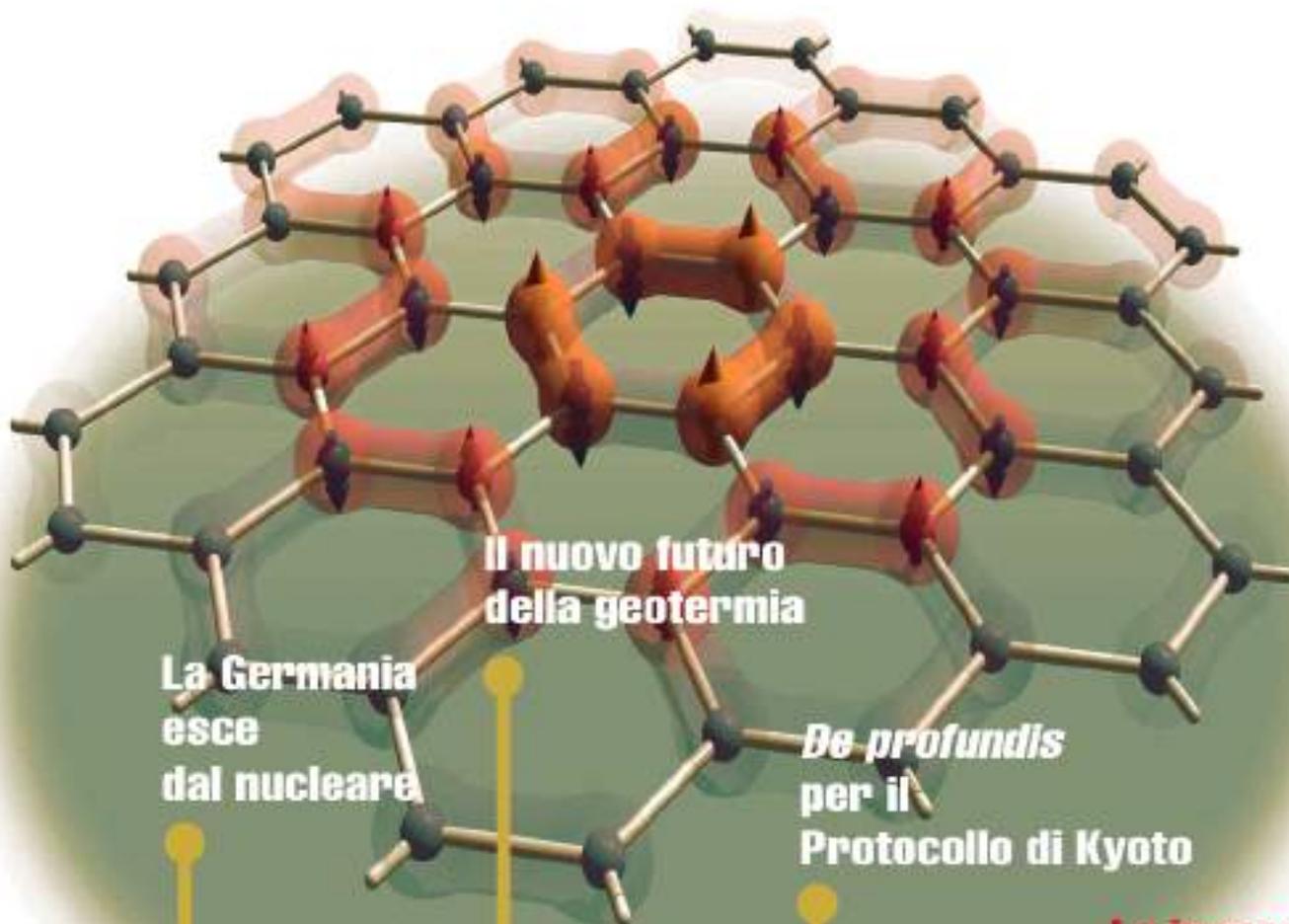




bimestrale dell'ENEA  
anno 57  
maggio - giugno 2011

# Energia, Ambiente e Innovazione

3/2011



**Il nuovo futuro  
della geotermia**

**La Germania  
esce  
dal nucleare**

**De profundis  
per il  
Protocollo di Kyoto**

**Le incredibili  
proprietà  
del grafene**

**Direttore Responsabile**  
 Vincenzo Ferrara

**Comitato di Direzione**

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

**Comitato tecnico-scientifico**

 Osvaldo Aronica, Paola Batistoni, Ilaria Bertini,  
 Vincenzo Di Majo, Stefano Giammartini,  
 Rossella Giorgi, Giorgio Graditi, Massimo Maffucci,  
 Laura Maria Padovani, Luigi Picardi, Paolo Ruti,  
 Emilio Santoro

**Direttore editoriale**  
 Diana Savelli

**Coordinamento editoriale**  
 Paola Molinas  
 ENEA

 Lungotevere Thaan di Revel, 76 - 00196 Roma  
 Tel. 06-3627.2907 - paola.molinas@enea.it

**Comitato editoriale**

 Valerio Abbadessa, Flavia Amato Paola Carrabba,  
 Paola Cicchetti, Maria Luisa Cipullo, Antonino Dattola,  
 Barbara Di Giovanni, Laura Di Pietro, Andrea Fidanza,  
 Giuliano Ghisu, Michele Mazzeo, Laura Migliorini,  
 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 luglio 2011



Prodotto realizzato impiegando carta Symbol Freelifel riciclata FSC

www.enea.it

**2 Editoriale**

**World view 4**

**Focus sulle notizie 16**
**16 Germania**  
**Svolta nel campo energetico in**  
**Germania**  
*F. Däuble*
**18 Porto Tolle**  
**La via che non va a Porto Tolle**  
*O. Chitotti*
**20 ITER**  
**La costruzione del reattore**  
**sperimentale a fusione ITER: un'impresa**  
**internazionale senza precedenti che**  
**offre opportunità per il sistema Italia**  
*P. Batistoni*
**23 Fusione fredda**  
**Effetto Fleischmann e Pons: il punto**  
**della situazione**  
*V. Violante, E. Castagna, S. Lecci,*  
*M. Sansovini, F. Sarto*
**26 Rinnovabili**  
**Energia termica dalle rinnovabili: una**  
**fonte sottovalutata**  
*A. Malocchi*
**28 Conto Energia**  
**Le principali novità del quarto conto**  
**energia**  
*A. Fidanza, G. Graditi*

**Primo piano 31**
**31 Geotermia**  
**Le possibilità di utilizzo della risorsa**  
**geotermica a bassa e media entalpia**  
**per la sostenibilità della produzione**  
**energetica**  
*F. Zarlenga*

**Anteprima 41**
**41 Durban 2011**  
**De profundis per il Protocollo di Kyoto**  
*A. Farruggia*
**Rio + 20**
**43 Sviluppo sostenibile e green economy:**  
**oltre il PIL**  
*O. Amerighi, B. Felici*
**49 Indicatori di sostenibilità ambientale: la**  
**carbon footprint**  
*R. Luciani, P. Masoni, D. Santino*

**Studi & ricerche 52**
**Review & assessment papers**
**52 Biodiversity: an assessment of the**  
**implementation of the Convention in**  
**Europe**  
*L.M. Padovani, P. Carrabba, B. Di Giovanni, F.*  
*Mauro*
**59 Il grafene: proprietà, tecniche di**  
**preparazione ed applicazioni**  
*G. Di Francia, E. Massera, M. Miglietta, I. Nasti, T.*  
*Polichetti*
**Research papers**
**68 Graphene: large area synthesis by**  
**Chemical Vapor Deposition**  
*R. Giorgi, N. Lisi, T. Dikonimos, M. Falconieri, S.*  
*Gagliardi, E. Salernitano, P. Morales, L. Pilloni*
**75 Energy consumption in the Italian**  
**mobile phones sector**  
*A. Paiano, G. Lagioia, A. Cataldo*
**83 The XX century variability of West**  
**African Monsoon**  
*P.M. Ruti, A. Dell'Aquila*
**Technical Papers**
**89 Basalt fiber: from earth an ancient**  
**material for innovative and modern**  
**application**  
*P. De Fazio*

**Rubriche 97**

 97 dal **Mondo**

 98 dall'**Unione Europea**

 98 dalle **Istituzioni nazionali**

 99 dai **Giornali**

 100 **Calendario eventi**



**I**l nuovo millennio ha riproposto la centralità della vecchia questione del rapporto fra uomo e natura, fra società ed ambiente. La crisi finanziaria/economica, insieme all'emergenza climatica, ne ha caratterizzato l'avvento, testimoniando l'accelerazione e la scala della crescente problematicità di tale relazione.

La "doppia crisi", finanziaria/economica ed ambientale, è forse la sfida più importante alla immutabilità dei correnti modelli di economia di mercato. Essa mette a fuoco la crescente pressione sugli ecosistemi dai cui servizi dipende la nostra vita, insieme alle crescenti ineguaglianze all'interno dei paesi e fra le varie regioni del mondo.

La risposta a tale sfida dei governi e delle organizzazioni internazionali è generalmente ispirata dall'idea che sia necessario e possibile rilanciare la crescita economica e tutelare l'ambiente, orientando il mercato verso una maggiore efficienza ecologica. Da qui le suggestive espressioni coniate in vari contesti: *Green Economy*, *Green Growth*, *Soft Economy*, *Greening of the Economy*. L'OECD ha adottato la propria Strategia *Toward Green Growth* lo scorso maggio, l'UNEP, nell'ambito del processo di Marrakesh, è impegnata verso il *New Green Deal* ed anche la regione asiatica delle Nazioni Unite (UNESCAP) ha abbracciato l'idea del *Green Growth*. Il prossimo Vertice di Rio 2012, a distanza di 20 anni dallo storico Summit del 1992, propone due temi principali: la *Green Economy* e il quadro istituzionale per lo sviluppo sostenibile.

La Strategia 2020 dell'Unione Europea non fa eccezione. Al centro della sua azione tre priorità: a) crescita intelligente: sviluppare un'economia basata sulla conoscenza e sull'innovazione; b) crescita sostenibile: promuovere un'economia più efficiente sotto il profilo delle risorse, più verde e più competitiva; c) crescita inclusiva: promuovere un'economia con un alto tasso di occupazione che favorisca la coesione sociale e territoriale.

Una lettura non superficiale ci induce a ritenere che purtroppo, nonostante la continua crescita della pressione esercitata sull'ambiente dalle attività antropiche, l'analisi dei problemi e la definizione delle risposte sembra ripercorrere le strade del passato, che si sono mostrate del tutto inadeguate a contrastare l'insorgere dell'attuale crisi, anzi ne sono stata una delle cause.

Il quadro culturale e metodologico in cui oggi si muove l'agenda internazionale affonda le sue ragioni nella idea di modernizzazione ecologica che aveva ispirato il Libro Bianco di Delors, già nel 1993. Il Libro Bianco denunciava l'uso insufficiente del lavoro a causa dell'alto costo fiscale ad esso associato e, di converso, l'eccessivo sfruttamento delle risorse naturali a causa dell'assenza di imposizione fiscale sul loro utilizzo e sull'inquinamento prodotto. Le politiche che oggi si propongono non cambiano l'impostazione di quelle promosse ormai 20 anni fa.

I meccanismi di mercato sono considerati, oggi come allora, centrali. In tale contesto lo sfruttamento delle risorse naturali può essere ricondotto alla sostenibilità, attraverso politiche fiscali o di altra natura, che assicurino che il prezzo di mercato rifletta adeguatamente il costo sociale (ambientale) della produzione di beni e servizi, eliminando i sussidi pericolosi, quali quelli all'utilizzo dei combustibili fossili, incoraggiando un'economia a basso contenuto di carbonio, l'uso di tecnologie pulite, l'innovazione tecnologica e la sua diffusione, nella logica del libero mercato. L'obiettivo è quello di assicurare, attraverso una più virtuosa allocazione delle risorse, la sostenibilità della crescita economica e nello stesso tempo aiutare la società a muoversi verso il massimo possibile benessere. Nessun tentennamento a favore della globalizzazione dei mercati considerata fonte di crescita e di nuove opportunità.

La promozione dell'equità e della giustizia sociale è ricondotta all'eguaglianza delle opportunità, lasciando che il risultato finale, in termini di reddito e relazioni sociali, sia il frutto dello sforzo individuale di creatività, diversità ed eccellenza.

In definitiva, i principi dell'economia tradizionale e del libero mercato continuano ad ispirare l'azione dei governi, anche a fronte dell'evidenza della loro debolezza etica, tecnica e pratica di cui si farà breve cenno qui di seguito.

Non viene posta adeguata attenzione ai problemi di controllo della scala dell'attività economica e la sua compatibilità con l'esigenza di conservare il capitale naturale.

Allo stesso modo vengono trascurate l'evidenza statistica che più alti livelli di efficienza energetica spesso sfociano in un tasso più elevato di utilizzo dell'energia, e che, sempre nel caso

Assumere la sostenibilità come elemento guida, non significa fare meglio le cose rispetto al passato colorando di verde l'economia. Prima delle politiche deve cambiare la visione del rapporto tra economia, ambiente, società e istituzioni

<sup>1</sup> Le opinioni espresse non impegnano in alcun modo l'Amministrazione di appartenenza.

dell'energia, hanno avuto nei tempi recenti un impatto decrescente sul suo utilizzo totale.

Si trascura di considerare che le politiche dei prezzi, per essere efficaci, devono riferirsi ad un ambito che assicuri la sostituibilità dei fattori produttivi, come assunto dall'economia tradizionale. Ma, diversamente, nella realtà la regola generale è quella della complementarità dell'utilizzo dei fattori produttivi, che si distinguono a seconda che siano agenti della trasformazione produttiva o ne siano l'oggetto. Ad esempio, un aumento dell'efficienza degli agenti che permettono la trasformazione produttiva (spesso l'energia) può provocare, in assenza di interventi correttivi, un incremento dell'utilizzo dei fattori (risorse) oggetto della trasformazione.

Si trascura inoltre di considerare come il meccanismo di mercato, attraverso la competizione degli Stati per attrarre nuovi investimenti con politiche fiscali favorevoli, la deregolamentazione del mondo del lavoro, la riduzione delle reti di sicurezza sociale, le politiche di bilancio restrittive, spesso promosse dagli stessi organismi finanziari internazionali, l'indebolimento delle associazioni dei lavoratori, abbia contribuito ad accrescere le diseguaglianze e, come annota la recente Enciclica papale *Caritas in Veritate*, a produrre nuovi elementi che ne definiscono contorni sempre più gravi. L'equazione "maggiore crescita economica = minore povertà", attraverso il *trickle-down effect*, non solo si è rivelata falsa, ma la teoria della sostenibilità mostra che è oggi largamente impossibile. Per l'Enciclica non è l'economia o l'innovazione tecnologica ad essere al centro dell'idea di sviluppo, ma l'uomo nella sua integrità nel suo rapporto con l'ecosistema.

Non vi alcun dubbio che il *Greening* dell'economia possa significativamente contribuire alla riduzione di inefficienze e rifiuti. Ma ciò non rende meno urgente, rispetto alla efficiente allocazione delle risorse di cui si occupano prevalentemente le politiche dei prezzi, il controllo della scala dell'attività economica e la sua compatibilità coi tassi di rigenerazione delle risorse o di assimilazione dei rifiuti. Assumere la sostenibilità come elemento guida, non significa fare meglio le cose rispetto al passato *colorando* di verde l'economia. Prima delle politiche deve cambiare la visione del rapporto tra economia, ambiente, società e istituzioni.

Occorre un cambio di paradigma che riconosca la necessità che la crescita economica rispetti i limiti dell'ecosistema e dove la dimensione etica e morale della relazione fra l'umanità e l'ambiente acquisti centralità nella politica economica e nel dibattito pubblico che la dovrebbe ispirare. Occorre estendere i processi di partecipazione per assicurare la rispondenza dei processi decisionali rilevanti al sistema di valori che trovano accoglimento nell'idea di bene comune, che tiene conto di valori e fini, coniuga la sfera economica con la dimensione etica e morale, orienta ogni azione umana, definisce il contesto entro cui ognuno possa promuovere la propria condizione di vita. E tutto ciò non può essere affrontato con successo dal mercato o dai soli meccanismi di efficienza ed innovazione.

La scelta della sostenibilità non è procrastinabile. Il limite ormai evidente alla complessiva capacità dell'ambiente di sostenere le attività economiche e la stessa qualità della vita lo impone. La richiesta di giustizia che proviene da quella parte di mondo che non ha a disposizione una fetta minima di mezzi che le consenta di realizzare il proprio potenziale umano, anzi viene emarginata alla precarietà, all'indigenza ed all'esclusione sociale, non può essere ulteriormente elusa.

È necessario un nuovo senso di equità, bene comune, responsabilità.

Il Vertice di Rio 2002 potrebbe concorrere a dare delle risposte in questa direzione. Le premesse non sono incoraggianti.

