2	5.01	5.09	4.08
3	5.47	4.17	5.04
Delta	2.81	1.20	1.02
Rank	1	2	3

TABLE 2 Table response to DOE's analysis ILSS test results on specimens without insert
Source: ENEA

tally and can reach a value of ILSS equal to 55 MPa. Figure 4 shows a C-scan image of the specimen “212Sa”. As can be seen, the welding is uniform and the ultrasound signal reflected from the interface particularly weak, indicating a good joint. Comparison of this image with those of other specimens is a further confirmation of how, if not using any insert to the interface, the combination of process parameters “212” is the one that effectively optimizes the quality of the weld.

Also in the case of specimens with pre-preg insert interface, the parameter that most affects the value

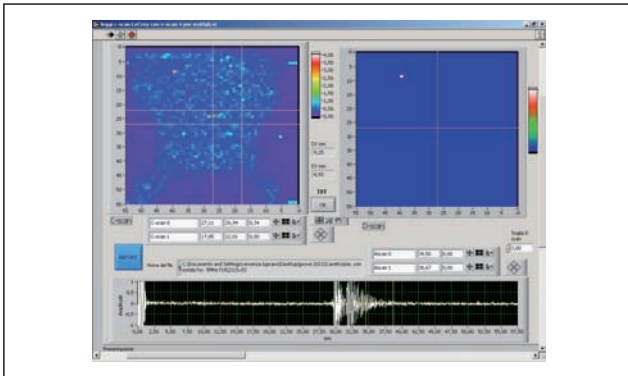


FIGURE 4 C-Scan image of the 212Sa specimen
Source: ENEA

of shear strength is temperature, followed by the residence time and applied pressure. Among other things, the oscillations due to the latter parameter, are contained in the experimental error. By setting the process parameters to the values “313” there is the maximum ILSS value.

Even by the standard deviation, temperature is the most influential parameter, followed by time and pressure. The combination of levels minimizes the standard deviation and the “121” setting that would create a more stable welding process at the expense of the resistance of the junction.

By using the statistical Taguchi, the values of apparent interlaminar shear strength have been estimated, even for the process conditions not covered in the adopted experimental matrix. It was confirmed that the combination of levels optimizing the ILSS is the “313” ($T = 285^{\circ}\text{C}$, $P = 100\text{ kPa}$, $t = 8\text{ min}$), a combination that is one of those verified experimentally and can reach a value of ILSS equal to 47MPa.

Figure 5 shows a C-scan image of the specimen “313Pa”. Although welding is sufficiently uniform, there are small areas where there is a strong reflection of the ultrasound signal from the interface, denoting non-welded areas. This agrees with ILSS values lower than those of specimens welded without insert interface.

Comparison of this image with those of other specimens is a further confirmation of how, if using *pre-preg CETEX® PPS* insert at the interface, the combination of process parameters “313” is the one that effectively optimizes the quality of the weld.

Interlaminar shear strength for specimens with pre-preg insert

Run order	Level			Results	
	T	P	t	ILSS _{average} [MPa]	St Dev [MPa]
1	1	1	1	38.12	1.1
2	1	2	2	39.29	1.7
3	1	3	3	37.52	0.9
4	2	1	2	40.46	1.9
5	2	2	3	40.71	1.9
6	2	3	1	40.89	1.2
7	3	1	3	46.99	3.6
8	3	2	1	40.76	2.3
9	3	3	2	43.64	4.8

Level	T	P	t
1	38.31	41.86	39.93
2	40.69	40.26	41.14
3	43.80	40.69	41.75
Delta	5.49	1.60	1.82
Rank	1	3	2

DevSt ILSS	T	P	t
1	1.25	2.23	1.57
2	1.70	2.02	2.87
3	3.62	2.32	2.13
Delta	2.38	0.30	1.30
Rank	1	3	2

TABLE 3 Table response to DOE’s analysis ILSS test results on specimens with pre-preg insert
Source: ENEA

Using a metal mesh as a susceptor, the parameter that most affects the value of shear strength is the applied pressure, followed by the residence time and temperature. It should be noted that the standard deviation values recorded are higher than those in previous methods of welding. *In the case of metal mesh, the process is less stable and changes in the value of ILSS, related to changes of the three process parameters, within experimental error.*

For the standard deviation, the most influential parameter is pressure, followed by time and temperature. The combination of levels minimizes the standard deviation and the “122”. By using the statisti-

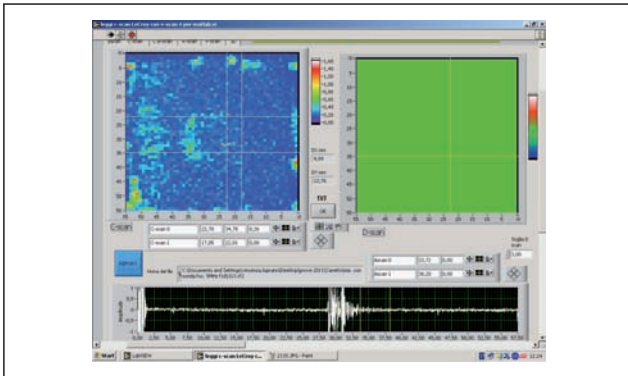


FIGURE 5 C-Scan image of the 313Pa specimen
Source: ENEA

cal Taguchi, the values of apparent interlaminar shear strength have been estimated, even for the process conditions not covered in the adopted experimental matrix. It was found that the combination of levels optimizing the ILSS is the “312” ($T = 285\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 100\text{ kPa}$, $t = 5\text{ min}$), through which it is expected to reach a value of ILSS of 41 MPa.