#### Bibliografia

- [1] F. La Camera, *Sviluppo sostenibile – Origini, teoria e pratica*, Editori Riuniti, 2. ed. rivista ed ampliata, Roma, 2005.
- [2] F. La Camera, *Quale via per il partito democratico*, Rubbettino, Soveria Mannelli, 2007.
- [3] F. La Camera, *Scale of economic activity and environmental taxation*, in *Critical Issues in Environmental Taxation Vol. VIII*, Oxford University Press, Oxford, 2010.
- [4] F. La Camera, *Misurare il valore dell'ambiente con le procedure di valutazione ambientale in Italia*, Edizioni ambiente, Milano, 2009.
- [5] O. Bina, F. La Camera, *Promise and shortcomings of a green turn in recent policy responses to the "double crisis"*, *Ecological Economics*, in corso di pubblicazione.

# World View

## Record delle emissioni di anidride carbonica nel 2010

**S**ecundo le ultime valutazioni dell'IEA (l'Agenzia Internazionale per l'Energia dell'OCSE), le emissioni di anidride carbonica provenienti dai processi di combustione dei combustibili fossili hanno raggiunto nel 2010 un record storico. Dopo una flessione nel 2009, causata essenzialmente dalla crisi finanziaria mondiale iniziata alla fine del 2008, le emissioni globali sono tornate a crescere rapidamente ed hanno raggiunto i 30,6 miliardi di tonnellate, dopo il precedente record del 2008 che era stato di 29,3 miliardi di tonnellate. Il dato è ancora più preoccupante, se si pensa che ben l'80% delle prevedibili emissioni future di anidride carbonica nell'anno 2020 deriveranno non dagli impianti energetici attuali, ma dall'entrata in funzione dei nuovi impianti energetici a combustibili fossili già in costruzione o programmati in varie parti del mondo. Tutto ciò

pone un serio problema alla possibilità che si possa mantenere il surriscaldamento climatico al di sotto di 2 °C rispetto all'epoca preindustriale, come stabilito dagli accordi politici mondiali sia in ambito Nazioni Unite (Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici), sia in altri ambiti, quali ad esempio le dichiarazioni dei G-8 e dei G-20.

Per poter mantenere questo impegno, le emissioni globali massime di anidride carbonica per l'anno 2020 dovrebbero essere inferiori a 32 miliardi di tonnellate: dovrebbero cioè aumentare di meno del 5% nei 10 anni che ci separano dal 2020, meno dell'aumento percentuale che c'è stato in un solo anno fra il 2009 ed il 2010. Quindi, a meno che nel frattempo non accada un evento straordinario, attualmente imprevedibile, che porti al blocco

delle emissioni globali di anidride carbonica, è da ritenersi del tutto improbabile che tale impegno possa essere effettivamente rispettato.

Se disaggreghiamo i dati di emissione del 2010 osserviamo quanto segue: in termini di fonte energetica fossile, il 44% delle emissioni proviene dall'uso del carbone, il 36% dall'uso di petrolio, o da derivati liquidi del petrolio, e il rimanente 20% da quello del metano o del gas naturale. In termini di paesi, invece, il 40% circa delle emissioni proviene dai paesi industrializzati dell'area OCSE e il rimanente 60% da quelli in via di sviluppo ed emergenti. Infine, se paragoniamo le emissioni pro-capite dei paesi industrializzati ed emergenti, si osserva che i primi hanno emissioni di anidride carbonica pari mediamente a circa 10 tonnellate pro-capite per anno, la Cina è posizionata intorno alle 5,8 tonnellate e l'India intorno a 1,5 tonnellate pro-capite per anno.

*(Paola Molinas)*



## Volare ad energia solare

*Primo volo internazionale per un aereo alimentato totalmente a energia solare*

**L'**aereo, che si chiama *Solar impulse* e che è alimentato solamente ad energia solare, è stato progettato da due piloti svizzeri: André Borschberg, di professione imprenditore ed ex pilota militare dell'Aeronautica Militare svizzera, e Bertrand Piccard, psichiatra di professione, ma amante del volo e delle imprese estreme, già famoso per aver compiuto in mongolfiera, nel 1999, il giro completo della terra senza stop.

L'aereo è partito alle 8.40 della mattina del 14 maggio 2011 dall'aeroporto di militare di Payerne nella Svizzera occidentale, vicino a Berna, ed è atterrato all'aeroporto Zaventem di Bruxelles alle ore 9.30 di sera, dopo quasi 13 ore di volo, per coprire un tragitto di circa 640 km alla velocità media di 50 km/h. Un aereo di linea compie lo stesso percorso in circa 1 ora e, anche andando in treno o con la propria auto, il tempo di viaggio sarebbe stato inferiore alle 6-7 ore.

L'esperimento non serviva per dimostrare alcuna concorrenzialità, ma soltanto per confermare che già con le esistenti tecnologie è possibile compiere anche trasvolate internazionali utilizzando

esclusivamente l'energia solare. Se si investirà con maggiore impegno e con più convinzione nello sviluppo tecnologico delle tecnologie solari nel settore aeronautico, così come in quello dei veicoli terrestri o marittimi, sarà possibile in futuro utilizzare le energie rinnovabili anche in un settore come quello dei trasporti, responsabile in media di circa il 30% delle emissioni mondiali di gas serra e causa più importante dell'inquinamento atmosferico e acustico delle nostre aree urbane. I dati tecnici dell'aereo solare sono così riassumibili. L'aereo è dotato di 12 mila celle solari (per la precisione di 11.628 mila celle) distribuite sulle ali e sugli stabilizzatori orizzontali di coda, le quali hanno fornito potenza sufficiente ai motori elettrici per volare a una quota media di 6.000 piedi (poco meno di 2.000 metri) e ad una velocità di crociera di circa 70 km/ora, anche se, a causa dei tempi morti, in fase di decollo e di atterraggio, l'aereo ha viaggiato con velocità media effettiva di 50 km/ora. Inoltre, le celle solari hanno fornito energia sufficiente per caricare le batterie elettriche e permettere di terminare il volo, di notte, nella fase finale del tragitto. I due motori elettrici, ciascuno della potenza di 10 hp (7,3 kW), assieme alle batterie al litio, sono stati fissati sotto le ali.

Per quanto riguarda la struttura, l'aereo è stato costruito con uno scheletro molto leggero ma molto resistente, di fibra di carbonio a

nido d'ape, ricoperto da un sottile strato di materiale polimerico, tranne che nella parte superiore delle ali e sulla superficie superiore degli stabilizzatori di coda, coperte, invece, da celle solari. In questo modo, il peso complessivo dell'aereo è risultato di circa 1.700 kg, con un'apertura alare di 64 metri, quasi la stessa di un Boeing 777 o di un Airbus 380 che pesano, invece, qualche centinaio di tonnellate.

Il progetto del *Solar impulse*, che è stato presentato alla *Green Week Conference 2011* di Bruxelles, è stato avviato nel 2003 con la collaborazione scientifica del Politecnico Federale di Losanna, ed è stato finanziato con un fondo decennale di 90 milioni di euro, fornito da Deutsche Bank (Germania), Omega (Svizzera) e Solvay (Belgio), e con la partecipazione, per la realizzazione del progetto, di alcune industrie aeronautiche europee e dell'Agenzia Spaziale Europea. Per utilizzare motori più potenti e aumentare le capacità di carico utile trasportabile, bisognerà ora attendere che si sviluppino le nuove tecnologie che migliorano l'efficienza delle celle solari, e che aumentino le capacità delle batterie elettriche riducendone il peso.

*(Caterina Vinci)*



## Impegno del G8 per la crescita verde

**I**l Gruppo degli Otto (G8) si è riunito a Deauville il 26-27 maggio 2011 per discutere, tra l'altro, di crescita verde, cambiamento climatico e biodiversità. Il Vertice si è concluso con l'adozione della Dichiarazione del G8 "Un rinnovato Impegno per la Libertà e la Democrazia", nel quale vengono ribaditi gli sforzi per una crescita forte, durevole ed equilibrata che necessita di nuovi motori quali la ricerca, l'istruzione e l'innovazione.

La crescita verde costituisce un elemento essenziale per assicurare una crescita globale sostenibile, soprattutto al fine di promuovere l'efficienza delle risorse e la buona gestione dell'acqua, per combattere i cambiamenti climatici e preservare la biodiversità. Poiché le esigenze della crescita verde devono essere condivise, i leader del G8 si impegnano a partecipare a tutte le istanze e istituzioni in materia e in particolare supportano la strategia per la crescita verde elaborata dall'OCSE che si adatta alle diverse situazioni nazionali e include la più ampia gamma di tecnologie.

Riconoscendo l'importanza di stabilire dei programmi per la crescita verde, il G8 s'impegna a collaborare con il Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite, con l'OCSE e con l'AIE al fine di identificare una serie di indicatori per la crescita verde. Inoltre, esprime un forte sostegno alla cooperazione internazionale soprattutto in prospettiva della Conferenza di Rio di giugno 2012 e di altri appuntamenti internazionali quali la conferenza di Bonn sull'acqua, l'energia e la sicurezza alimentare a novembre 2011, la Conferenza di Durban sul cambiamento climatico a dicembre 2011, il Forum mondiale dell'acqua di Marsiglia a marzo 2012 e la conferenza sulla biodiversità a Nuova Delhi a ottobre 2012.

Nel settore dell'energia i leader sottolineano la necessità di adottare una serie di misure per incoraggiare l'uso efficiente e durevole delle risorse ricorrendo alle energie rinnovabili e di sostenere le iniziative internazionali per la cooperazione in materia di efficienza energetica e di biodiversità.

La lotta contro i cambiamenti climatici è una priorità mondiale e il G8 ha espresso la determinazione ad agire come parte di uno sforzo globale più ampio e ha riaffermato la volontà

di perseguire l'obiettivo della riduzione di almeno il 50 % delle emissioni globali e della riduzione di almeno l'80 % delle emissioni di gas serra nei paesi industrializzati entro il 2050. I leader hanno espresso soddisfazione per l'esito della Conferenza di Cancun e considerano la prossima conferenza di Durban un'opportunità per rendere operativi gli accordi di Cancun e affrontare le questioni irrisolte. Riguardo alla biodiversità, i leader riconoscono che la perdita di biodiversità ha raggiunto livelli inaccettabili per l'impatto negativo sul benessere umano, lo sviluppo sostenibile, la lotta alla povertà e la sicurezza alimentare, per cui intensificheranno gli sforzi per rallentarla.

*(Paola Cicchetti)*



## Cina e Stati Uniti: no a norme di limitazione delle emissioni aeree

Dal 1 gennaio 2012, in attuazione di una Decisione della Commissione Europea del 7 marzo scorso, le emissioni di anidride carbonica dei voli aerei, nazionali e internazionali, che atterrano o decollano dagli aeroporti europei, dovranno diminuire. Il settore del trasporto aereo in Europa sarà assoggettato a limiti di emissione progressivamente stringenti, alla pari di altri settori che fanno parte dell'*Emission Trading Scheme* (EU-ETS) dell'Unione Europea. Le compagnie aeree saranno obbligate ad acquistare permessi di emissione onerosi, qualora nel 2012 le emissioni dei loro aerei superino il limite fissato, corrispondente al 97% delle emissioni storiche (media annuale delle emissioni rilasciate nel 2003-2005). Dal 2013 la quota sarà ridotta al 95%.

Contro queste disposizioni, sono insorti gli Stati Uniti e la Cina. Al meeting Europa-USA sul trasporto aereo, tenuto il 22 giugno a Oslo (Norvegia), gli Stati Uniti hanno espresso tutta la loro contrarietà alla limitazione delle emissioni e, il giorno dopo, l'Amministrazione Obama ha chiesto ufficialmente che le linee aeree americane siano esentate dagli obblighi imposti, giudicando le disposizioni europee come illegittime, sia sul piano giuridico, sia su quello legale. Un gruppo di compagnie aeree americane, nei giorni scorsi, aveva già fatto ricorso alla Corte di Giustizia di Lussemburgo; il verdetto finale è atteso presumibilmente per la fine dell'anno.

Contro la nuova normativa europea era insorta anche l'Associazione del Trasporto Aereo Cinese, che sta preparando analoga azione legale. Secondo i cinesi le norme europee costeranno alle loro compagnie oltre 80 milioni di euro l'anno,

cifra destinata a crescere nei prossimi anni. La normativa europea, oltre a penalizzare pesantemente i loro voli, che sono a lungo raggio, non rispetterebbe la differenza di considerazione tra paesi ricchi e poveri nell'attuazione degli impegni di riduzione delle emissioni, come sancito dal principio di responsabilità comune, ma differenziata, delle Nazioni Unite. Anche nel meeting annuale dell'Associazione Internazionale del Trasporto Aereo tenutosi a Singapore il 5-7 giugno scorsi si erano levate forti critiche contro la regolamentazione europea, lamentando la sua entrata in vigore in un periodo caratterizzato da alti prezzi petroliferi, dagli effetti dello tsunami giapponese e della primavera araba, che hanno falcidiato i margini di profitto delle compagnie. Domenico Santino, ricercatore del Centro ENEA della Casaccia, ed esperto di mitigazione dei cambiamenti climatici e delle politiche europee di riduzione delle emissioni di gas serra, ci ha detto che la Commissione Europea non intende cedere a queste richieste, né intende annacquare la normativa europea, perché sarebbe un grave errore concedere esenzioni a chicchessia. Ne andrebbe dell'autorità delle istituzioni europee e dell'autorevolezza dell'Europa.

(Giuliano Ghisu)



## Europa: 45% di energia da fonti rinnovabili entro il 2030

**S**tabilire un nuovo e vincolante obiettivo europeo del 45% di energia da fonti rinnovabili entro il 2030. Questa è la proposta avanzata dell'EREC (European Renewable Energy Council) all'Unione Europea, con il recente studio *Moving to 2030: A binding 45% renewable energy target*, al fine di conseguire, al 2050, una riduzione dell'80-95% delle emissioni rispetto al 1990, necessaria per contenere l'innalzamento della temperatura terrestre entro i limiti di sostenibilità. L'attuale processo di trasformazione del sistema energetico europeo, infatti, deve essere ulteriormente accelerato in quanto le attuali politiche ambientali rischiano di arrivare solamente a una riduzione del 40% delle emissioni entro metà secolo (figura).

Lo scenario *advanced* dell'EREC, basato sulle proiezioni delle industrie europee nell'ambito del progetto *REPAP 2020*, mostra la fattibilità del nuovo obiettivo proposto: 35% da rinnovabili nel 2025 e 48% nel 2030 grazie a oltre 570 Mtep di energia verde. Questo corrisponderà a una copertura dei consumi attraverso le fonti rinnovabili di quasi il 70% nel settore elettrico (oltre 2.800 TWh), di oltre il 50% in quello del riscaldamento e raffrescamento (284 Mtep) e del 15% nei trasporti

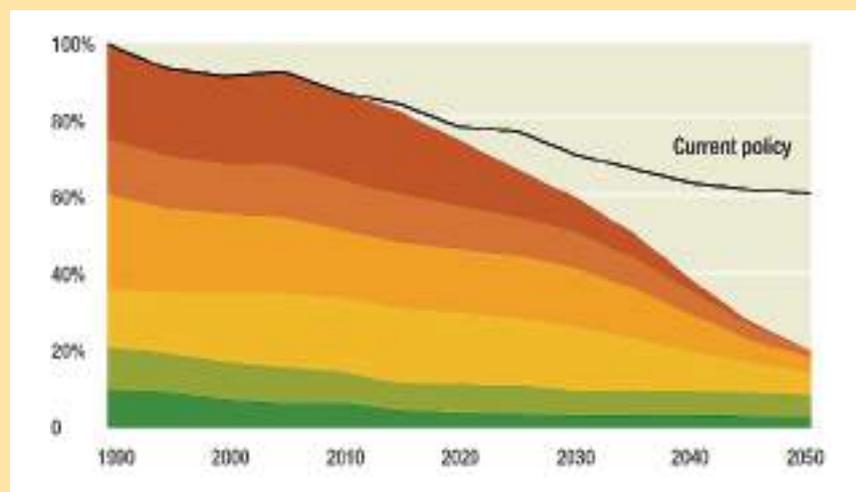
(45 Mtep).

Un simile scenario porterà inoltre importanti benefici a livello europeo: aumento della competitività industriale e della sicurezza degli approvvigionamenti, diminuzione della spesa energetica, incremento dell'occupazione fino a 4,4 milioni di unità nei settori delle fonti rinnovabili. Secondo l'EREC, per sostenere tale scenario sarà necessario: incrementare gli investimenti già previsti (nella misura di circa 66 miliardi di euro di media all'anno fino al 2030), rendere obbligatorio l'obiettivo sull'efficienza energetica (-20% di consumi) e

portare al 30% quello sulla riduzione delle emissioni di gas serra sempre al 2020.

La stessa Commissione Europea sembra essere in sintonia con la proposta dell'EREC, sia il Commissario per l'azione climatica che quello per l'energia, infatti, hanno ultimamente sottolineato l'importanza e l'urgenza di definire un obiettivo a più lungo termine per le rinnovabili. Il prossimo autunno la Commissione prevede quindi di lanciare una roadmap per l'energia in cui saranno contenuti i nuovi traguardi al 2030, 2040 e 2050 per le energie rinnovabili in Europa.

(Andrea Fidanza)



**FIGURA 1**

Emissioni di gas serra nell'UE nell'ottica della riduzione dell'80%  
Fonte: Commissione Europea 2011



## Verso una contabilità economica ambientale europea

**I**l Parlamento Europeo ha approvato, il 7 giugno scorso, il testo del regolamento di una nuova contabilità economica ambientale con lo scopo di armonizzare la raccolta dei dati nazionali su emissioni atmosferiche, tasse ambientali e flussi di materie prime. Tale armonizzazione è ritenuta necessaria per monitorare le politiche su rifiuti, cambiamento climatico e consumo sostenibile basandosi su dati coerenti e di buona qualità. Il regolamento entrerà in vigore entro l'anno, dopo la sua adozione ufficiale da parte del Consiglio Europeo. Terminerà, così, l'iter legislativo iniziato con la proposta formulata dalla Commissione Europea il 9 aprile 2010 (COMM(2010)132). Approvata nel novembre 2010 dal Comitato ambiente del Parlamento europeo, in sede di Consiglio la proposta era stata poi rimaneggiata fino a un testo di compromesso finale, approvato dal Consiglio Europeo (che rappresenta i governi nazionali) nello scorso marzo, da sottoporre quindi al Parlamento prima del suo varo finale. Il compromesso era necessario per superare la riluttanza di alcuni Stati, che non hanno statistiche ambientali, ad impegnarsi nella raccolta di dati economico-ambientali a partire dall'anno 2012. Data la difficoltà a organizzare la

raccolta dati, all'inizio ci si baserà sulle tre aree anzidette (emissioni atmosferiche, tasse ambientali e flussi di materie prime) su cui è più facile ottenere statistiche. Gli *inquinanti atmosferici* da monitorare vanno dall'anidride carbonica agli ossidi azoto, dal metano al particolato atmosferico e saranno classificati per attività economica e per fonte (settore industriale o settore residenziale). Quest'ultimo aspetto sarà a sua volta ripartito in tre voci: trasporto, riscaldamento/raffrescamento, altro. Per le *tasse ambientali* gli Stati dovranno fornire i dati sulle imposte sull'energia, i mezzi di trasporto, le emissioni, l'utilizzo delle risorse naturali, classificati per fonte (imprese, famiglie). Infine, i *flussi di materiali* dovranno contabilizzare tutti i materiali solidi, liquidi e gassosi, tranne l'acqua e l'aria. I dati riguarderanno l'estrazione di tutti i materiali usati nei processi produttivi, l'importazione e l'esportazione di beni e tutte le fasi della lavorazione, dalle materie prime al prodotto finito. I flussi dovranno comprendere ogni cosa: biomasse, metalli, materiali non metallici, fonti energetiche fossili e rifiuti importati o esportati.

(Giuliano Ghisu)

## Fotovoltaico: elettricità dalle vetrate

**R**icercatori del MIT (Boston, USA) hanno sviluppato un dispositivo fotovoltaico a base di molecole organiche (in termini molto semplificati, di plastica) capace di convertire in energia elettrica i raggi infrarossi presenti nella radiazione solare e lasciar passare la maggior parte della radiazione visibile, risultando trasparente. Tali dispositivi potrebbero essere impiegati nelle vetrate negli edifici, e sulle automobili, per intercettare una fonte di energia altrimenti non sfruttata. Risulterebbe possibile anche la loro applicazione su preesistenti superfici vetrate, tramite pellicola, a costi limitati. (*Transparent, near-infrared organic photovoltaic solar cells for window and energy-scavenging applications* - Appl. Phys. Lett. 2011, v. 98, n. 11, 113305). Il team di ricercatori ha realizzato un prototipo che converte in energia elettrica circa l'1,7% della radiazione solare e lascia passare oltre il 55% della luce visibile. L'efficienza di conversione del nuovo dispositivo risulta inferiore a quella delle tradizionali celle disponibili in commercio, che arriva al 22%, ma i ricercatori del MIT ritengono di poterla migliorare fino al 12%. Come ci ha chiarito l'esperto del Centro ENEA di Portici Pasquale Morvillo, resta qualche dubbio sulla convenienza economica di tale applicazione e sugli sviluppi



ancora necessari per far sì che le tecnologie fotovoltaiche organiche diventino appetibili commercialmente, oltre che per gli aspetti legati all'efficienza anche, ad esempio, per la stabilità nel tempo delle loro caratteristiche e per la possibilità di realizzare elementi con adeguata estensione superficiale. Attualmente le migliori celle fotovoltaiche organiche hanno efficienze inferiori al 10% pur assorbendo la luce visibile. Tali valori si riferiscono a dispositivi con aree inferiori al cm<sup>2</sup>. Piccoli moduli realizzati con più celle di questo tipo hanno efficienze inferiori al 5%. Pertanto pensare a celle trasparenti e con efficienze superiori al 10% è ancora molto prematuro.

(Antonino Dattola)



## Estremi climatici nell'emisfero sud? C'è lo zampino del buco dell'ozono

L'uso e l'abuso, industriale e commerciale, dei freon e di altri idrocarburi alogenati, noti con il nome di clorofluorcarburi, aveva causato nella seconda metà del secolo scorso una riduzione dello strato di ozono stratosferico (tra i 10 ed i 50 km di quota) particolarmente rilevante nell'alta atmosfera antartica, dove durante la primavera australe (settembre-novembre) la concentrazione di ozono si era ridotta fino ad oltre il 50%, tanto da far parlare di "buco dell'ozono". E poiché la riduzione dell'ozono stratosferico causa un aumento della radiazione ultravioletta che giunge al suolo con tutte le relative conseguenze sanitarie per la popolazione, nel 1987 si era stabilito, con un accordo internazionale (il protocollo di Montreal), di mettere al bando tutte le sostanze lesive dell'ozono stratosferico. Il riscaldamento climatico dei bassi strati atmosferici, che nel frattempo si è accentuato sempre più, non ha favorito, nonostante il protocollo di Montreal, una rapida eliminazione del "buco dell'ozono" antartico. Diverse ricerche sperimentali hanno rilevato che il riscaldamento climatico della bassa atmosfera porta ad un raffreddamento

dell'alta atmosfera, che rallenta la formazione di ozono, dimostrando così l'esistenza di un effetto dei cambiamenti del clima sul buco d'ozono.

Quello che non era stato finora dimostrato era, invece, l'effetto della riduzione dell'ozono stratosferico sul clima dei bassi strati atmosferici, ma in particolare un'influenza del buco d'ozono antartico sul clima dell'emisfero sud. Ebbene, una ricerca condotta da americani e canadesi, pubblicata sul numero di *Science* del 20 maggio 2011, dimostra ora che molti dei fenomeni di estremizzazione climatica nell'emisfero sud, come le alluvioni subtropicali ed il raffreddamento del continente antartico (in controtendenza con il resto del mondo), non sono causati direttamente dai cambiamenti climatici in atto, ma dal "buco di ozono" antartico, cioè per via indiretta.

La ricerca ha infatti verificato che negli ultimi 50 anni la forte diminuzione di ozono stratosferico sull'Antartide, che avviene soprattutto durante la primavera australe, ha provocato una intensificazione ed un contemporaneo spostamento verso il polo sud della corrente atmosferica circumpolare antartica presente nell'alta troposfera (attorno ai 10-12 km di quota), nota come corrente a getto subpolare. Questo fatto ha a sua volta determinato una riduzione della

pressione atmosferica al suolo sul continente antartico, con condizioni di raffreddamento della sua parte più interna.

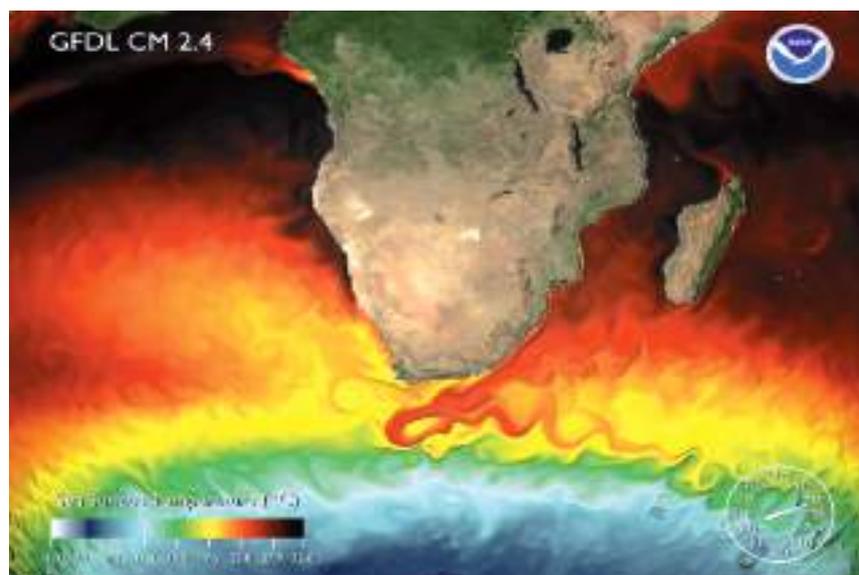
Ma non solo. Lo sbilanciamento delle correnti aeree sull'Antartico, a sua volta, ha indotto una generale modifica della circolazione atmosferica dell'emisfero sud, fino all'area tropicale, dove anche la corrente a getto subtropicale (una forte corrente atmosferica presente a circa 12-16 km intorno ai 30° di latitudine sud) si è spostata in direzione del Polo Sud, cioè a latitudini più alte. Di conseguenza, anche la circolazione atmosferica negli strati più bassi della troposfera subtropicale è cambiata, portando ad una estremizzazione dei fenomeni monsonici, all'intensificazione delle precipitazioni di carattere alluvionale e ad una variazione dell'intero ciclo idrologico, soprattutto nel semestre caldo australe (da settembre a febbraio). Secondo questa ricerca, dunque, il raffreddamento della parte interna del continente antartico, opposto al riscaldamento dell'Artico, e le alluvioni catastrofiche che colpiscono sempre più violentemente l'Australia settentrionale e il Sud-Est asiatico nell'estate australe, sono da imputarsi in larga misura al "buco dell'ozono" sull'Antartide ed in minor misura ai cambiamenti climatici globali.

(Paola Molinas)

## Come un fenomeno oceanico lontano influenza il clima di casa nostra

**I**l sistema climatico è uno dei migliori esempi del concetto di "globalizzazione", e cioè come un fenomeno lontano migliaia di chilometri possa influenzare il clima vicino a casa nostra. Lisa M. Beal, ricercatrice dell'Università di Miami, assieme ad altri ricercatori europei (olandesi, tedeschi e spagnoli), in un articolo pubblicato su *Nature* del 28 aprile 2011, ha mostrato l'importanza dei vortici che si distaccano dalla corrente di Agulhas nell'Oceano Indiano vicino all punta più meridionale dell'Africa e che trasportano nell'oceano Atlantico l'acqua più calda e più salata proveniente dall'oceano Indiano.

I vortici più caldi e salati che finiscono nell'Atlantico si inseriscono nella grande circolazione della corrente atlantica meridionale che è collegata alla corrente atlantica settentrionale (compresa la corrente del Golfo), ed alla fine confluiscono verso l'alto Atlantico e le coste europee rafforzando, così, le correnti oceaniche profonde di acqua più fredda e meno salata che dall'alto Atlantico, tornano indietro sugli abissi oceanici. Di conseguenza, l'intera circolazione atlantica viene rinvigorita e stabilizzata, diminuendo, tra l'altro i rischi legati al possibile indebolimento della Corrente del Golfo, causato dall'eccesso di acqua dolce proveniente dalla maggiore fusione dei ghiacciai della Groenlandia che è stata osservata negli ultimi decenni. Si hanno anche riscontri



paleoclimatici degli ultimi 500.000 anni tra variazioni degli apporti in Atlantico di salinità e di temperatura della corrente di Agulhas e concomitanti variazioni della stabilità della corrente Atlantica. Tali riscontri confermano che la corrente di Agulhas, interagendo con la grande corrente atlantica, svolge un ruolo importante nel clima del pianeta. Ma perché sono aumentati gli apporti di acqua salata e calda che si distaccano dalla corrente di Agulhas e vanno in Atlantico? Il motivo va ricercato nell'atmosfera. Sembra che l'aumento negli ultimi decenni dell'intensità dei venti monsonici nell'Oceano Indiano meridionale sia la causa principale della formazione di un più alto numero di vortici di dimensioni maggiori che possiedono energia più elevata per distaccarsi dalla corrente di Agulhas e transitare nell'Atlantico. La maggiore intensità dei venti monsonici deriva, a sua volta, dai cambiamenti climatici in atto che stanno modificando il regime e le caratteristiche del monzone Indiano.

Insomma, la connessione nel sistema climatico tra atmosfera e oceano è talmente stretta che le variazioni si ripercuotono vicendevolmente da una parte all'altra, anche in termini geografici. E questo è un motivo in più per impegnarsi a ridurre le cause antropiche dei cambiamenti del clima e per evitare di perturbare i complessi equilibri dei sistemi naturali.

(Paolo Ruti)

### Città resilienti: un nuovo modello per il futuro

Quale futuro per le città? Se ne è discusso a Bonn in Germania in occasione del Congresso Mondiale "Resilient Cities 2011 - 2nd World Congress on Cities and Adaptation to Climate Change" che ha visto la partecipazione di circa 550 delegati, tra cui sindaci, governatori regionali e locali ed alti funzionari delle Nazioni Unite. Il Congresso, incentrato sulla pianificazione, la valutazione dei rischi, i costi ed i finanziamenti necessari per l'adattamento dell'ambiente urbano ai cambiamenti climatici, ha permesso di individuare le azioni necessarie per favorire l'adattamento delle città ai cambiamenti del clima con cui sempre più urgentemente dobbiamo fare i conti. I risultati di maggior rilievo riguardano due punti: uno relativo alle modalità di progettare città resilienti, l'altro, relativo alle modalità di finanziamento. Per la progettazione urbanistica di città resilienti è necessario innanzitutto che sindaci, e amministratori locali siano

consapevoli dei problemi che i cambiamenti del clima pongono e delle sfide che sono chiamati ad affrontare, ponendo alla base della progettazione urbanistica criteri di prevenzione non solo dei rischi presenti, ma anche e soprattutto di quelli futuri in relazione alla vulnerabilità sia naturale sia indotta dalle attività umane sul loro territorio. Per quanto riguarda le modalità di finanziamento, è necessario passare dall'attuale approccio top-down ad un approccio bottom-up, ovvero orientato sulla domanda a livello locale. Ma affinché la domanda sia efficace e siano effettivamente raggiunti gli obiettivi è necessario che anche gli operatori economici locali ed i cittadini siano consapevoli delle implicazioni delle loro scelte su un territorio che in futuro potrebbe essere anche molto diverso da quello attuale. Edi Valpreda del Centro ENEA di Bologna, esperta di gestione del rischio, ci ha detto che sicuramente serve un nuovo modo di pianificazione delle aree urbane che consenta di prevenire





i rischi e i danni dei cambiamenti climatici in un quadro coerente di strategie di sviluppo socio economico nazionale e locale. Tuttavia, in una realtà come quella italiana, le cui città sono ricche di edilizia storica e di patrimonio artistico, la nuova pianificazione territoriale va coniugata con la conservazione e il recupero intelligente dei centri storici e dell'edilizia esistente. Discorso ben diverso per le periferie ed i nuovi insediamenti dove però bisogna passare dagli attuali metodi di edificazione di città rigide e vulnerabili a metodi di pianificazione di città resilienti ed adattabili, tenendo conto di fattori di fattori complessi anche non energetici, come quelli che caratterizzano gli ambienti urbani dal punto di vista culturale. Secondo Mauro Annunziato, coordinatore del programma *smart cities* lanciato da ENEA e coinvolto in programmi di ricerca e sperimentazione europea delle smart cities, l'approccio olistico delle "città intelligenti" permette una visione delle problematiche energetico-ambientali non disgiunta da quelle connesse alla qualità della vita, alla coesione e partecipazione sociale. In tale approccio la resilienza della città è integrata nello sviluppo di tecnologie a misura d'uomo che permettono l'adattamento progressivo e continuo dei servizi al cittadino e delle stesse strutture urbane ai bisogni dei cittadini stessi.

(Laura Di Pietro)

## Energia elettrica dal calore del corpo

**A**lla ricerca di nuove fonti di energia, team di ricercatori in diverse parti del mondo tecnologicamente avanzato, stanno mettendo a punto dispositivi termoelettrici ad alta efficienza, che convertono il calore in energia elettrica. Già nel 1954 Telkes aveva progettato e realizzato un dispositivo termoelettrico basato sull'effetto Seebeck (effetto per il quale si può generare elettricità da una differenza di temperatura), ma la bassa efficienza aveva raffreddato gli entusiasmi e smorzato gli investimenti.

Questa situazione potrebbe cambiare in tempi brevi. Dopo 50 anni di stasi, alcuni ricercatori sono riusciti, infatti, a triplicare il rendimento di molti dispositivi capaci di generare elettricità da una differenza di temperatura. Si è aperta, così, la corsa tra chi sarà il primo in grado di offrire soluzioni applicative.