Figure 6 shows a C-scan image of the specimen “313Mb”, specimen welded with process conditions closer to “312”, best evaluated by statistical analysis. Welding is uniform at the edges, but in its central part an ultrasound signal reflected from the interface, denoting non-welded areas. This agrees with ILSS values lower than those obtained with the above types of welding interface.

By comparing this image with those of other specimens, it was found that if using a metal mesh as a susceptor interface, the combination “313” is the one that gave a better welding. Considering that the combination of process parameters “313” is the closest to the theoretical “312”, this confirms the predictions obtained by statistical analysis.

Results of flexural tests

To have a basis of comparison of the ILSS (apparent interlaminar shear strength by short beam) results obtained, tests were performed on specimens bonded for the purpose and an acrylic structural adhesive was used, specifically designed for plastics, known as *3M™ Scotch-Weld™ DP 8005*.

Grafic 1 shows the different stress-strain curves for

Interlaminar shear strength for specimens with metallic mesh insert

Run order	Level			Results	
	T	P	t	ILSS _{average} [MPa]	St Dev [MPa]
1	1	1	1		
2	1	2	2	34.76	2.1
3	1	3	3	39.62	6.5
4	2	1	2	40.22	6.7
5	2	2	3	35.08	2.7
6	2	3	1	35.33	4.6
7	3	1	3	39.03	6.3
8	3	2	1	37.19	3.7
9	3	3	2	39.86	3.7

Level	T	P	t
1	37.19	39.63	36.27
2	36.88	35.68	38.28
3	38.70	38.27	37.91
Delta	1.82	3.95	1.03
Rank	3	1	2

DevSt ILSS	T	P	t
1	4.28	6.50	4.13
2	4.68	2.85	4.16
3	4.55	4.91	5.17
Delta	0.41	3.65	1.03
Rank	3	1	2

TABLE 4 Table response to DOE’s analysis ILSS test results on specimens with metallic mesh insert
Source: ENEA

each junction interface. Because the stress-strain curves vary with the setting of process parameters, in the case of this graph the curves of the specimens are welded under optimum conditions.

The curve “unwelded” shows the behavior of specimens not bonded in any way.

The curve “adhesive” shows the behavior of the specimens bonded with adhesive, where the “tooth”, which is around 3500 N, represents the point at which the adherence soldered. As can be seen, the curve of the interface after the break “adhesive” follows the same trend of the curve “unwelded”.

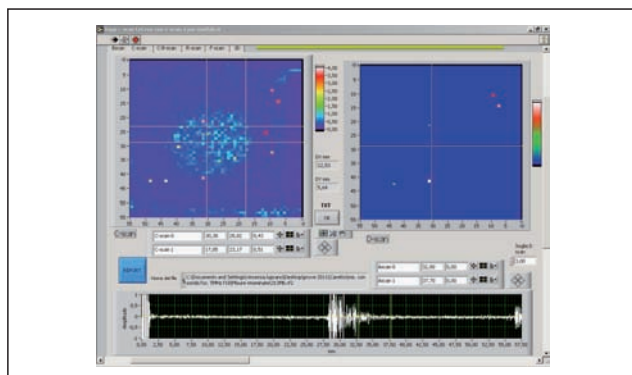
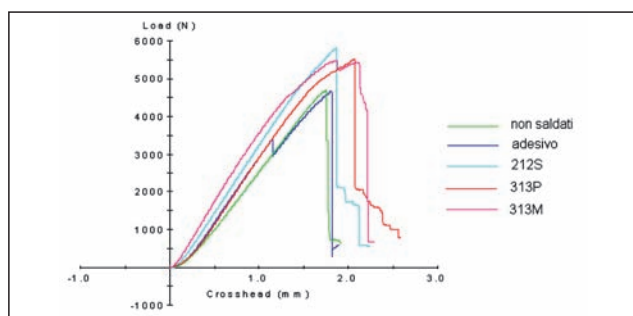


FIGURE 6 C-Scan image of the 313Mb specimen
Source: ENEA

The curves of the specimens welded with the optimal process parameters, in general show a higher stiffness than specimens bonded with significantly higher maximum stresses.

The curve “313M” shows a progressive failure, a behavior also observed on other specimens using metal mesh. The samples that do not use inserts or make use of pre-preg show, however, an unexpected failure, indicating a brittle-type fracture.

As seen in the previous paragraphs, through statistical analysis of Taguchi ILSS values were extrapolated for all possible combinations of the three process parameters, even for those not tested. This allowed to identify, for each interface type, the conditions that optimize the quality of the weld.