La sfida per massimizzare il rendimento risiede nel proporre un nuovo materiale termoelettrico che abbia bassa conducibilità termica ed elevata conducibilità elettrica. Tale materiale, inoltre, deve assicurare elevata efficienza di esercizio (periodi di funzionamento molto prolungati) e convenienza economica nella produzione su larga scala. Il rendimento con il quale il materiale trasforma calore in elettricità è indicato dal valore ZT che dipende da un coefficiente

S (coefficiente di Seebeck) specifico, dalla conducibilità termica  $k$  (kappa) e dal valore di conducibilità elettrica  $s$  (sigma) che si calcola secondo la formula:  $S^2s/k$ .

I ricercatori dell'Università di Linköping in Svezia hanno presentato un nuovo polimero conduttore, il cui nome tecnico è poly-3,4-etiledioxiotofene (PEDOT) complessato con tosilato (Tos), come un nuovo materiale termoelettrico promettente. L'articolo dal titolo *Optimization of the thermoelectric figure of merit in the conducting polymer poly (3,4-etiledioxiotofene)* è apparso su "Nature Materials" lo scorso maggio.

I ricercatori hanno esposto il PEDOT, complessato con tosilato (PEDOT-Tos), al flusso di un particolare gas composto da vapori di molecole di tetradimetilamminoetilene



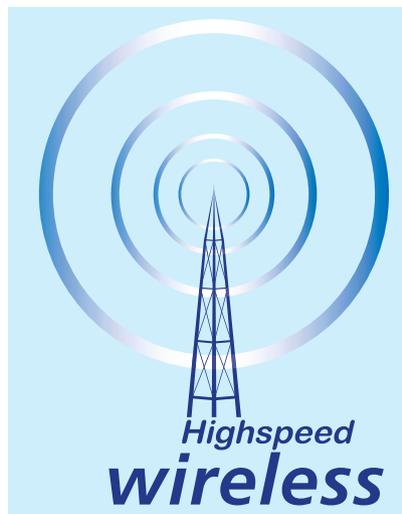


(TDAE). Questi vapori alterano la struttura elettronica del polimero stesso attraverso un processo chimico di ossidoriduzione. Avendo notato che l'effetto termoelettrico (misurato dal coefficiente di Seebeck) aumenta al diminuire del livello di ossidazione del polimero e che anche la conducibilità elettrica diminuisce per la stessa variazione, i ricercatori svedesi hanno dedotto che esiste un valore ottimale della concentrazione dei vapori di TDAE, in corrispondenza del quale si può ottenere l'ottimizzazione del rendimento (valore ZT), legato alle proprietà termoelettriche del materiale. Per verificare le potenzialità di questo polimero, è stato realizzato un dispositivo per ink-jet e sperimentato applicando una lieve differenza di temperatura di circa 10 °C tra le due superfici esterne dello stesso dispositivo. La potenza elettrica erogata è stata pari a 0.128 mW, da cui si può valutare una densità di potenza pari a 0.27mW/cm<sup>2</sup>, corrispondente ad una variazione di temperatura DT=30 °C. Tale potenza ottenuta è un ottimo risultato, poiché è il valore più alto finora raggiunto con dispositivi realizzati con polimeri conduttori. A questo punto, pensare di poter sfruttare la temperatura del nostro corpo per generare corrente in dispositivi biomedicali, tipo il pacemaker, è un obiettivo ormai raggiungibile in un prossimo futuro.

(Antonella Rizzo)

## Record di trasmissione ultrarapida wireless

Un gruppo di ricercatori del Karlsruhe Institute of Technology (KIT) ha annunciato in un articolo apparso il 23 maggio scorso sulla rivista *Nature Photonics* (*Nature Photonics* 5, 364–371, 2011) di aver realizzato il record mondiale di trasmissione *wireless* di dati su una distanza di 50 km utilizzando un solo fascio laser. La velocità di trasmissione è stata pari a 26 terabits al secondo, superando così il precedente primato del 2010 di 10 terabit/secondo. Questo successo è stato ottenuto mettendo a punto un nuovo processo di codifica e decodifica dei dati trasmessi, mediante metodi optoelettronici. Il nuovo processo è basato su una



tecnologia denominata OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*); gli algoritmi per la costruzione del segnale, a partire dai dati, sono generati usando la Trasformata di Fourier Veloce (FFT) con un sistema completamente ottico. Questo metodo, come ci spiega Silvio Migliori, responsabile della attività ENEA sulle ICT (*information & communication technologies*) non è nuovo: viene, infatti, usato attualmente da reti *wireless*, *Digital Video Broadcasting* (DVB), e *WiMAX* (reti wireless a banda larga), ma è quello più promettente per successivi sviluppi anche per le dorsali in fibra ad alta velocità. Importanti provider (Motorola, T-Mobile ecc.) la stanno sperimentando anche per le reti 4G.

In genere, l'attenzione per le velocità ultra-rapide di trasmissione, è maggiormente focalizzata sulle reti a fibra ottica. In questo caso, la trasmissione ultra-rapida è stata invece, ottenuta utilizzando un singolo fascio laser, utile per reti *wireless*. Le trasmissioni di dati ad alta velocità hanno importanza soprattutto per le nuove tecnologie televisive ad altissima risoluzione e la trasmissione di grossi volumi di immagini. Sono di grande interesse per le possibili applicazioni nelle tecnologie spaziali e di calcolo scientifico.

(Caterina Vinci)



## Fukushima: nuove stime aggravano l'entità dell'incidente

L'incidente nucleare giapponese, alla luce delle nuove analisi sulla sequenza incidentale dopo lo tsunami dell'11 marzo scorso, appare più grave di quanto si fosse inizialmente ipotizzato. Infatti la NISA, l'agenzia di sicurezza nucleare del Giappone, ha reso noto il 7 giugno scorso, con un comunicato stampa sul suo sito web (<http://www.nisa.meti.go.jp/english/>), che i rilasci aeriformi radioattivi in atmosfera provenienti dalla centrale nucleare di Fukushima Dai-ichi durante la prima settimana successiva al terremoto ed allo tsunami del'11 marzo scorso, ammontavano a circa 770 mila terabequerel, vale a dire una media di oltre 110 mila terabequerel al giorno. Questa dichiarazione rettifica la precedente dichiarazione del 12 aprile scorso della stessa NISA, secondo la quale le emissioni complessive di radioattività nell'atmosfera, tra 12 marzo e il 12 aprile, ammontavano a circa 370 mila terabequerel, con una media giornaliera di circa 12 mila terabequerel al giorno, valore ovviamente molto più alto nei primi giorni e via via più basso nei giorni successivi.

(Paola Molinas)



## GERMANIA

La Germania rinuncia al nucleare.

Qui di seguito, le considerazioni del **Vice Ambasciatore della Repubblica Federale di Germania in Italia e San Marino**

## Svolta nel campo energetico in Germania

■ Friedrich Däuble

La catastrofe del reattore a Fukushima ha dato il via anche in Germania, a tutti i livelli sociali, ad un'intensa discussione sulla politica energetica. Si è concordi nell'affermare che, a causa dei rischi delle centrali atomiche, siano indispensabili cambiamenti nella politica energetica. Nel frattempo anche l'Italia e la Svizzera hanno preso una decisione simile.

Dopo decenni di polemiche in Germania, la Cancelliera Federale Angela Merkel ha parlato di un "ampio consenso raggiunto per la prima volta, che porterà ad una maggiore coesione sociale". I discorsi economico e ambientale devono essere portati avanti di pari passo in maniera opportuna.

Il Governo Federale basa la propria politica energetica sul piano energetico del 28 settembre 2010, le cui misure devono essere accelerate e messe in pratica. Già lo scorso inverno avevamo deciso di ricavare entro il 2050 l'80% della nostra energia elettrica da fonti rinnovabili. Era un obiettivo estremamente ambizioso. La Germania può pur sempre vantarsi di aver aumentato notevolmente la quota di fonti rinnovabili nel mix energetico: nel 1994 il 4% della nostra produzione di energia elettrica derivava da fonti rinnovabili. Oggi siamo al 17%.

Il Governo Federale ha inoltre deciso una moratoria immediata per le sette vecchie centrali nucleari e le verifiche di sicurezza delle restanti.

Una Commissione per la sicurezza dei reattori è stata incaricata negli scorsi mesi di effettuare una verifica di sicurezza di tutte le centrali nucleari. È stata inoltre istituita una Commissione etica per la sicurezza degli approvvigionamenti energetici. Entrambe le Commissioni, nel frattempo, hanno presentato i risultati del loro lavoro. Su questa base, il Governo Federale ha deciso otto disegni di legge e disposizioni. In questo modo ha promosso le decisioni necessarie per il funzionamento delle centrali nucleari in Germania e l'architettura futura dell'approvvigionamento energetico.

Punto primo. La legge sul nucleare viene emendata ed entro il 2022 terminerà l'utilizzo di energia nucleare in Germania. Le centrali nucleari tedesche tenute spente durante la moratoria di tre mesi, e la centrale di Krümmel inattiva ormai da tanto tempo, non verranno più riattivate. Per la chiusura delle altre centrali atomiche il Governo Federale ha optato per un piano graduale. Secondo questo piano, nel 2015 verrà chiusa una centrale nucleare, nel 2017 un'altra e nel 2019 un'altra ancora. Entro il 2021 toccherà la stessa sorte ad altre tre centrali. I tre impianti più recenti possono restare attivi un anno in più: fino al 2022.

Secondo. Entro la fine del 2011 il Governo Federale presenterà una proposta legislativa per la gestione dello stoccaggio definitivo dei rifiuti radioattivi.

■ Friedrich Däuble

Vice-Ambasciatore della Ambasciata della Repubblica Federale di Germania in Italia e San Marino

Terzo. Per la sicurezza degli approvvigionamenti saranno assicurate sufficienti riserve di combustibili fossili per il parco delle centrali tedesche. Nel periodo di transizione la Germania utilizzerà maggiormente centrali elettriche convenzionali.

Quarto. La colonna portante dell'approvvigionamento energetico tedesco dovrà essere l'energia rinnovabile. Entro il 2050 la quota di fonti rinnovabili per i consumi energetici dovrà essere del 60%, mentre per quelli elettrici dovrà salire all'80%. Nel 2020 almeno il 35% dell'energia elettrica in Germania dovrà essere generata da vento, sole, acqua e altre fonti energetiche rinnovabili. A seguito di studi approfonditi è emerso che è tecnicamente possibile produrre in Germania il 100% dell'energia solo con energie rinnovabili. Per motivi di equilibri economici è più opportuno arrivare al pieno utilizzo di energie rinnovabili in condivisione con l'Europa.

Quinto. Entro il 2020 le emissioni dei gas ad effetto serra dovranno essere ridotte del 40% ed entro il 2050 di almeno l'80% rispetto ai valori del 1990. Entro il 2050 il consumo di energie primarie tedesche dovrà essere ridotto del 50% rispetto al 2008. Si tratta quindi della metà. L'efficienza energetica degli edifici dovrà essere raddoppiata, il consumo di energia elettrica dovrà essere ridotto entro il 2020 del 10%.

Questi obiettivi sono raggiungibili solo attraverso una radicale ristrutturazione dell'approvvigionamento energetico tedesco, attraverso la creazione di nuove strutture e attraverso l'impiego di nuove tecnologie avanzate.

La fornitura di energia elettrica è, e rimane, sicura in Germania. Le otto centrali nucleari attualmente disattivate possono essere sostituite con le riserve esistenti. Le nove centrali restanti possono essere sostituite nei prossimi anni progressivamente attraverso: le 17 centrali a combustibili fossili in costruzione, l'aumento di energie rinnovabili, e da 4 fino a 6 nuove centrali elettriche a gas ad alta efficienza e flessibilità. Dall'inizio della moratoria la Germania importa esattamente la stessa quantità di energia elettrica di prima. Ma le esportazioni sono calate notevolmente.

Poiché abbiamo imposto un'uscita rapida dal nucleare, la Cancelliera Federale ha proposto di ricorrere a

centrali elettriche sostitutive, soprattutto a gas, che possono essere costruite più velocemente, sono flessibili, adattandosi alla variabilità delle energie rinnovabili sostituibili, e producono emissioni di CO<sub>2</sub> relativamente minori.

Tuttavia ciò cambia il nostro bilancio di CO<sub>2</sub>, il che significa che dobbiamo trovare il modo di risparmiare di più in altri settori per poter compensare le maggiori emissioni. Dobbiamo accelerare ulteriormente il processo di efficienza energetica degli edifici e aumentare l'uso efficiente di energia nella produzione dei nostri prodotti e in tutta la nostra economia. Vogliamo semplicemente che il ritiro dal nucleare non comporti cambiamenti a livello climatico. Gli scenari energetici hanno mostrato che gli obiettivi di tutela del clima possono essere raggiunti anche con una rapida uscita dal nucleare.

Spesso ci si chiede se, alla luce della nostra posizione centrale in Europa, un'uscita dal nucleare abbia senso, dal momento che gli Stati confinanti continuano a mantenere attivi i loro reattori. La Cancelliera Federale ha giustamente sottolineato che a volte è necessario avere il coraggio di essere "all'avanguardia".

Ha testualmente ricordato che quando in Germania "Bertha Benz è sfrecciata in strada con la prima automobile, molti contemporanei hanno detto: sciocchezze, la potenza in cavalli di una carrozza basta e chi sa quanto è pericolosa questa nuova scoperta". Ai loro occhi Bertha Benz era un'automobilista bizzarra su una strada solitaria ed insolita, ma la sua vettura ha avuto successo.

La Cancelliera Federale Merkel ha chiuso con queste parole: "Il benessere della Germania è dovuto anche al fatto che a volte siamo stati i primi a percorrere una strada nuova".

La Germania è nota sia per i suoi scopritori e inventori che per la sua capacità di ottenere il consenso del popolo e per procedere in modo pragmatico.

Sono molto fiducioso che in cooperazione con i nostri partner europei questo ci porterà ad una svolta verso un approvvigionamento di energia moderno e sostenibile. Attribuisco molta importanza allo scambio futuro con l'Italia, con le imprese italiane e gli enti statali.

## PORTO TOLLE

**Bloccata la riconversione a carbone della centrale termoelettrica di Porto Tolle. Qui di seguito le riflessioni di una esperta delle procedure di VIA e VAS (valutazioni di impatto ambientale e valutazioni ambientali strategiche)**

# La via che non va a Porto Tolle

■ Riflessioni di *Olga Chitotti*

Dopo una lunga vicenda amministrativa e giudiziaria, la riconversione a carbone della centrale termoelettrica ENEL di Porto Tolle è stata recentemente bloccata. La sesta Sezione del Consiglio di Stato, con sentenza depositata il 23 maggio 2011, ha annullato la VIA (valutazione di impatto ambientale) che aveva ottenuto parere favorevole mediante decreto di compatibilità dal Ministero Ambiente. Senza entrare nel merito delle motivazioni della sentenza e senza entrare nelle complesse controversie fra tutti gli attori coinvolti, vale la pena, però prendere spunto da questa vicenda per domandarsi a cosa serve la VIA. Nell'attuale situazione, in cui si discute di lotta ai cambiamenti climatici, di protezione della biodiversità, di obiettivi di sviluppo sostenibile e di obiettivi del Millennio, e in cui le Nazioni Unite con la Conferenza Rio+20, intendono gettare le fondamenta per la *green economy*, la VIA, come è attualmente applicata, non sembra far parte di questo quadro. Se non entrerà presto e concretamente nella cultura dei progettisti e dei politici, e se non sarà, nel frattempo, integrata da idonei aggiornamenti e strumenti, la VIA rischia di intralciare o di impedire l'attuazione dello sviluppo sostenibile, invece di rappresentarne il volano.

Come noto la VIA è una articolata procedura amministrativa di supporto per l'autorità decisionale, finalizzata a individuare, descrivere e valutare gli impatti

ambientali prodotti dell'attuazione di un determinato progetto. Cuore di questa procedura è la stima degli impatti, ovvero delle interferenze negative, sulle diverse componenti ambientali (suolo, acqua, aria, flora, fauna, ecc.), indotti dall'attuazione di un determinato progetto e dalle sue possibili alternative. Proprio su questi punti: stima degli impatti e analisi delle alternative progettuali, la procedura di VIA presenta due problemi di base. Un problema è collegato al riferimento o al presupposto di riferimento che spesso manca. L'altro problema riguarda le modalità operative che non tengono conto di tutto quello che, nel frattempo è successo, a partire dal 1992, quando sono stati stabiliti i principi dello sviluppo sostenibile, sono state approvati alcuni Trattati internazionali, tra cui quella sui cambiamenti climatici ed il Protocollo di Kyoto, e sono stati adottati gli "obiettivi del Millennio", fino ad arrivare ora alla discussione dei pilastri su cui basare la *green economy*.