GRAF. 1 Stress-strain curve for specimens:
1) unwelded, 2) adhesive 3) welded without inserts,
4) welded with pre-preg insert,
5) welded with metallic mesh as susceptor insert.
Source: ENEA

At optimal conditions, the ILSS values obtained are equal to:

- 55 MPa with $T=275\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=100\text{ kPa}$, $t=5\text{ min}$, no insert interface;
- 47 MPa with $T=285\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=100\text{ kPa}$, $t=8\text{ min}$, *pre-preg CETEX[®] PPS* insert interface;
- 41 MPa with $T=285\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=100\text{ kPa}$, $t=5\text{ min}$, metallic mesh insert interface.

ILSS values, obtained by welding, are well above those of the testing specimens bonded with acrylic structural adhesive, specifically designed for plastics, known as 3M[™] Scotch-Weld[™] DP 8005, which recorded a mean value of 18 ILSS MPa, in line with 20MPa reported in literature, for bonded joints [8] [9].

Conclusions

The present work was aimed at an experimental study of the welding process called “induction welding” of thermoplastic composites for aerospace. Activities have been fully developed at the Laboratory for Polymers, at the ENEA Research Centre of Brindisi, following a request for technical and scientific support, advanced by CETMA CONSORTIUM for the execution of some research activities within the project “C.E.S.PER.T.: Compositi termoplastici E Strutture PER mezzi di Trasporto”.

The material on which the welding tests were carried out is a semicrystalline thermoplastic composite in polyphenylene sulfide (PPS) reinforced with high-resistance carbon fiber fabric (T300 3k 5HS), called *CETEX[®] PPS* and produced by Brite Technologies Inc.

Firstly, to evaluate the degradation of the *CETEX[®] PPS* versus time and temperature set in the welding tests, the material was subject to thermogravimetric analysis (TGA), carried out in static air, acquired simultaneously with the measurement of the temperature difference (DTA). DTA curve in the laminate has detected the melting peak only at $275\text{ }^{\circ}\text{C}$. In successive welding testing, temperature has been varied in the neighborhood of the melting temperature of PPS ($275\text{ }^{\circ}\text{C}$).

The residence time was set at different values of the order of minutes, in order to have acceptable timing for the purposes of any industrial process. The same applies to the values of pressure, made to vary around 130 kPa.

Furthermore, it is expected to consider three types of

interfaces: the first one, where there is no insert; the second one, where a sheet of pre-preg *CETEX® PPS* is inserted; the third one, where a metal mesh is used.

The purpose of the experimental work was to determine how to set the process temperature, compacting pressure, residence time, and type of weld interface, so to affect the quality of the junction.

Once developed the system and decided to correlate the process parameters and the welding quality, the experimental campaign is planned. To this end, a procedure of "Design of Experiments" has been implemented to reduce the impact of the trial, in terms of time and cost, while retaining good levels of effectiveness and significance.

Each of the three process parameters was varied on three levels in the neighborhood of the set points and the number of test combinations was restricted as to one third as possible, using a reduced orthogonal matrix of the $L_9(3^3)$ type. *Each test condition was repeated twice.* Welded specimens were investigated with ultrasound and mechanical characterization. The analysis has resulted in the mapping of each sample in order to perform an analytical evaluation of the weld quality and its mechanical coupling composite / composite.

The mechanical characterization was performed by measuring the apparent interlaminar shear strength (ILSS), using the test described in EN ISO 14130. The measure of ILSS values, under different conditions, has allowed the study of the relationship between parameters process and weld quality.

In addition, through statistical analysis of Taguchi, ILSS values were extrapolated for all possible combinations of the three process parameters, even for those not tested. This allowed us to identify, for each type of interface, the conditions that optimize the quality of the weld.

At optimal conditions, the ILSS values obtained are equal to:

- 55 MPa with $T=275\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=100\text{ kPa}$, $t=5\text{min}$, no insert interface;
- 47 MPa with $T=285\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=100\text{ kPa}$, $t=8\text{min}$, *pre-preg CETEX® PPS* insert interface;
- 41 MPa with $T=285\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=100\text{ kPa}$, $t=5\text{min}$, metallic mesh insert interface.

In any case, the ILSS values obtained by welding are well above those of the testing specimens bonded with acrylic structural adhesive – specifi-

cally designed for plastics, known as 3M™ Scotch-Weld™ DP 8005 – which recorded a mean value of 18 ILSS MPa, in line with 20MPa reported in literature, for bonded joints.

This comparison lets you easily understand the potential of the "induction welding" technology in terms of mechanical strength and processability. Compared with mechanical joints, this technique has many advantages, typical of continuous joints, to not introducing points of concentration of mechanical stress, to avoid the infiltration of liquid through the cracks, to not having to drill the laminates, etc. In addition, this technology can be easily automated, resulting in a significant reduction of manual labor, due to the absence of contact between the heating device and components to be welded, and because there are no special requirements for surface preparation (typical problem of bonding techniques).

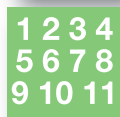
Acknowledgments

Activities have been fully developed following a request for technical and scientific support, advanced by CETMA CONSORTIUM within the project "C.E.S.PER.T.: Compositi termoplastici E Strutture PER mezzi di Trasporto".

The author would like to thank Mr. F. Valentino for carrying out the mechanical tests, Dr. M. Schioppa for thermal characterization tests, Dr. G. Elmo and Dr. V. Luprano for ultrasound investigations, and Mr. A. Tati to support the thermographic equipment.

References

- [1] Chang IY, Lees JK. Recent developments in thermoplastic composites: a review of matrix systems and processing methods. *J Thermoplast Comp Mater* 1988;277-96.
- [2] Don R.C., Bastien L., Jakobsen T.B. and Gillespie Jr. J.W. Fusion bonding of thermoplastic composites by resistance heating. *SAMPE Journal*, Jan-Feb., pp 59-66, 1990.
- [3] Rudnev V, Loveless D, Cook R, Black M. *Handbook of induction heating*. New York, USA: Marcel Dekker; 2003.
- [4] Tietenberg TH. *Environmental economics and policy*. 2nd ed. Addison-Wesley Educational Pub. Inc., 1998.
- [5] Border J, Salas R. Induction heated joining of thermoplastic composites without metal susceptors. In: 34th International SAMPE Symposium, 1989. p. 2569-78.
- [6] Chookazian SM. Electromagnetic welding: an advance in thermoplastics assembly. *Mater Des* 1987;8:41-5.
- [7] Chookazian SM. Electromagnetic welding of thermoplastics and specific design criteria with emphasis on polypropylene. In: ANTEC94, 1994. p. 1352-5.
- [8] De Baere I, Van Paepegem W. and Degrieck J. Fusion bonding of carbon fabric reinforced polyphenylene sulphide. *EPJ Web of Conferences* 6, 08005 (2010).
- [9] De Baere I. Experimental and Numerical Study of Different Setups for Conducting and Monitoring Fatigue Experiments of Fibre-Reinforced Thermoplastics. Doctoral-thesis, Ghent University, ISBN 987-90-8578-196-7, February 2008.



dal
Mondo

Il calendario degli eventi internazionali degli ultimi mesi del 2011 è stato incentrato sulla **17esima Conferenza delle Nazioni Unite sul clima** (COP 17) tenutasi a Durban (28 novembre-9 dicembre). L'agenda degli incontri è stata focalizzata sul prolungamento, con opportuni emendamenti, del Protocollo di Kyoto oltre la scadenza del 2012, sulla preparazione di un trattato globale a lungo termine e legalmente vincolante per tutti i paesi e sull'avvio operativo del "Green Climate Fund". Il summit del **Gruppo dei 20** (G20) svoltosi a Cannes dal 3 al 5 novembre è stato incentrato sulla crisi economica e finanziaria mondiale. Minore attenzione è stata dedicata ai temi della crescita "verde", della lotta ai cambiamenti climatici, dell'energia pulita, comunque richiamati nella Dichiarazione finale. In questa occasione, i leader dei paesi partecipanti al G20 hanno approvato un documento predisposto dall'**International Energy Agency** (IEA) dal titolo "*G-20 Clean Energy, and Energy Efficiency De-*

ployment and Policy Progress" che ha fatto il punto sulla diffusione delle energie rinnovabili e sull'efficienza energetica e ha riassunto le iniziative di sostegno messe in atto dai governi dei paesi del G20.

L'**Assemblea Generale delle Nazioni Unite** ha designato il 2012 come "Anno Internazionale dell'energia sostenibile per tutti".

Nell'ambito della Conferenza *Energy for all*, l'International Energy Agency ha presentato il 10 ottobre a Oslo il rapporto "*Energy for all: financing access for the poor*" che indica le politiche migliori e le soluzioni di finanziamento con le quali sia possibile arrivare entro il 2030 ad un accesso universale all'energia. Il tema è stato ripreso dal **World Energy Outlook 2011** (WEO 2011), la pubblicazione annuale dell'IEA presentata il 9 novembre e contenente analisi e proiezioni del mercato energetico per il medio e lungo termine (vedi nota nella rubrica World View).

Il 18 e il 19 ottobre si è tenuta a Parigi la Riunione a Livello Ministeriale dell'IEA dal titolo *Our Energy Future: Secure, Sustainable and Together*. L'incontro, cui hanno preso parte i Ministri competenti di 36 Paesi (oltre ai 28 membri dell'IEA, presenti anche Brasile, Cile, Cina, India, Indonesia, Messico, Russia e Sudafrica), ha visto la rappresentanza dei due terzi della produzione globale di energia e i tre quarti della domanda mondiale confrontarsi sul futuro del sistema energetico mondiale.

Tutti incentrati a stimolare il dibattito sulla "crescita verde" gli appuntamenti **OECD** di ottobre e novembre. Nell'ambito infatti della *Green Growth Strategy*, lanciata all'inizio dell'anno dall'organizzazione, il 12 ottobre si è aperta a Copenhagen il *Global green growth forum*. Energia, trasporti, finanza e commercio sono stati i punti dibattuti per la creazione di partenariati pubblico-privati di lungo periodo capaci di combinare crescita e creazione di nuovi posti di lavoro con la riduzione delle emissioni. In questo ambito sono partite le prime azioni su: biocarburanti sostenibili per l'aviazione civile; commercio internazionale "verde"; appalti pubblici "verdi"; efficienza energetica ed energia rinnovabile.