Cominciamo dal presupposto che spesso manca. Il presupposto è costituito dal piano o dai piani e programmi di sviluppo sostenibile di settore (sostenibilità economica, sociale e ambientale) corredati dalla relativa VAS (valutazione ambientale strategica), che forniscono il riferimento, sia per la tipologia di progetto, sia per le aree più idonee di insediamento sul territorio. Questo presupposto, tra l'altro, serve anche a garantire una coerente attuazione delle diverse strategie internazionali di settore, come la strategia clima-energia per la riduzione delle emissioni climalteranti, le strategie sull'efficienza energetica, le energie rinnovabili e l'uso sostenibile delle risorse naturali, i trattati in materia di cli-

■ **Olga Chitotti**  
Responsabile Area Ambiente FAST

ma, biodiversità e desertificazione, le diverse direttive europee in materia ambientale ecc.

E ora veniamo ai metodi di operare. Il primo riguarda la stima degli impatti per la cui individuazione e determinazione è necessario, da una parte, conoscere i dettagli del progetto di intervento e, in particolare, quali sono le previste emissioni e come il futuro impianto interagirà con l'ambiente, e dall'altra parte conoscere le caratteristiche e lo stato dell'ambiente e del territorio, entro cui l'impianto o l'intervento va a inserirsi. Orbene, le cause degli impatti ambientali e territoriali, una volta realizzato l'impianto o l'intervento sul territorio, sono cause che si manifesteranno in futuro. Nel caso della centrale termoelettrica a carbone di Porto Tolle, che sarà un grande impianto con una vita media non inferiore ai 50 anni, si tratta di cause che riguarderanno un futuro più o meno lontano e, comunque, proiettato su almeno 50 anni. Per quanto riguarda l'ambiente e il territorio, invece, le caratteristiche, e lo stato, sono desunti da informazioni, studi ricerche, analisi e dati statistici, ottenuti a partire dagli anni passati più recenti ma che possono risalire fino a molti decenni indietro nel tempo: anzi maggiore è il numero dei decenni, passati considerati, migliori sono le analisi, le statistiche e le correlazioni che si possono ottenere. Pertanto, sulla base della conoscenza dell'ambiente dei decenni passati, si stimano gli impatti che si riferiscono ai decenni futuri. Se l'ambiente del futuro non sarà esattamente uguale a quello del passato, le valutazioni di impatto diventano un esercizio puramente accademico, senza alcuna attinenza con la realtà. E la possibilità che l'ambiente futuro possa essere diverso dall'ambiente presente, e molto diverso dall'ambiente passato, è confermata da studi autorevoli sul *global change* e sul *climate change*, ma lo possiamo costatare anche dalle tendenze in atto a causa dei cambiamenti del clima: aumenta l'intensità di fenomeni meteorologici estremi, si riducono i ghiacciai, diminuiscono le disponibilità d'acqua, aumenta il rischio di desertificazione, aumenta l'erosione costiera e l'innalzamento del livello del mare, cambiano le caratteristiche di uso del territorio, cambiano gli equilibri ecologici sia terrestri sia marini ecc.

Il secondo metodo di operare riguarda il confronto con le alternative progettuali. Le alternative prese in

considerazione sono, in genere, varianti del progetto proposto, varianti che servono a minimizzare il più possibile le future interazioni dell'impianto con l'ambiente e con il territorio circostante (ovviamente ambiente e territorio del passato). Non si prendono in considerazione alternative che raggiungono lo stesso obiettivo, ma con tipologie di progetti, o di interventi, completamente differenti. Per esempio, nel caso della centrale termoelettrica di Porto Tolle il progetto prevede una generazione molto elevata di energia elettrica, centralizzata in un solo grande impianto, che ovviamente ha bisogno di una struttura altrettanto centralizzata di trasporto e di distribuzione dell'energia elettrica agli utenti. Questo sistema complessivo, oltre ad essere alquanto rigido, potrebbe essere abbastanza vulnerabile ai cambiamenti climatici in relazione alla specifica localizzazione sul territorio (lungo i fiumi o lungo le coste), all'uso delle risorse naturali (acqua per il raffreddamento) e alle capacità recettive dell'ambiente locale (naturale e antropizzato). Esistono, però, alternative che raggiungano lo stesso obiettivo di produzione elettrica, ma ricorrendo a sistemi completamente diversi, come, per esempio, la generazione distribuita, cioè differenti piccoli impianti alimentati con differenti fonti energetiche (comprese le fonti rinnovabili reperibili sul territorio), collegati e interconnessi fra loro, e con gli utenti finali, in sistema flessibile di reti intelligenti, dette *smart grids*. D'altra parte, mancando, o essendo carente, il presupposto di riferimento strategico, detto prima, costituito dalla VAS che accompagna il piano di sviluppo sostenibile di settore, non si prendono in esame alternative di questo tipo e le uniche alternative lecitamente considerate, sono ovviamente soltanto le varianti, cioè quelle che costituiscono una sorta di "maquillage" dello stesso progetto.

Poiché la VIA e la VAS rappresentano gli strumenti di base più idonei per l'attuazione delle politiche di sviluppo sostenibile, appare, più che mai indispensabile che la procedura di VIA, attualmente esistente, venga, da una parte, aggiornata, in particolare alle necessità di considerare anche i cambiamenti climatici e il *global change*, e, dall'altra parte, opportunamente integrata nelle attuali strategie sullo sviluppo sostenibile, incluse le prospettive della *green economy* di cui si discuterà a Rio de Janeiro nel prossimo anno.

## ITER

Il progetto ITER costa di più di quanto preventivato. I maggiori costi aggiuntivi graveranno soprattutto sull'Europa, principale partner del progetto. Dal 27 giugno scorso se ne discute al Parlamento Europeo. Qui di seguito il significato di ITER

# La costruzione del reattore sperimentale a fusione ITER: un'impresa internazionale senza precedenti che offre opportunità per il sistema Italia

■ Paola Batistoni

La costruzione del reattore sperimentale a fusione ITER è iniziata nel 2007 ed è entrata ormai nel vivo con l'avvio della costruzione dei componenti del reattore stesso e delle opere civili nel sito europeo di Cadarache in Francia.

ITER è un progetto trentennale frutto di un accordo di collaborazione tra Europa, Stati Uniti, Giappone, Russia, RF, Cina, India e Corea del Sud. Il programma, che prevede la costruzione del reattore nei primi dieci anni e il suo sfruttamento scientifico nei successivi 20, è finalizzato a dimostrare la possibilità di utilizzare la fusione come fonte di energia di larga scala, rispettosa dell'ambiente, praticamente inesauribile e sicura. ITER produrrà 500 MW di potenza di fusione, con un guadagno di potenza di un fattore 10 per decine di minuti, e di un fattore 5 per tempi più lunghi, integrando e testando le tecnologie essenziali per il reattore.

Il contributo europeo al costo di investimento è pari a circa il 45%, mentre ciascuno degli altri sei partner contribuisce per circa il 10%. Ciascuno dei partecipanti fornisce direttamente il proprio contributo *in kind* secondo uno schema di suddivisione concordato tra le parti già nel 2001. A tale scopo, ciascuno dei partner ha istituito delle agenzie nazionali per gestire i contratti di costruzione. L'Agenzia europea per ITER, denominata *Fusion For Energy* (F4E), ha sede a Barcellona (Spagna).

Con l'inizio della costruzione di ITER (avviata dopo 6 anni di negoziati per la decisione sul sito), la revisione del progetto ha visto un significativo aumento dei costi di costruzione (di circa un fattore 2.7) rispetto a quelli previsti nel 2001, dovuto a vari fattori: la revisione e una maggiore definizione del progetto, l'aumento dei prezzi delle materie prime, l'introduzione di componenti inizialmente non inclusi, i maggiori costi dell'organizzazione internazionale e infine l'inflazione. A valle della revisione dei costi l'Europa ha confermato il proprio impegno fissando il costo del proprio contributo ad un massimo di 6.6 miliardi di euro ed ha avviato il processo di reperimento degli ulterio-

■ Paola Batistoni

ENEA, Unità Tecnica Fusione, Diffusione Tecnologie

ri fondi necessari per gli investimenti negli ultimi due anni del corrente 7° Programma Quadro (ulteriori 1,3 miliardi di euro per il 2012-13). Parallelamente, le organizzazioni di *ITER International Team* e di F4E sono state rinnovate per una più efficiente gestione del progetto che nel frattempo è entrato nella fase realizzativa.

L'Europa è tradizionalmente impegnata nelle ricerche sulla fusione nella convinzione che da questa tecnologia sicura e sostenibile potrà venire un importante contributo alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico a partire dalla metà del secolo.

Il progetto ITER permetterà di verificare la fattibilità scientifica della fusione e fornire elementi tecnologici e ingegneristici per sviluppare entro 30 anni un prototipo di impianto (DEMO) capace di produrre energia elettrica con continuità. È pensabile un'accelerazione di alcuni anni a fronte di maggiori risorse annue (ma con risorse totali fino al risultato circa equivalenti). La collaborazione internazionale sviluppata per ITER continuerà sul piano della ricerca, ma è prevedibile che il successivo passo, la realizzazione di DEMO, vedrà lo sviluppo competitivo di più macchine ad opera di alcuni partner di ITER in vista della successiva commercializzazione.

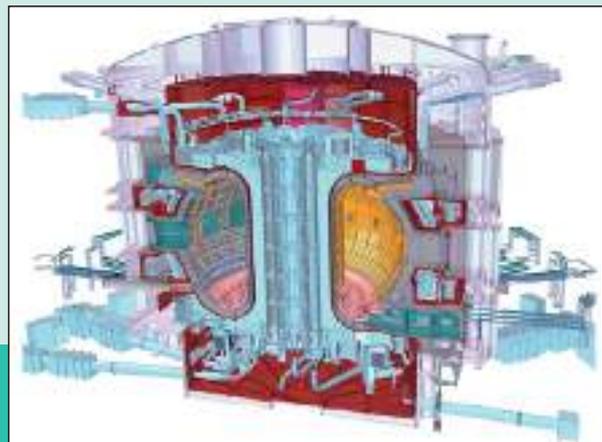
Nel frattempo, la costruzione di ITER in Europa rappresenta un'importantissima occasione di lavoro e di crescita per le industrie europee che operano sia in settori ad alta tecnologia (cavi e magneti superconduttori, componenti per alti flussi termici, componenti meccanici speciali, manutenzione remota, alimentazioni elettriche, controlli, diagnostiche ecc.) sia in settori più convenzionali (opere civili e relativa impiantistica). Inoltre, le occasioni date dalla frequente necessità di formare consorzi transnazionali, e il *know how* acquisito per la messa a punto delle forniture con elevati standard di qualità sia produttiva sia organizzativa, stanno avendo grandi ricadute in termini di innovazione e di crescita per le imprese coinvolte, per il prestigio e il ritorno di immagine che ne possono derivare, per la dimostrazione verso l'esterno di elevata qualità/affidabilità e per l'arricchimento professionale di tutto il personale impegnato, vantaggi che possono essere messi a frutto anche in altri settori di maggiore interesse commerciale e industriale.

Nel quadro europeo, l'industria italiana sta cogliendo in pieno questa opportunità: a fronte di circa un miliardo di euro speso sin qui da F4E, l'Italia si è aggiudicata oltre 25 contratti industriali per oltre 500 milioni di euro, un successo ottenuto in competizione con le maggiori industrie europee che ha suscitato, talvolta e in maniera ingiustificata, il disappunto di altri paesi dell'Unione che al momento registrano ritorni economici al di sotto delle loro aspettative.

Tra questi contratti vi sono quelli per la fornitura dei componenti più critici e a maggiore contenuto tecnologico che costituiscono il cuore del reattore (camera da vuoto e magneti superconduttori, si vedano figure 1 e 2). Le industrie italiane parteciperanno con buone possibilità anche alle gare future per la fornitura di molti altri sistemi (manutenzione remota, divertore, sistemi diagnostici e di riscaldamento del plasma, sistemi di controllo ecc.) per i quali presentano un elevato livello di qualificazione.

Il successo italiano è ottenuto anche grazie al coinvol-

**FIGURA 1** Il reattore sperimentale a fusione ITER



Il consorzio italiano formato da Ansaldo Nucleare, Mangiarotti e Walter Tosto realizzerà 7 dei 9 settori della camera da vuoto (in grigio). L'ASG Superconductors di Genova, in consorzio con le spagnole IBERDOLA e ELYTT, realizza gli avvolgimenti di 9 dei 18 grandi magneti toroidali (in azzurro). Il consorzio ICAS (ENEA, Criotec e Tratos Cavi) realizza il *cabling* e *jacketing* di circa 20 km di cavi superconduttori per i magneti toroidali e il *jacketing* di 22 km di cavi superconduttori per i magneti poloidali.

Fonte: [www.iter.org](http://www.iter.org), [fusionforenergy.europa.eu](http://fusionforenergy.europa.eu)

gimento, durante tutta la fase di progettazione di ITER, dell'industria nel programma di ricerca sulla fusione, in particolare attraverso la stretta collaborazione con i laboratori dell'Associazione ENEA-Euratom sulla Fusione per lo sviluppo di tecnologie che richiedevano soluzioni maggiormente innovative. L'Italia, con il suo programma di ricerca scientifico e tecnologico e le correlate attività industriali, è oggi all'avanza-

guardia nello sviluppo della fusione. La realizzazione del nuovo esperimento in Italia, il tokamak FAST proposto dall'Associazione ENEA-Euratom come satellite europeo di ITER, sarà determinante per il mantenimento delle competenze nazionali in un settore che offre importanti ritorni al nostro sistema in termini di competitività e che sarà strategico per le scelte energetiche future.

**FIGURA 2** Alcuni ricercatori dell'Unità Tecnica Fusione dell'ENEA in visita agli stabilimenti di Walter Tosto spa di Chieti



La Walter Tosto spa di Chieti, con Ansaldo Nucleare e Mangiarotti, si è aggiudicata il contratto per la fornitura della camera da vuoto di ITER.

Aldo Pizzuto, direttore (dietro, terzo da sinistra), Paola Batistoni, ITER Industry Liaison Officer per l'Italia (davanti, seconda da sinistra), e Antonio Cucchiario (dietro, secondo da sinistra) con Paolo Bonifazi, Business Development Manager della Società (dietro, quinto da sinistra) e alcuni dei quindici giovanissimi ingegneri assunti da Walter Tosto per la realizzazione della camera da vuoto di ITER. Tutti hanno manifestato il loro entusiasmo per l'opportunità a loro offerta di lavorare ad grande un progetto internazionale, di elevatissimo contenuto tecnologico e rigorosa garanzia di qualità: un'esperienza unica per la loro formazione professionale, e un esempio positivo in controtendenza rispetto all'attuale crisi occupazionale giovanile.

## ITER ritardato dal terremoto del Giappone

Il terremoto e lo tsunami che lo scorso marzo hanno colpito il Giappone, uno dei sette partner di ITER, hanno gravemente danneggiato infrastrutture chiave per testare alcuni componenti del reattore, in particolare il cavo superconduttore che il Giappone deve fornire per le bobine del solenoide centrale. Presso i laboratori di Naka della Japanese Atomic Energy Agency (JAEA), che si trovano a circa 100 chilometri a nord-ovest di Tokyo, si trovano gli impianti per sviluppare e testare i cavi dei magneti superconduttori, e le sorgenti per i sistemi di riscaldamento a radiofrequenza e a iniezione di neutri. Gli edifici del laboratorio sono stati duramente colpiti dal sisma e non sono attualmente agibili. Si prevede che possano essere necessari dai 2 ai 3 anni per riparare completamente gli edifici e i relativi impianti. Si stanno quindi valutando soluzioni alternative per limitare l'impatto su ITER e contenere entro un anno il ritardo sul completamento della costruzione del reattore. Le industrie che devono realizzare i componenti non hanno subito danni. Tuttavia, potrebbero verificarsi ritardi sulla produzione industriale dovuti all'impiego delle industrie coinvolte nelle produzioni di maggiore priorità per la ricostruzione del Paese, o alla minore disponibilità di energia elettrica a causa della temporanea chiusura delle centrali nucleari.

Il mantenimento del programma di ITER entro i termini approvati, e la mitigazione degli effetti del terremoto giapponese sulla produzione di componenti critici, sono stati tra i temi importanti trattati durante l'ultimo meeting dell'ITER Council che si è tenuto a metà giugno in Giappone. È stata formata una *task force* con il compito di elaborare entro l'inizio di ottobre un piano strategico con tutte le misure necessarie per ridurre al minimo il ritardo. Il programma di lavoro aggiornato con gli eventuali adeguamenti dovrà essere elaborato entro la fine di quest'anno.