Il tema acqua è stato invece al centro di due importanti appuntamenti: la

"*International conference on river restoration for green growth*" e l'"*OECD global forum on the environment-Making water reform happen*". In particolare il secondo meeting, tenutosi a Parigi il 25-26 ottobre, ha visto il lancio di due pubblicazioni OECD per supportare i governi nella definizione di politiche di gestione dell'acqua, proponendo soluzioni legislative e regolamentari.

Il tema dell'acqua, unitamente a quello dell'energia e della sicurezza alimentare, è stato l'oggetto di "**Bonn 2011: the water, energy and food security nexus. Solutions for green economy**" dal 16 al 18 novembre. L'iniziativa, patrocinata dal governo tedesco, ha portato alla stesura di "*5 Bonn opportunities for action*".

Il 5 ottobre ha avuto luogo a Seoul una conferenza sul cambiamento climatico e la crescita verde intitolata "*Understanding the Threat, Seizing the Opportunities*", organizzata dal *Global Green Growth Institute*, fondato a Seoul nel 2010, dalle Ambasciate di Germania e Regno Unito e da una delegazione UE. Obiettivo quello di valutare i rischi del cambiamento climatico per la Corea del Sud, le possibili soluzioni e azioni politiche necessarie per affrontare tale rischio, identificare e cogliere le opportunità per sostenere una strategia comune di crescita verde, con la Corea che si è proposta come "laboratorio della green economy".

(Flavia Amato, Paola Cicchetti)



dall'
Unione Europea

Commissione Europea

Le principali iniziative della Commissione Europea (CE) nel periodo autunnale hanno riguardato:

- le regole, stabilite il 26 settembre, per l'assegnazione alle **compagnie aeree** delle **quote di emissione libera dei gas a effetto serra**;
- le Comunicazioni del 6 ottobre con cui la CE ha proposto a Consiglio e Parlamento Europeo una

nuova regolamentazione per il **Fondo di coesione**, il **Fondo europeo di sviluppo regionale**, il **Fondo sociale europeo** e l'obiettivo "Investimenti a favore della crescita e dell'occupazione";

- la presentazione, il 12 ottobre, del progetto di **riforma della politica agricola comune (PAC)** prevista dopo il 2013 (10 punti chiave);
- il lancio, il 17 ottobre, della campagna "Generation Awake. Your choices make a world of difference!" sull'**utilizzo efficace delle risorse**, per sensibilizzare i cittadini sulla necessità di consumare in modo razionale le risorse naturali e incoraggiarli a tener conto dell'impatto ambientale dei prodotti che intendono acquistare;
- l'adozione, in data 18 ottobre, di una **definizione comune di nanomateriale** con l'invito agli Stati membri ed agli operatori economici ad usare tale definizione nella legislazione sui prodotti derivanti dalle nanotecnologie;
- la Comunicazione del 19 ottobre nella quale la CE adotta un piano di investimenti di 50 miliardi € per realizzare **grandi progetti infrastrutturali** nei trasporti, reti elettriche e reti telematiche, attraverso la creazione di "project bonds" europei (vedi nota in rubrica World View);
- le raccomandazioni inviate nel periodo 26-31 ottobre dalla CE al Consiglio europeo relativamente alle **Joint Programming Initiatives** 'Healthy and Productive Seas and Oceans', 'Urban europe - Global Urban Challenges, Joint European Solutions', 'Connecting climate knowledge for Europe', 'Water Challenges for a Changing World' e 'The Microbial Challenge - An Emerging Threat to Human Health';
- l'approvazione, avvenuta il 4 novembre, del nuovo regolamento CE sull'**uso dei fosfati e di altri composti del fosforo** nei detergenti per uso domestico;
- l'adozione in data 14 novembre di due strumenti legislativi volti a rafforzare la **sicurezza alimentare** nell'UE attraverso la definizione di due elenchi di additivi autorizzati;
- l'adozione, in data 15 novembre, del **programma di lavoro 2012** per il rinnovamento europeo in cui

la CE definisce le modalità che intende seguire per introdurre ulteriori misure per rilanciare l'economia ed il mercato unico, e i programmi di spesa per rispondere alla crisi economica;

- le norme concordate il 17 novembre a Ginevra da UE, Stati Uniti e Giappone per accelerare l'introduzione dei **veicoli elettrici** (convergenza degli obblighi normativi per ridurre i costi e facilitare le economie di scala industriale);
- la relazione inviata il 23 novembre dalla CE al Consiglio e Parlamento europeo nella quale vengono presentate iniziative per far partecipare le piccole e medie imprese cercando, quando possibile, di esentare le **microimprese** da obblighi imposti dalla legislazione UE o di introdurre regimi speciali per ridurre gli oneri normativi;
- la proposta di legislazione del 23 novembre per rafforzare sensibilmente il monitoraggio e la comunicazione delle **emissioni di gas a effetto serra**, nell'ambito del pacchetto UE sul clima e l'energia per il periodo 2013-2020.

Rapporti/Pubblicazioni

Tra le valutazioni intermedie condotte su alcune iniziative della CE, occorre menzionare l'**Interim evaluation** delle tre Public-Private Partnerships (PPPs) che delinea i punti forti e deboli delle PPPs Factories of the Future, Energy-efficient Buildings, Green Cars ed alcune raccomandazioni sul futuro sviluppo di tali iniziative; la **First interim evaluation of the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)**, del 2 settembre, relativa all'analisi della qualità ed efficienza e dello stato di avanzamento della FCH JU; l'**Interim Evaluation Report**, del 14 settembre, circa la azioni di Cooperazione internazionale nell'ambito del programma specifico Capacities del 7PQ; il rapporto finale del 14 settembre sulle **sinergie** tra il 7PQ, il Programma per la competitività e l'innovazione (CIP) e i **Fondi per la politica di coesione**.

Tra le **consultazioni pubbliche** avviate, occorre menzionare quella del 18 ottobre in materia di **e-procurement** (uso di mezzi elettronici per la comunicazione e l'elaborazione delle transazioni da parte delle istituzioni pubbliche per l'acquisto di forniture e servizi o appalti di opere pubbliche). Riguardo al cambiamento climatico, rimane aperta fino al 19 dicembre la consultazione sul rafforzamento delle misure dell'UE tendenti a ridurre le **emissioni di gas fluorurati**, gas industriali che contribuiscono fortemente al riscaldamento globale.

Parlamento Europeo

Approvata il 29 settembre la risoluzione sulla posizione comune che l'UE dovrà assumere nella **Conferenza di Rio+20**. Il PE ha approvato il 17 novembre una risoluzione che chiede la piena **liberalizzazione della rete internet**, mantenendola aperta ed accessibile a tutti.

Consiglio Europeo

Il Consiglio dell'Unione europea il 31 ottobre ha inviato le proprie conclusioni relative al lancio delle **Joint Programming Initiatives** (vedi sopra paragrafo relativo alla Commissione Europea). L'8 novembre il Consiglio ha concluso un accordo sulla partecipazione della **Repubblica di Bulgaria e della Romania** allo Spazio economico europeo.

(Valerio Abbadesse)



dalle
Istituzioni nazionali

Bilancio e crescita

Il 6 dicembre è stato pubblicato in Gazzetta Ufficiale il decreto-legge n. 201 "Disposizioni urgenti per la crescita, l'equità e il consolidamento dei conti pubblici", primo atto del Governo Monti finalizzato ad affrontare in tempi rapidi l'emergenza finanziaria. Il presidente Monti, in sede di illustrazione delle misure al Parlamento, ha dichiarato che "il pacchetto di interventi prevede sacrifici, ma anche azioni di sostegno alle imprese,

sia in termini di riduzione del costo del lavoro, sia in termini di fiscalità premiale per le imprese che raccolgono capitale. Contiene inoltre misure di liberalizzazione nell'interesse dei consumatori e per favorire la concorrenza".

Per quanto riguarda la **riqualificazione energetica degli edifici**, si prevede la proroga fino al 31 dicembre 2012 delle disposizioni della legge finanziaria 2007 relative ad agevolazioni tributarie per la riqualificazione energetica degli edifici. Le detrazioni per interventi di realizzazione di opere finalizzate al conseguimento di risparmi energetici con particolare riguardo all'installazione di impianti basati sull'impiego delle fonti rinnovabili di energia, spettanti nella misura del 55%, dovranno essere ripartite in 10 quote annuali di pari importo. Tali detrazioni sono parte del più ampio "pacchetto" di agevolazioni fiscali per la ristrutturazione edilizia. In particolare, tra le detrazioni per il calcolo dell'imposta netta, viene, tra l'altro, aggiunta una detrazione delle spese per interventi di recupero del patrimonio edilizio e di riqualificazione energetica degli edifici del 36% delle spese documentate. La norma decorre dal 2013. Per il contenimento della spesa, si prevede la riduzione del numero di componenti di alcune Autorità indipendenti. Il Decreto-legge inoltre prevede la soppressione di alcuni Enti: tra essi, **viene soppressa l'Agenzia per la sicurezza Nucleare** le cui funzioni sono trasferite al Ministero dello Sviluppo economico d'intesa con il Ministero dell'Ambiente.

Energia ed efficienza energetica

È stato pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 15 novembre, il Decreto Legislativo n. 185 del 19 ottobre 2011 "Attuazione della Direttiva 2009/71/Euratom che istituisce il quadro comunitario per la sicurezza degli impianti nucleari".

Nei mesi di ottobre e novembre è proseguita presso la Commissione Industria del Senato l'indagine conoscitiva sulla strategia energetica nazionale, con le audizioni di Sorgenia, Enel, Edison, APER, ENI, Federutility, Assoelettrica. Si prevede che il documento conclusivo verrà presentato entro la fine dell'anno.