## FUSIONE FREDDA

Sulla cosiddetta “fusione fredda” spesso si parla superficialmente sui giornali, per indicare reazioni nucleari a bassa energia o chimicamente assistite. Qui di seguito i chiarimenti da parte degli esperti ENEA

## Effetto Fleischmann e Pons: il punto della situazione

■ Vittorio Violante, Emanuele Castagna, Stefano Lecci, Mirko Sansovini, Francesca Sarto

*Gli studi di scienza dei materiali sui sistemi metallo-idrogeno, condotti in buona parte, presso il centro ENEA di Frascati, hanno consentito di raggiungere un significativo livello di “riproducibilità trasferita” dell’Effetto Fleischmann e Pons (generazione di eccesso di potenza in palladio deuterato). Con catodi di palladio prodotti in ENEA e con catodi realizzati in maniera tale da presentare comunque caratteristiche all’incirca identiche a quelle del materiale ENEA altri prestigiosi istituti hanno osservato produzione di potenza in eccesso con palladio deuterato mediante procedimento elettrochimico. È stato inoltre possibile verificare che i lotti di materiale in grado di produrre eccesso di potenza presso uno degli istituti coinvolti nel programma di ricerca fornivano risultati simili, e con segnali confrontabili, anche presso gli altri istituti. I risultati raggiunti eliminano i dubbi circa l’esistenza del fenomeno e aprono interessanti prospettive per la sua definizione.*

Sono trascorsi molti anni, più di venti, dall’annuncio da parte dei due elettrochimici dell’Università dell’Utah, Martin Fleischmann e Stanley Pons, riguardante la produzione di eccesso di potenza mediante proce-

dimento elettrochimico, con il sistema palladio-deuterio. Inizialmente il fenomeno fu considerato un processo di fusione nucleare a bassa energia tra nuclei di deuterio, nel reticolo del palladio, senza emissione di radiazioni (fusione fredda). Nel seguito, il campo di ricerca è stato rinominato “studio dei fenomeni nucleari a bassa energia nella materia condensata” ed il fenomeno della produzione di eccesso di potenza nel sistema palladio deuterio è stato definito Effetto Fleischmann e Pons (EFP).

Il lavoro di studio e di ricerca condotto fino ad ora in questo settore, ha consentito da un lato di identificare le linee di attività che hanno prodotto i risultati più consistenti e più interessanti dal punto di vista scientifico, dall’altro di scartare quelle linee di ricerca che hanno fornito risultati non affidabili dal punto di vista statistico e/o non validati da attendibili processi di revisione scientifica da parte di accreditati istituti di ricerca internazionali. Gli studi, sia teorici che sperimentali, condotti nel campo della scienza dei materiali hanno consentito di accrescere il controllo sul fenomeno e di creare le premesse per una sua completa comprensione.

Su questo specifico tema cresce l’attenzione a livello di Istituzioni: finanziamenti specifici sono stati stanziati in Italia dal Ministero per lo Sviluppo Economico (2006-2007). Anche negli Stati Uniti d’America vengono svolte attività di ricerca con fondi di Agenzie governative e con ampio spazio dedicato alla scienza

■ Vittorio Violante, Emanuele Castagna,  
Stefano Lecci, Mirko Sansovini, Francesca Sarto

ENEA, Unità Tecnica Fusione

dei materiali. Gli incoraggianti risultati fino ad ora ottenuti in questo ambito creano una premessa solida affinché il percorso intrapreso secondo questo indirizzo di ricerca continui nel futuro, in un contesto costituito dai più prestigiosi Istituti di ricerca del mondo, con tutto il necessario supporto. È uno scenario nuovo, ben diverso da quello iniziale.

Tutto inizia con gran clamore nel 1989 quando, in seguito ad alcuni esperimenti dei chimici Stanley Pons e Martin Fleischmann, l'EFP fu prospettato come una fonte di energia semplice, economica, abbondante e sostenibile.

Purtroppo la maggior parte di coloro che provarono a replicare l'esperimento non vi riuscì ed in breve tempo si concluse che era stato preso un grossolano abbaglio, singolare esempio di una scienza spettacolo senza fondamento.

La materia fu messa sotto osservazione, anche da parte del Department of Energy (DOE) degli Stati Uniti, attraverso esperimenti di verifica; tuttavia, alcuni laboratori di vari paesi che provarono a ripetere l'esperimento, come detto poc'anzi, non riuscirono a replicare quello che i due chimici dichiaravano di aver ottenuto. Poiché la riproducibilità è un fattore essenziale per la definizione di un fenomeno scientifico, l'EFP fu in qualche modo considerato "cattiva scienza", venendo di fatto abbandonato dalla maggior parte di ricercatori e laboratori. Pochissimi continuarono ad effettuare ricerche, consapevoli di mettere a rischio la propria reputazione scientifica.

L'Istituto californiano SRI International e la IMRA Japan osservarono che si trattava di un fenomeno "a soglia", vale a dire che l'eccesso di potenza si innesca solo se si raggiunge un livello di concentrazione di deuterio (ovvero di quantità di atomi di deuterio) all'interno del reticolo di palladio non inferiore ad un certo valore (circa 0.9 in frazione atomica).

Partendo da questa osservazione, buona parte dell'attività scientifica svolta in ENEA è stata rivolta a cercare di comprendere come mai, a parità di condizioni di lavoro, un materiale come il palladio, apparentemente sempre uguale, talvolta assorbe più idrogeno e a volte ne assorbe di meno. Questo studio è durato diversi anni e alla fine, identificati alcuni aspetti termodinamici e di cinetica diffusionale, l'ENEA ha brevettato

una tipologia di questo metallo, in grado di garantire un elevato assorbimento di deuterio e un processo per realizzarlo. Tale materiale consente di raggiungere in modo affidabile la soglia di concentrazione necessaria all'innescarsi del fenomeno.

In questo modo, in ENEA, si è riusciti a creare, in sistemi elettrolitici del tipo deuterio-palladio, una affidabile riproducibilità per quanto concerne il raggiungimento della soglia critica di caricamento. Il materiale prodotto in ENEA è stato fornito anche ad altri gruppi ricerca, in modo da mettere altri laboratori in condizioni tali da poter osservare il fenomeno di eccesso di potenza con una maggiore probabilità di successo. Certo, non è ancora una vera e propria riproducibilità controllata: ad esempio si lavora ancora sul controllo dello start-up del fenomeno, che a tutt'oggi non si è in grado di far partire a comando. Sono stati però creati i presupposti affinché, entro un determinato tempo, il fenomeno si manifesti con una certa probabilità. Si tratta insomma di un'importante situazione di miglioramento e "trasferimento" della riproducibilità, totalmente assente all'inizio della ricerca nel 1989.

A cambiare le carte in tavola è stato l'evento scientifico dell'agosto 2003, la Conferenza internazionale sulla *Condensed Matter Nuclear Science* tenutasi a Boston. Durante il convegno alcuni Istituti, tra cui l'ENEA, presentarono risultati positivi ottenuti proprio con il materiale messo a punto presso il Centro ENEA di Frascati. Questa evidente condizione di "riproducibilità trasferita" indusse alcuni accademici americani a sottoporre nuovamente la questione al DOE, affinché svolgesse nuove verifiche. Di fatto fu effettuata un'ampia analisi dei dati disponibili in letteratura, in seguito alla quale fu proposto un confronto dal vivo con alcuni esperti. Confronto che si è tenuto nell'agosto 2004 a Washington, dove 5 scienziati americani e uno degli autori (Vittorio Violante) presentarono ad una commissione di qualificati *referee* le ricerche effettuate e i risultati ottenuti. Dopo alcuni mesi di valutazione, il DOE emise il verdetto: circa la metà dei *referee* riteneva che il fenomeno era da considerarsi un effetto reale, non frutto di fantasia o di cattive misure, e che la materia meritava di essere studiata ne più ne

meno come altre materie scientifiche. Inoltre nel documento conclusivo del DOE si sostiene che uno dei campi nei quali occorre concentrare gli studi è proprio la scienza dei materiali.

In sostanza si prese atto del fatto che la situazione era diversa da quella iniziale del 1989 e che il lavoro fatto dai vari laboratori di ricerca impegnati nel campo, come quello dell'ENEA, aveva cambiato i termini della questione.

L'ENEA, grazie al lavoro svolto nel campo della scienza dei materiali, ha avuto un ruolo fondamentale in quanto non solo ha ottenuto risultati ragionevolmente riproducibili e con segnali inoppugnabili, ma ha contribuito utilmente affinché anche altri Istituti ottenessero risultati simili.

Sulla base della scienza nota e in base alle misurazioni calorimetriche è difficile spiegare i fenomeni osservati come effetti chimici. Una misura calorimetrica consiste nel bilancio tra la potenza che viene immessa dall'esterno nel sistema e quella che il sistema emette. Quando negli esperimenti si manifesta l'eccesso di potenza (potenza in uscita maggiore di quella in ingresso), il guadagno di energia che ne deriva è tale che se fosse redistribuito su tutte le particelle presenti nel sistema dell'elettrodo (atomi di metallo più atomi di deuterio) darebbe luogo ad una quantità di energia per atomo da 10 a 100 volte maggiore della massima energia associabile ad un legame chimico. Se si accetta l'idea che la natura del fenomeno è chimica dovremmo sostenere che negli elettrodi hanno luogo reazioni ottenute con elementi che hanno legami chimici da decine o centinaia di elettronvolt al momento non noti; si tratta quindi di fenomeni di altra natura che, sulla base delle nostre conoscenze, possono solo essere di natura nucleare. Occorre inoltre sottolineare che, con riferimento al palladio, gli eccessi di potenza si ottengono solo con il deuterio e non con l'idrogeno; altro indizio, questo, che identifica il fenomeno di natura nucleare associabile ad un processo di fusione che, nella materia condensata, procede con modalità diverse rispetto a quanto avviene nei plasmi.

Nel documento finale del DOE viene esplicitamente detto che un altro settore in cui è opportuno concentrare l'attività di ricerca è proprio quello della ricerca

delle ceneri nucleari. Si pensa così che il processo possa essere riconducibile ad una fusione tra nuclei di deuterio con produzione di calore ed elio, senza emissione di radiazioni.

Dopo l'incontro con il DOE, negli USA, ha avuto inizio un processo di revisione articolato in due fasi. La prima, conclusasi con successo, si basava sulla replica della produzione di eccesso di potenza, con eccessi non inferiori al 100% utilizzando elettrodi prodotti in ENEA. Il Laboratorio americano che è stato incaricato di effettuare la prima fase di revisione è stato l'istituto californiano SRI. La seconda fase, in via di completamento, è stata articolata coinvolgendo anche altre prestigiose Istituzioni scientifiche statunitensi e l'ENEA.

Un progetto, anch'esso, rivolto a verificare l'esistenza del fenomeno mediante l'ottenimento di risultati con un elevato rapporto segnale/rumore e non ascrivibili ad incertezze di misura fu svolto, dall'ENEA, con il supporto del Ministero della Sviluppo Economico, contemporaneamente alla prima fase del programma USA.

Il Progetto, denominato "Generazione di Eccesso di Potenza in Metalli Deuterati" si concluse nel biennio 2006-2007 con il conseguimento di tutti gli obiettivi previsti e con il raggiungimento di una produzione di potenza in eccesso fino al 500%.

Il laboratorio ENEA che svolge studi sul tema, presso il centro di Frascati, è considerato, in questo campo, un centro di eccellenza a livello internazionale.

Nel 2009 l'ENEA organizzò la quindicesima edizione dell'*International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*.

Occorre sottolineare che, allo stato, si tratta comunque di ricerca fondamentale e non c'è davvero la possibilità di esprimersi né su ipotetiche applicazioni né sulla possibilità di studi di natura tecnologica senza aver prima definito la fisica del sistema. Non sappiamo ancora se potranno esserci applicazioni di qualche genere, ma è già una cosa molto importante avere la certezza dell'esistenza di un fenomeno e poter dire che si lavora per definirlo.

## RINNOVABILI

Spesso si confonde il fabbisogno di energia con il fabbisogno di energia elettrica. E i maggiori consumi di energia non sono quelli elettrici, ma quelli termici. L'importante ruolo delle rinnovabili negli usi termici è qui di seguito evidenziato

## Energia termica dalle rinnovabili: una fonte sottovalutata

■ Considerazioni di *Andrea Molocchi*

Il settore delle “rinnovabili termiche” (ossia -più precisamente- delle tecnologie *per il riscaldamento e il raffrescamento alimentate con fonti rinnovabili*), istituito dalla Direttiva 2009/28/CE, recepita in Italia col recente Dlgs n.28/2011, è ancora poco noto all'opinione pubblica ma, secondo i Piani del Governo, dovrà contribuire con 10,5 Mtep di energia finale all'obiettivo nazionale di energia da rinnovabili al 2020 (circa il 44% dell'obiettivo complessivo). Dopo la prima Conferenza del 14 aprile 2010, organizzata dagli Amici della Terra in vista della pubblicazione del Piano d'azione nazionale, la Conferenza di quest'anno, tenutasi a Roma il 19 e 20 aprile scorso ed organizzata in collaborazione con Coldiretti, FIRE, REF e AIEL, ha riproposto all'attenzione del pubblico il tema delle rinnovabili termiche in un momento cruciale del dibattito politico: quello di impostazione dei decreti attuativi che dovranno definire il nuovo quadro incentivante per le varie tipologie di rinnovabili, ma non solo: anche per gli interventi di incremento dell'efficienza energetica. L'iniziativa degli Amici della Terra sulle rinnovabili termiche costituisce, insieme alla

Conferenza nazionale sull'efficienza energetica (terza edizione, prevista il 29-30 novembre 2011), uno degli eventi di punta di “**Efficienza Italia**”, la campagna dell'associazione ambientalista sull'efficienza energetica. Obiettivo della Campagna: sensibilizzare il pubblico, gli operatori e la politica, sull'importanza delle politiche e misure di efficienza energetica. Principali finalità: prevenire e limitare gli impatti ambientali dell'energia, ridurre la dipendenza energetica dall'estero e contribuire ad un futuro di sviluppo durevole e sostenibile per l'economia italiana.

Dalla Conferenza di aprile, alla quale -fra gli altri- ha partecipato anche l'ENEA con due interventi (dell'ing. Valentini, con un bilancio sul meccanismo delle detrazioni fiscali del 55%, e dell'ing. Lelli, Commissario ENEA, nella sessione conclusiva della Conferenza), è emersa innanzitutto la straordinaria ricchezza tecnologica e applicativa delle rinnovabili termiche. Nella prima giornata del convegno sono stati presentati oltre 50 casi studio (scaricabili gratuitamente dal sito [www.amicidellaterra.it](http://www.amicidellaterra.it)) che vanno dal solare termico, alle diverse tipologie di pompe di calore, agli impianti di cogenerazione e caldaie che utilizzano prodotti come il cippato, il pellet, il biogas o i biocombustibili liquidi, ottenuti dalle diverse filiere di sfruttamento delle biomasse residuali.

■ **Andrea Molocchi**

*Amici della Terra Italia Onlus, Uffici Studi*

La Conferenza ha inoltre consentito di fare il punto sui dati del settore delle rinnovabili termiche, cosa non facile perché i dati di apporto energetico al momento disponibili si basano su studi e stime. In attesa che il sistema statistico delle fonti rinnovabili gestito dal GSE sia esteso anche a quelle termiche, i dati ufficiali, cioè quelli riportati dal Piano d'azione nazionale rinnovabili del 2010, indicano consumi di energia *termica* prodotta nel 2009 da fonti rinnovabili per 3,4 Mtep, con un contributo delle rinnovabili termiche pari al 34% del totale delle rinnovabili nel medesimo anno (9,8 Mtep, di cui 5,4 Mtep sotto forma di elettricità da rinnovabili e 1 Mtep di biocarburanti per i trasporti). La FIRE, così come altre organizzazioni, ritiene che il dato del PAN per le rinnovabili termiche sia sottostimato per almeno 5 Mtep (a causa dell'autoconsumo di legna da ardere) e che l'Italia dovrà necessariamente correggere questa sottostima nei prossimi anni, così come hanno già fatto Germania e Francia. Tenendo conto della mancata contabilizzazione della legna per autoconsumo e di un incremento di 0,5 Mtep fra il 2009 e il 2010, la correzione di FIRE dei consumi delle rinnovabili termiche nel 2010 porta a 9,5 Mtep, di cui 7,9 Mtep per le biomasse, 1,3 Mtep per le pompe di calore, 0,23 Mtep per la geotermia e 0,11 Mtep per il solare termico. Per quanto riguarda il potenziale di ulteriore sviluppo del settore, esso sembra notevole: in base alle valutazioni delle principali associazioni delle rinnovabili termiche intervenute alla Conferenza (Coldiretti, Coaer, Assolterm, UGI, Fiper), il potenziale complessivo al 2020 per le rinnovabili termiche ammonterebbe a ben 19,6 Mtep, pari al 91% dell'obiettivo nazionale di produzione interna da fonti rinnovabili (21,5 Mtep). L'appello al governo emerso dalla Conferenza è che questo potenziale potrebbe essere realizzato in maniera economicamente efficiente a patto di un impegno costante nell'implementazione della legislazione attuativa, accompagnato da un maggiore impegno nella diffusione dell'informazione tecnico-scientifica e nella ricerca tecnologica.