In data 29 novembre Giovanni Lelli,

Commissario dell'ENEA, è stato ascoltato dalla Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti, in merito alle attività dell'Agenzia in campo nucleare da fissione e radiologico, sulla gestione dei reattori di ricerca Triga e Tapiro nonché sulle attività riguardanti le sorgenti orfane e il Servizio integrato per la gestione di tali sorgenti e dei rifiuti radioattivi. Di tale audizione sarà pubblicato il resoconto stenografico.

La Commissione Ambiente del Senato ha esaminato il disegno di legge "Sistema-casa qualità", già approvato dalla Camera dei Deputati, e il disegno di legge "Disposizioni in materia di edilizia finalizzate al risparmio idrico ed alla promozione dell'edilizia ecologica e dello sviluppo sostenibile". Entrambi i provvedimenti mirano a migliorare la qualità dell'edilizia residenziale e ad istituire un sistema di certificazione per misurare il *comfort* abitativo, l'efficienza energetica e la sostenibilità ambientale delle unità immobiliari. I due provvedimenti verranno unificati in un testo congiunto.

Ambiente

Il 6 ottobre scorso presso le commissioni riunite Ambiente e Politiche Europee di Camera e Senato si è svolta l'audizione del Commissario Europeo per le azioni per il clima, Connie Hedegaard, sulle politiche europee in materia di cambiamenti climatici. Il Commissario ha affermato che le politiche ambientali e climatiche europee devono contribuire alla crescita, alla creazione di posti di lavoro e all'innovazione, soprattutto attraverso la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e le misure per l'efficienza energetica. In particolare, ha ricordato l'importanza delle misure per la riqualificazione energetica degli edifici. Il Commissario europeo ha informato sulla *road map* europea per il raggiungimento di un'economia a basso tasso di carbonio nel 2050 e su quella relativa all'energia, di prossima presentazione.

In Commissione Ambiente del Senato si è svolta l'audizione del ministro dell'Ambiente Corrado Clini. Il Ministro ha dichiarato prioritarie la difesa del territorio dai rischi idrogeologici e il completamento della regolamen-

tazione delle fonti rinnovabili. Sul versante dell'efficienza energetica sarà adottato il relativo piano nazionale valorizzando soluzioni tecnologiche; è importante anche coniugare l'obiettivo dello sviluppo sostenibile con una politica infrastrutturale coerente, soprattutto nel settore del trasporto delle merci. A livello urbano occorre una migliore organizzazione dei sistemi di gestione della mobilità (cosiddette *smart cities*) e il potenziamento delle tecnologie ad alta efficienza energetica (*smart grids*).

(Laura Migliorini)



dai
Giornali

Ancora in primo piano i temi economici. Nel corso dell'autunno si è assistito alla crisi del governo Berlusconi e alla sua sostituzione con il governo Monti che ha dovuto far fronte agli impegni presi con la UE. Le misure annunciate nei primi giorni di dicembre avranno forti ricadute sui temi dell'energia, dell'ambiente e dell'innovazione, fondamentali per rilanciare l'economia.

Rinnovabili

Il 2011 sarà ricordato come l'anno dell'incidente di Fukushima e delle rivolte arabe in Nord Africa, due eventi che hanno avuto vaste ripercussioni in campo energetico quali la decisione tedesca e di altri paesi europei di fuoriuscire dal nucleare e l'impennata dei costi del barile. Le fonti rinnovabili ne hanno senz'altro beneficiato, almeno a giudicare dallo spazio dato ai temi della *green economy*. Su iniziativa dell'ex ministro dell'Ambiente Ronchi, nasce il manifesto della *green economy* che intende fare della sostenibilità uno strumento di business, ricerca ed innovazione. Numerosi appelli vengono rivolti al nuovo Governo affinché intervenga in alcuni settori considerati decisivi per rilanciare l'economia e trainare il boom in corso delle rinnovabili: l'Italia è infatti uno dei paesi europei con il più alto tasso di occu-

pazione nel settore dei "green jobs". Permangono le polemiche tra chi giudica "eccessivi" gli incentivi che sostengono le rinnovabili e chi, al contrario, li considera un investimento e non un costo e vede minacciata la crescita di uno dei pochi settori in salute in Italia; tra costoro si inseriscono anche coloro che auspicano incentivi per l'efficienza energetica. Le associazioni imprenditoriali del settore sono intervenute per chiedere l'estensione delle agevolazioni. Dopo lunga incertezza è stato confermato il bonus fiscale del 55%. In conclusione si può dire che il cambio di governo ha creato un po' di scompiglio in un settore che attendeva di veder completato il quadro normativo riguardante il sistema energetico italiano.

Nucleare

Dopo Italia, Germania e Svizzera, anche il Belgio, a fine ottobre, decide la fuoriuscita graduale dall'energia nucleare, da attuare entro il 2025, con la clausola che entro tale periodo siano individuate fonti alternative ed economiche. Si ritorna a parlare di Fukushima, dove i tecnici della TEPCO (società di gestione dell'impianto) hanno individuato la presenza di un gas associato con la fissione. L'anomalia

rimette la centrale sotto i riflettori sebbene molti esperti, anche dell'ENEA, hanno parlato di un fenomeno "parziale" che non comporta la riaccensione del reattore. Intanto, appare chiaro che ci vorranno circa 30 anni per la completa dismissione dell'impianto e per bonificare l'area. Greenpeace lancia l'allarme sugli stress test per i reattori nucleari in funzione in Europa, che sarebbero lacunosi e non uniformi tra i vari paesi europei. Riflettori puntati anche sul rapporto dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica che denuncia i tentativi dell'Iran di utilizzare uranio arricchito con l'obiettivo di dotarsi di testate nucleari.