## CONTO ENERGIA

Sono cambiate le disposizioni normative in materia di incentivi allo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili. Qui di seguito le principali novità per gli impianti solari fotovoltaici

## Le principali novità del quarto conto energia

■ *Andrea Fidanza, Giorgio Graditi*

Il 12 maggio scorso è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il quarto conto energia (DM 5 maggio 2011) che ridefinisce, a meno di sei mesi di distanza dall'applicazione del suo predecessore, il meccanismo d'incentivazione dell'energia elettrica generata da impianti solari fotovoltaici e a concentrazione. Il nuovo conto energia fa seguito a quanto stabilito dall'articolo 25 del Dlgs n. 28 del 3 marzo 2011 e *"si applica agli impianti fotovoltaici che entrano in esercizio in data successiva al 31 maggio 2011 e fino al 31 dicembre 2016, per un obiettivo indicativo di potenza installata a livello nazionale di circa 23.000 MW, corrispondente ad un costo indicativo cumulato annuo degli incentivi stimabile tra 6 e 7 miliardi di euro"* (art.1).

Una delle novità del decreto riguarda la distinzione effettuata tra impianti solari fotovoltaici "piccoli" e "grandi" (titolo II), che riconduce al primo gruppo gli impianti di potenza non superiore a 1 MW installati su edifici, gli altri impianti di potenza al di sotto dei 200 kW operanti in regime di scambio sul posto e gli impianti di qualunque taglia installati su edifici e aree della Pubblica Amministrazione. Il secondo gruppo, invece, comprende tutti gli impianti che non appartengono al precedente.

Un secondo punto di grande interesse del quarto conto energia è l'eliminazione del limite massimo di potenza incentivabile e l'introduzione, al suo posto, di tetti di spesa semestrali. Fino al 2012 tali limiti interesseranno solamente i grandi impianti, mentre dal 2013 anche quelli piccoli. Inoltre, per i grandi impianti entrati in esercizio successivamente al 31 agosto 2011, l'accesso agli incentivi sarà riconosciuto solo previa iscrizione al registro informatico del GSE.

Da giugno a dicembre 2011 le tariffe incentivanti subiranno un decalage progressivo mese per mese, e dal 2012 fino al termine del nuovo conto energia la riduzione avverrà, invece, su base semestrale (art.4). In particolare, dal primo gennaio 2013 il meccanismo d'incentivazione diventerà molto simile al modello tedesco. Si passerà, infatti, da una tariffa di tipo *feed-in premium* a una tariffa onnicomprensiva e verrà introdotto un sistema di regolazione automatica del livello degli incentivi basato su obiettivi indicativi di progressione temporale della potenza installata in funzione delle previsioni annuali di spesa. In altri termini, il superamento dei costi indicativi in un dato semestre comporterà nel semestre successivo un'ulteriore riduzione delle tariffe che sarà direttamente proporzionale al differenziale di costo (allegato 5). Inoltre, nei casi in cui il diritto a una determinata tariffa incentivante venisse perso a causa di ritardi imputabili al gestore di rete nella realizzazione e attivazione della

■ **Andrea Fidanza**

ENEA, Ufficio Studi

■ **Giorgio Graditi**

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici

connessione, è prevista l'erogazione di un indennizzo corrispondente sostanzialmente alla differenza tra la nuova tariffa, più bassa, e quella persa, più alta (art. 7). Tuttavia, il quarto conto energia non definisce un quadro regolatorio "stringente" per l'allaccio alla rete degli impianti completati e questo aspetto potrebbe, nonostante l'indennizzo previsto, sfavorire comunque gli investitori ai quali sarà erogata una tariffa inferiore nei venti anni successivi. Per quanto attiene, invece, alle altre tipologie di impianti fotovoltaici, ossia quelli integrati con caratteristiche innovative (titolo III) e quelli a concentrazione (titolo IV), il decreto stabilisce, a partire dal primo giugno 2011, specifiche tariffe semestrali differenziate in base a tre classi di potenza.

Il nuovo decreto prevede che gli impianti che entreranno in esercizio dal 1 gennaio 2013 dovranno utilizzare inverter in grado di fornire servizi di rete avanzati, quali: contribuire alla regolazione della tensione mediante l'erogazione o l'assorbimento di potenza reattiva, consentire la disconnessione dalla rete a seguito di un comando da remoto e mantenere insensi-

bilità a rapidi abbassamenti di tensione. Questa misura consentirebbe di allineare il *grid code* nazionale per la connessione degli impianti fotovoltaici alla rete elettrica a quanto già in essere in altri paesi, quali: Germania, Giappone, Stati Uniti.

Un ulteriore elemento di novità del IV conto energia è rappresentato dall'introduzione del collaudo energetico dell'impianto fotovoltaico, azione tesa a definire dei valori minimi di garanzia delle prestazioni energetiche (rapporto tra energia prodotta ed energia producibile lato corrente alternata) degli impianti.

Un'altra innovazione introdotta dal recente decreto è l'obbligo di adesione da parte del produttore dei moduli a un sistema o consorzio europeo per il riciclo al termine della loro vita utile (art. 11). Ad oggi, visto il numero limitato di installazioni fotovoltaiche dismesse, la questione dello smaltimento e riciclo dei moduli è ancora poco considerata, ma diventerebbe in futuro un serio problema senza tale obbligo, dato l'impressionante ritmo di crescita delle installazioni fotovoltaiche negli ultimi anni, sia in Europa che in Italia. Tra l'altro, l'industria europea ha già mosso i primi passi



in questa direzione costituendo nel 2007 PV CYCLE<sup>1</sup>, un consorzio industriale ad adesione volontaria per lo smaltimento dei moduli obsoleti.

Il decreto, infine, prevede delle premialità aggiuntive per *specifiche tipologie e applicazioni di impianti fotovoltaici* (art. 14). Tra queste un incremento di 0,05 €/kWh della tariffa per gli impianti realizzati su edifici destinati alla sostituzione di coperture in amianto e un incremento del 10% della tariffa per gli impianti il cui costo d'investimento sia per almeno il 60% riconducibile a una produzione realizzata nell'Unione Europea. Quest'ultimo punto riveste particolare importanza perché costituisce un primo passo verso lo sviluppo di una filiera industriale nazionale che sino ad oggi ha tardato a svilupparsi. Se da un lato, infatti, il modello tedesco è stato preso a riferimento per l'incentivazione della produzione di energia da rinnovabili, altrettanto non è stato fatto relativamente all'incentivazione dell'offerta tecnologica e al rafforzamento della competitività del comparto manifatturiero nazionale. Ad oggi, infatti, nonostante l'industria italiana cominci a dare i primi segnali di ripresa, è evidente ancora una tendenza all'importazione di prodotti per le rinnovabili, soprattutto nel settore fotovoltaico.

Gli incentivi all'energia rinnovabile costituiscono lo strumento senza il quale, allo stato attuale delle tecnologie, non sarebbe possibile garantire la crescita di questi settori. Ciò nonostante si è molto discusso ultimamente riguardo all'impatto economico che questi determinano sulle bollette dei consumatori, in particolare nel caso del conto energia. L'AEEG stima che

nel 2010 il costo del fotovoltaico per i consumatori finali ammonti ad oltre 800 milioni di €, corrispondente a quasi un quarto dei costi totali d'incentivazione delle rinnovabili<sup>2</sup>. L'elevata generosità degli incentivi italiani alla produzione fotovoltaica è evidente, lo dimostra la straordinaria crescita in poco tempo degli impianti in esercizio, arrivati a fine giugno 2011 a quasi 7 GW di potenza totale installata<sup>3</sup>. Tuttavia, il peso dell'incentivazione andrebbe comunque apprezzato verificando anche l'eventuale effetto calmierante della produzione di energia elettrica da rinnovabili sul prezzo dell'energia<sup>4</sup>. Sembrerebbe infatti che l'immissione di energia in rete, in particolare durante le ore di picco della domanda, a un costo marginale particolarmente basso, consenta di ridurre il prezzo dell'elettricità sul mercato, facendo scendere automaticamente anche la componente energia pagata dai consumatori finali<sup>5</sup>. Entro pochi anni, comunque, la necessità di incentivare la produzione fotovoltaica dovrebbe venir meno visto che, stando anche a quanto dichiarato nel testo del decreto, la tecnologia dovrebbe raggiungere l'autosufficienza economica, ossia la *grid-parity*, e pertanto il quarto conto energia dovrebbe anche essere l'ultimo.

## Note

- 1 [www.pvcycle.org](http://www.pvcycle.org)
- 2 Relazione del 03.02.2011 - Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas.
- 3 Contatore fotovoltaico al 27.06.2011 - Gestore Servizi Energetici.
- 4 Interactions of Policies for Renewable Energy and Climate. International Energy Agency, 2011.
- 5 L'impatto della produzione fotovoltaica sul prezzo all'ingrosso dell'elettricità. ASPO Italia, 2011.



# Le possibilità di utilizzo della risorsa geotermica a bassa e media entalpia per la sostenibilità della produzione energetica

Le risorse geotermiche sono particolarmente abbondanti, ampiamente diffuse e accessibili e costituiscono un'altra fonte alternativa ai combustibili fossili, per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera e mitigare i cambiamenti climatici

■ Francesco Zarlenga

## INTRODUZIONE

Nell'immaginario collettivo la parola "geotermia" evoca inevitabilmente i sistemi geotermici tipo Lardarello (Desio, 1989; Funicello, 1986; Grant et al., 1982; Hochstein, 1990), tuttavia un sistema geotermico non sempre è utile per la produzione di energia elettrica. Per esserlo, infatti, deve presentare caratteristiche idrogeologiche e termiche che assicurino fluidi caldi utilizzabili industrialmente; solo in tal caso si parla di campo geotermico. Tuttavia se per la produzione di energia elettrica sono necessarie precise e molto rare condizioni geologiche e idrogeologiche, le moderne tecnologie sono oggi in grado di sfruttare anche il semplice calore geotermico che s'incontra dai 15-20 metri di profondità, una volta superata la zona di aereazione, che risente delle temperature al suolo. Allo stesso modo, la tecnologia consente di utilizzare in campo industriale e agricolo o, comunque, a scopi produttivi, i fluidi a bassa e media entalpia e pertanto di introdurre risparmio energetico. In questa breve sintesi saranno focalizzati solo alcuni esempi, sia perché rivestono un forte interesse industriale (pompe di calore), sia per-

ché sono prodotti tipicamente nazionali (teleriscaldamento e usi termali della risorsa). Da un punto di vista generale, val la pena ricordare che le risorse geotermiche sono suddivise schematicamente in (Muffler & White, 1972; Hickel, 1972; Barbier & Santoprete, 1993):

- 1) Sistemi idrotermali a vapore dominante: presentano il maggior contenuto energetico, contenendo sia acqua sia vapore, con il secondo nettamente dominante, e sono quelli migliori per la produzione di energia elettrica.
- 2) Sistemi idrotermali ad acqua dominante: producono acqua nella fase liquida, o un misto di acqua e vapore, e sono i più diffusi nel mondo. Riguardo alle temperature delle acque, essi sono classificati in: sistemi ad alta temperatura ( $T > 150$  °C); sistemi a media temperatura ( $100$  °C  $< T < 150$  °C); sistemi a bassa temperatura ( $T < 100$  °C).
- 3) Sistemi a rocce calde secche: si trovano in aree che presentano alte temperature e bassa permeabilità e possono essere potenzialmente utilizzati per fini produttivi (Bowen, 1989); tuttavia sono ancora in corso studi su questa materia (Armstead, 1977; Bowen, 1989).
- 4) Sabbie geopressurizzate: rappresentano una risorsa geotermica poco usuale, essendo una forma particolare di acquifero sedimentario dove i fluidi, presenti nei pori, sono soggetti ad alte pressioni.

■ Francesco Zarlenga

ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

Infine, riguardo al loro contenuto energetico, i fluidi geotermici sono classificati in:

- fluidi ad alta entalpia: 630 Kcal/kg vapore secco;
- fluidi a media entalpia: 100 H 670 Kcal/kg (misto di acqua e vapore con un 30% di vapore);
- fluidi a bassa entalpia: 100 Kcal/kg (acque a  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

### L'utilizzo non elettrico della risorsa a bassa e media entalpia

L'utilizzo di risorse geotermiche a bassa entalpia è da ritenersi vantaggioso, poiché tali risorse sono particolarmente abbondanti, ampiamente diffuse e facilmente accessibili. In molti casi, infatti, non è necessaria la perforazione di pozzi, poiché possono essere direttamente utilizzate sorgenti termali o, anche i reflui delle centrali geotermoelettriche. L'utilizzazione ottimale del calore geotermico avviene generalmente mediante sistemi a cascata, sfruttando il calore residuo in più impianti a decrescente richiesta termica. La risorsa geotermica a bassa e media entalpia può essere utilizzata nei seguenti settori, riguardo alle condizioni termiche, idriche e di sistema:

- per teleriscaldamento;
- per riscaldamento e/o raffrescamento domestico di piccole e medie utenze;
- per usi agricoli e zootecnici;
- per usi industriali;
- per uso termale.

Attualmente usi non elettrici dell'energia geotermica sono sviluppati in 58 paesi, mentre nel 1995 il loro numero era limitato a 28 e a 24 nel 1985. L'uso non elettrico più diffuso nel mondo, come potenza installata, è rappresentato dalle pompe di calore (34,80%), seguito dalla balneologia (26,20%), dal riscaldamento di ambienti (21,62%), dalle serre (8,22%), dall'acquacoltura (3,93%) e da impieghi industriali diversi (3,13%) (Lund e Freeston, 2001). In Europa, nel 2007, l'uso diretto di energia geotermica è stato di circa 160.000 TJ/anno, con una potenza termica installata pari a 14 GWth, ripartita tra le diverse applicazioni (tabella 1). In Europa è la Svezia che ha maggiormente sviluppato l'utilizzo delle pompe di calore con 3,8 GWth (con l'utilizzo di 36.000 TJ/a di energia geotermica), seguita

dall'Islanda con 1,8 GWth (24.500 TJ/a) e dalla Turchia con 1,4 GWth (24.000 TJ/a). L'Italia, al quarto posto su scala europea, ha un potenziale installato di 0,65 GWth, (8.000 TJ/a di calore geotermico impiegato per usi diretti). Il ricorso agli usi diretti della geotermia nel 2007 è all'incirca raddoppiato rispetto agli anni 1999-2000, caratterizzati da una potenza installata di appena 0,33 GWth ed un impiego energetico di 3.800 TJ/a. Non essendo disponibili dati aggiornati sulle singole applicazioni dirette del calore geotermico in Italia, i valori di riferimento attuali sono quelli relativi alla fine del 2006 (tabella 2).

**TABELLA 1** Potenzialità geotermica installata in Europa per diverse applicazioni a bassa entalpia

Applicazione	Potenza installata (%)
Riscaldamento e refrigerazione di ambienti	36,50
Balneologia e termalismo	35,50
Serricoltura	17,70
Acquacoltura	6,20
Impieghi industriali	0,80
Disidratazione di prodotti agricoli	0,10
Altri usi	3,20

Fonte: ENEA

**TABELLA 2** Usi diretti dell'energia geotermica in Italia stimati al 31 dicembre 2006

Utilizzo	Energia termica (%)
Balneologia e termalismo	38,0
Riscaldamento individuale di spazi e teleriscaldamento	24,3
Acquacoltura	21,0
Serricoltura	16,0
Processi industriali	0,7

Fonte: ENEA

### Gli usi industriali e agricoli

Per quanto riguarda gli usi industriali, esistono molteplici applicazioni soprattutto nei processi a caldo, quali evaporazione, essiccamento, distillazione, sterilizzazione, lavaggio, decongelamento ed estrazione di sostanze chimiche. Esempi specifici sono: la pastorizza-



zione del latte, la disidratazione di prodotti agricoli, il recupero di sostanze chimiche e della CO<sub>2</sub>, l'essiccazione della diatomite e la produzione di borati e acido borico. L'utilizzo in campo agricolo e zootecnico è praticato in circa 30 paesi e quello maggiormente in uso è il riscaldamento delle serre. Sono inoltre diffuse, anche nel nostro Paese, le applicazioni in acquacoltura, in zootecnia, sui suoli agrari e negli usi civili per lo scioglimento del ghiaccio e lo sbrinamento delle strade. Un utilizzo singolare, ma di notevole rilievo, è quello del riscaldamento di singoli edifici, soprattutto alberghi, molto diffuso in aree caratterizzate da importanti anomalie termiche, come ad esempio nell'area dei Colli Euganei e nell'isola di Ischia.