Ricerca

"Dalla crisi si esce solo puntando sulla ricerca": il capo dello Stato Giorgio Napolitano è solo l'ultimo in ordine di tempo a sottolineare che i "tagli" alla crescita della spesa pubblica non sono più sufficienti per rimettere in corsa l'Italia. Insieme a lui molte altre personalità del mondo scientifico e non ribadiscono che ricerca ed innovazione sono una condizione essenziale per lo sviluppo. Alcuni quotidiani si domandano, in questi mesi di cambiamento, che fine farà la ri-

forma dell'ex ministro Gelmini, il cui ultimo atto di governo è stata la controversa nomina di Gennaro Ferrara nel CdA del CNR. Il neoministro dell'Istruzione, Francesco Profumo, salutato positivamente dal mondo scientifico, promette di ridisegnare la relazione tra ricerca, formazione e sistema delle imprese permettendo così di presidiare settori ad alta tecnologia ed elevato valore aggiunto.

Ambiente

Le alluvioni lampo che hanno sconvolto le Cinque Terre, la Sicilia e la Toscana hanno riportato l'attenzione sul rischio idrogeologico italiano ed hanno riaperto il dibattito sui rischi di una politica di gestione territoriale non sempre ortodossa. Il neoministro dell'Ambiente Corrado Clini ha promesso di avviare un piano nazionale integrato per la difesa del suolo. Per il resto l'"evento" Durban ha dominato le pagine dei giornali, anche se le "interpretazioni" relative ai risultati ottenuti non sempre appaiono univoche: c'è chi parla di "parziale successo" e chi invece di "fallimento".

(Laura Di Pietro)



1 2 3 4
5 6 7 8
9 10 11

Calendario eventi

■ INTERNATIONAL YEAR FOR SUSTAINABLE ENERGY FOR ALL

Con una Risoluzione del dicembre 2010 l'Assemblea Generale ONU ha proclamato il 2012 "Anno Internazionale dell'energia sostenibile per tutti" per promuovere l'uso delle nuove tecnologie energetiche rinnovabili e le misure per migliorare l'accesso a tali tecnologie.

1 gennaio 2012

http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/65/436

■ CBD MEDITERRANEAN REGIONAL WORKSHOP FOR BIODIVERSITY STRATEGIES AND ACTION PLANS

Workshop organizzato dal Segretariato della Convention on Biological Diversity (CBD), dal Comune di Montpellier e da ICLEI (Local Governments for Sustainability).

17-19 gennaio 2012, Montpellier (Francia)

www.cbd.int/doc/notifications/2011/ntf-2011-189-nbsap-en.pdf

■ GLOBAL CONFERENCE ON LAND-OCEAN CONNECTIONS: TOWARDS GREENER COASTAL ECONOMIES

La Conferenza è organizzata dall'UNEP e precederà la Third Intergovernmental Review Meeting (vedi sotto). Nella conferenza sarà presentato un nuovo report UNEP, "Green Economy in a Blue World".

23-24 gennaio 2012, Manila (Filippine)

<http://www.unep.org/newscentre/Default.aspx?DocumentID=2660&ArticleID=8969&I=en>

■ THIRD INTERGOVERNMENTAL REVIEW OF THE GLOBAL PROGRAMME OF ACTION FOR THE PROTECTION OF THE MARINE ENVIRONMENT FROM LAND-BASED POLLUTION (GPA)

Meeting organizzato dall'UNEP (United Nations Environment Programme).

25-27 gennaio 2012, Manila (Filippine)

http://www.gpa.unep.org/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=49

■ SIXTH WORLD WATER FORUM

Il Forum sarà focalizzato sul tema "Solutions for Water".

12-17 marzo 2012, Marsiglia (Francia)

<http://www.worldwaterforum6.org/>

■ PLANET UNDER PRESSURE

Conferenza scientifica sulle soluzioni alla sfida della sostenibilità globale. Basata sul report finale del UN Secretary-General's High-level Panel on Global Sustainability (GSP), la Conferenza intende fornire la leadership scientifica per la UN Conference on Sustainable Development (UNCSD, Rio+20).

26-29 marzo 2012, Londra (Gran Bretagna)

<http://www.planetunderpressure2012.net/>

■ SIXTH SESSION OF THE SUB-COMMITTEE ON AQUACULTURE OF THE COMMITTEE ON FISHERIES

Il Sottocomitato Acquacoltura del Comitato sulla pesca della FAO tratterà tutti i temi, compresi quelli legali e di policy riguardanti l'acquacoltura.

26-30 marzo, Cape Town (Sud Africa)

<http://www.fao.org/fishery/nems/39840/en>

(Giuliano Ghisu)