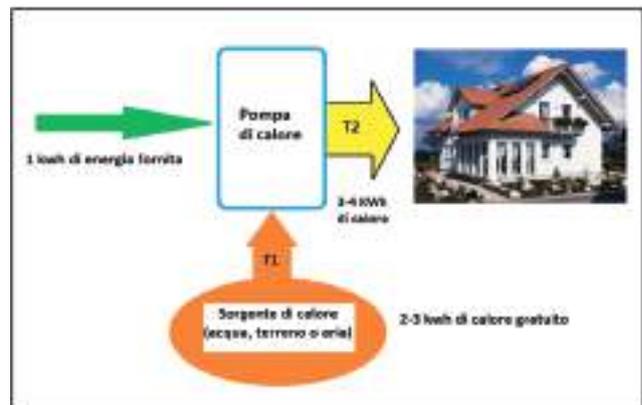
### Il teleriscaldamento

Da un punto di vista generale i sistemi di teleriscaldamento urbano sono composti da una rete di trasporto e da una centrale di produzione di calore, che può utilizzare anche tecnologie cogenerative e/o fonti rinnovabili, entrambi messi al servizio contemporaneamente di più edifici. Il calore, distribuito con i sistemi di teleriscaldamento urbano, deriva da impianti a produzione semplice (solo calore) e combinata (calore + energia elettrica). Alla prima tipologia d'impianti appartengono le caldaie per produzione di calore in forma di vapore, acqua calda e/o surriscaldata o olio diatermico. Gli impianti a produzione combinata, invece, sono gli impianti di cogenerazione che nella pratica attuale possono essere alimentati da un ciclo a vapore, a spillamento o a contropressione, con motori a combustione interna, con turbine a gas, a ciclo combinato. Nuove tecnologie sono in fase d'introduzione e comprendono anche l'utilizzo di celle a combustibile e microturbine. La rete di distribuzione è la parte più costosa dell'impianto di teleriscaldamento: si stima che il suo costo possa incidere sull'investimento complessivo per una quota compresa tra il 50% e l'80%. Il sistema di distribuzione può utilizzare diversi tipi di fluidi, anche se la tendenza in Italia è quella di utilizzare acqua calda (80-90 °C) o leggermente surriscaldata (110-120 °C). Sistemi di teleriscaldamento sono stati sviluppati a Ferrara (Schema 1), nell'area geotermica toscana (Castelnuovo V.C., Larderello, Monterotondo

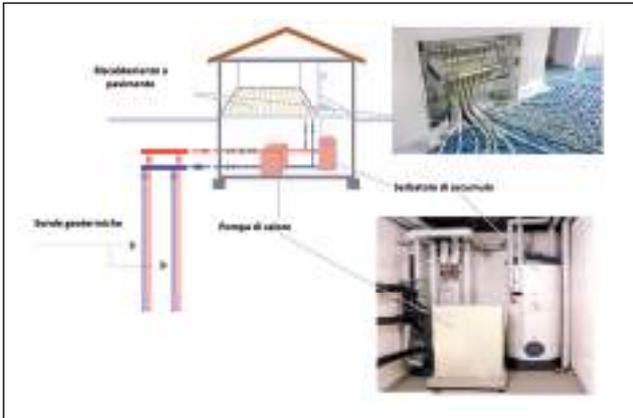
Marittimo, Pomarance) e a Bagno di Romagna. Il riscaldamento di singoli edifici, soprattutto alberghi, è diffuso nell'area dei Colli Euganei (Abano Terme, Battaglia Terme, Galzignano, Montegrotto) e nell'Isola d'Ischia. Nelle aree termali (Abano Terme, Ischia, Montecatini Terme, Saturnia) l'utilizzo predominante delle acque calde geotermiche è il riscaldamento di stabilimenti e piscine.

### Il riscaldamento e/o raffrescamento domestico di piccole e medie utenze e le pompe di calore

Il sottosuolo è un immenso serbatoio termico dal quale estrarre calore d'inverno, e al quale cedere calore d'estate. Tale scambio termico è possibile mediante le pompe di calore abbinata a sonde geotermiche verticali, che assicurano un elevato grado di rendimento durante tutto l'anno e che hanno con un fabbisogno di energia elettrica assai contenuto rispetto alle prestazioni. Gli impianti di climatizzazione a sonde geotermiche verticali sono integrabili con qualsiasi fonte energetica rinnovabile; è possibile alimentare le pompe di calore geotermiche con pannelli fotovoltaici o con microturbine idroelettriche; il surplus di calore prodotto dai pannelli solari termici durante la stagione estiva, può essere utilizzato per creare un accumulo termico nel sottosuolo da sfruttare durante la stagione invernale. Il termine pompe di calore geotermiche



**FIGURA 1** Schema esemplificato di funzionamento di una pompa di calore  
Fonte: ENEA



**FIGURA 2** Schema di funzionamento di una pompa di calore all'interno di un edificio

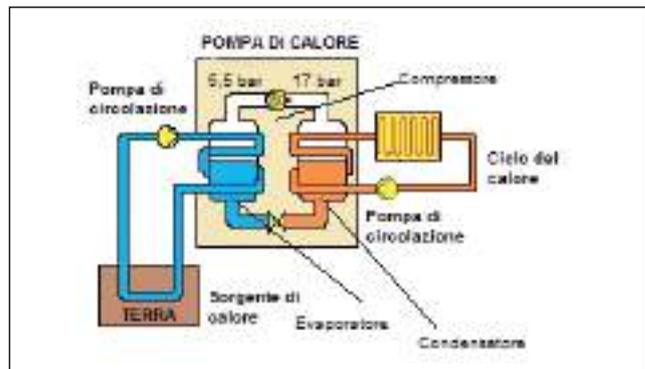
Fonte:

[http://www.google.it/search?q=heat+pump&hl=it&rlz=1R2GGLR\\_itIT356&biw=1259&bih=749&prmd=ivns&tbn=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=kBvmTZvkHc6WhQf0pPjHCg&sqi=2&ved=0CF0QsAQ](http://www.google.it/search?q=heat+pump&hl=it&rlz=1R2GGLR_itIT356&biw=1259&bih=749&prmd=ivns&tbn=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=kBvmTZvkHc6WhQf0pPjHCg&sqi=2&ved=0CF0QsAQ)

che (PCG) è utilizzato in maniera generale per indicare una varietà di sistemi che utilizzano come scambiatori di calore il terreno, l'acqua sotterranea o l'acqua superficiale, ma anche l'aria. I sistemi a pompa di calore sono costituiti da tre componenti: un sistema di scambio geotermico (terreno, acqua, aria); una pompa di calore; un sistema di riscaldamento/refrigerazione collocato all'interno di un edificio.

Lo scambio di calore con il terreno avviene tramite la sonda geotermica, installata con un sondaggio del diametro di pochi centimetri, perforato accanto all'edificio. Il numero delle sonde geotermiche e la profondità d'installazione (da 50 a 150 metri) variano in funzione dell'energia termica richiesta. Ogni sonda è formata da due moduli, ciascuno dei quali è costituito da una coppia di tubi in polietilene uniti a formare un circuito chiuso con un tubo di "andata" e uno di "ritorno". All'interno dei tubi, collegati in superficie ad un apposito collettore connesso alla pompa di calore, circola un fluido glicolato, costituito da una miscela di acqua e anticongelante non tossico. La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un corpo a temperatura più bassa a un corpo a temperatura più alta, che rappresenta un processo inverso rispetto a quanto avviene spontaneamente in natura, dovuto al fatto che viene fornita energia elettrica alla

macchina che "pompa calore". Il principio di funzionamento che sta alla base della pompa di calore è un ciclo termodinamico, chiamato ciclo frigorifero, o ciclo motore inverso, ed è analogo a quello di un comune frigorifero e, nel caso in cui la pompa produca sia riscaldamento, sia raffrescamento, si dice "reversibile". La pompa di calore è un circuito chiuso, costituito da un compressore, un condensatore, una valvola di espansione ed un evaporatore, percorso dal fluido frigorifero (come R-134a, R-32, R-125, R-507, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> ecc.) e, se la pompa di calore è a ciclo invertibile, è ulteriormente equipaggiata con una valvola di inversione del ciclo (figura 3). Durante l'inverno il terreno ha una temperatura generalmente superiore a quella esterna e il fluido glicolato scendendo in profondità, attraverso le sonde geotermiche, sottrae energia termica al terreno; ritornato in superficie ad una temperatura maggiore, provoca l'evaporazione del refrigerante che circola nel sistema della pompa di calore, che si espande ed assorbe calore dalla sorgente esterna. All'uscita dall'evaporatore il fluido allo stato gassoso è aspirato all'interno del compressore che, azionato da un motore elettrico, fornisce l'energia meccanica necessaria per comprimere il fluido, determinandone così un aumento di temperatura. Il fluido viene così a trovarsi nelle condizioni ottimali per passare attraverso il condensatore (scambiatore). In questa fase si ha un nuovo cambiamento di stato del fluido, che passa allo stato liquido, cedendo calore all'aria o all'acqua che sono utilizzate come fluido vettore per il riscaldamento degli ambienti o per la produ-



**FIGURA 3** Modalità di funzionamento di una pompa di calore

Fonte: [www.geoprodesign.com/media/asset/heat-pump.jpg](http://www.geoprodesign.com/media/asset/heat-pump.jpg), ridisegnata

zione di acqua sanitaria. Il ciclo termina con la sua ultima fase, allorché il liquido passa attraverso una valvola di espansione, trasformandosi parzialmente in vapore e raffreddandosi, riportandosi così alle condizioni iniziali del ciclo.

La tecnica di prelevare calore con una sonda geotermica è affidabile e fa ormai parte dei modi convenzionali di riscaldamento, specialmente in tutto il Nord Europa e negli Stati Uniti. A titolo di esempio, una pompa di calore collegata a una sonda geotermica inserita a circa 100 m di profondità estrae dal suolo una potenza geotermica sufficiente per riscaldare un'abitazione unifamiliare standard. In Europa da una decina di anni

il mercato delle pompe di calore ha registrato una rapida crescita, e nel 2009 il numero di pompe di calore geotermiche censite in Europa è stato di 903.012, con una potenza termica complessiva di 10.661,9 MWt (tabella 3).

Negli ultimi cinque anni, anche in Italia il mercato delle pompe di calore ha subito un indicativo incremento: nel 2009, infatti, la stima del numero di PCG installate è stata di 12.000 unità, per una potenza termica di 231 MWt. A livello europeo non esiste ancora una normativa unificata di riferimento per l'installazione di PCG, e solo nei paesi in cui il mercato delle PCG è consolidato da diversi anni (p.e. Germania, Svizzera,

	2008			2009		
	Numero	Capacità (MWth)	Produzione (ktep/ktoe)	Numero	Capacità (MWth)	Produzione (ktep/ktoe)
<b>Svezia</b>	320.687	2.909	722,2	348.231	3.134,1	778,1
<b>Germania</b>	150.263	1.652,9	183,6	179.634	2.250,5	249,9
<b>Francia</b>	124.181	1.366,0	125,9	139.688	1.536,6	141,6
<b>Finlandia</b>	46.412	857,9	199,9	52.551	971,4	226,4
<b>Austria</b>	48.428	542,4	60	55.246	618,8	68,4
<b>Olanda</b>	19.366	516	34,8	24.657	633	43,1
<b>Polonia</b>	10.000	133	16,3	11.000	203,1	24,9
<b>Irlanda</b>	10.123	167	19,9	10.909	173,9	20,7
<b>Italia</b>	7.500	150	14,9	12.000	231	23
<b>Repubblica Ceca</b>	9.168	147	23,3	11.127	174	28,7
<b>Regno Unito</b>	10.350	134,6	13,3	14.330	186,3	18,5
<b>Danimarca</b>	11.250	123,8	31,4	20.000	160	40,6
<b>Belgio</b>	9.500	114	10,5	11.836	142	13,1
<b>Estonia</b>	4.874	63	8,5	5.556	71,8	9,7
<b>Ungheria</b>	350	15	4,6	4.000	40	12,4
<b>Slovenia</b>	1.127	15,3	1,1	1.837	22,6	4,5
<b>Lituania</b>	200	4,3	0,9	-	34,5	7,3
<b>Romania</b>	40	2	0,3	-	5,5	0,7
<b>Grecia</b>	194	1,9	0,3	350	50	6,4
<b>Slovacchia</b>	8	1,4	0,3	16	1,6	0,3
<b>Bulgaria</b>	19	0,3	0,1	-	20,6	6,8
<b>Latvia</b>	10	0,2	0	20	0,3	0,1
<b>Portogallo</b>	1	0,2	0	24	0,3	0
<b>Totale UE</b>	<b>784.051</b>	<b>8.917,1</b>	<b>1.472,2</b>	<b>903.012</b>	<b>10.661,9</b>	<b>1.725,2</b>

**TABELLA 3** Numero e capacità installata delle pompe di calore nei paesi UE nel 2008 e nel 2009

Fonte: 10th EurObserv'ER Report, 2010

Svezia e Austria), l'installazione di questi sistemi è assoggettata a vincoli autorizzativi specifici. Inoltre, in questi paesi le autorità nazionali o regionali per la gestione e protezione delle risorse idriche superficiali e sotterranee hanno pubblicato linee guida e standard di riferimento. In Italia manca una normativa a livello nazionale, così come mancano standard e linee guida di riferimento per i progettisti e i costruttori. Un altro aspetto di particolare importanza per promuovere la diffusione di questi dispositivi è quello della riduzione dei costi iniziali d'installazione, che possono essere suddivisi in costi di terreno e d'impianto. I primi sono quelli correlati all'esplorazione di superficie, alla perforazione, agli studi correlati, mentre i secondi sono quelli relativi alla progettazione, ai materiali impiegati, ai collegamenti idraulici e all'installazione vera e propria. Il costo d'investimento per un sistema di PCG è normalmente più caro del 20-40% di un sistema convenzionale di climatizzazione; tuttavia, a fronte di costi d'installazione maggiori, i costi di gestione sono nettamente più bassi, rispetto a quelli tradizionali. Nel caso in cui un impianto a PCG sia utilizzato sia per il

riscaldamento, sia per il raffrescamento, il tempo di ritorno dell'investimento può variare da 3 a 5 anni; questo tempo si allunga fino a 10 anni se il sistema viene utilizzato unicamente in una delle due modalità. In Europa, il costo d'investimento specifico per un sistema a sonde verticali, tramite un pozzo di meno di 100 m di profondità, è stimato sui 3.000-6.000 euro per un abitato di 100 m<sup>2</sup>. Altri effetti economici correlati all'uso di questi sistemi sono i bassi costi di manutenzione e un'elevata durabilità: oltre 50 anni per le sonde verticali e di diversi anni a seconda del contesto per i pozzi ad acqua di falda. La vita media delle pompe di calore geotermiche è di circa 40.000 ore di funzionamento, corrispondente a circa 20 anni. Gli attuali costi italiani sono illustrati nella tabella 4, da cui si evince la differenza di costo tra pompa di calore, la caldaia a condensazione e la caldaia standard dell'ultima generazione. L'utilizzo di una pompa di calore costa quindi il 22% in meno della caldaia a condensazione e il 29 % in meno di una caldaia ad alto rendimento. In un'abitazione grande, o in una media isolata, il costo annuale stimato del riscaldamento potrebbe corri-

	Potenza resa	Potenza assorbita	Costo kW/h	Costo 1 ora funzione:	Costo totale
1. SISTEMA ELETTRICO: (a tariffa non agevolata, oltre i 3 kW Climatizzatore Classe Energetica "A" con efficienza ("COP") = 3,5 riferite a temperatura interna = 20°, temperatura esterna = 6°-7°, alla velocità massima (con velocità minima il rendimento diminuisce). Calcoli equiparati per una quantità di calore richiesta pari a 8.342 calorie (9.700 W)	9,7 MW= 8.342 Kcal/h	2,69 kW/h	0,15 €/h (escluse quote fisse, IVA ecc. Tariffa a 6kW)	3,3 x 0,15 = 0,404 €/h (8.342 Kcal/h rese)	Costo di 1.000 Kcal/h: 0,048 €/h +IVA 10%= € 0,053
2. SISTEMA METANO: (a tariffa mediata. Caldaie ultima generazione)	9.700 (7,5-25 Kcal/h) (rendimento 88 %)	Metano: 9,15 Kcal = 1mc (€/mc=0,5) Elettrica: 0,3 kW (€/Kwh 0,15)	Metano = 1,1 x 0,5 = 0,55 €/h Elettricità= 0,3 x 0,15 = 0,045 €/h	Totale = 0,045 + 0,55 = 0,595 €/h	Costo di 1.000 Kcal/h = 0,0613 €/h+IVA 20%= € 0,074
3. SISTEMA METANO: (a tariffa mediata. Caldaia a condensazione)	9.700 (7,5-25 Kcal/h) (rendimento 102%)	Metano: 9,5 Kcal = 1mc (€/mc=0,5) Potenza assorbita: Elettrica: 0,3 kW (€/kWh 0,15)	Elettricità= 0,3 x 0,15 = 0,045 €/h Metano = 1,0 x 0,5 = 0,51 €/h	0,045 + 0,5 = 0,555 €/h	Costo di 1.000 Kcal/h = 0,057 €/h +IVA 20% = 0,068

**TABELLA 4** Confronto tecnico-economico tra impianti di climatizzazione e impianti a metano in Italia  
Fonte: [http://www.risanamentoenergetico.com/pompa\\_di\\_calore.htm](http://www.risanamentoenergetico.com/pompa_di_calore.htm)

spondere a 795 euro (pompa di calore), a 1.020 euro (caldaia condensazione), a 1.110 euro (caldaia standard). In realtà il rendimento delle caldaie, anche a causa della manutenzione non ottimale o dell'usura, spesso non è ai livelli teorici qui considerati. Se poi si considera il costo di altri combustibili, più elevato rispetto al metano, la convenienza è ancora maggiore.

### Un esempio storico italiano: l'utilizzo della risorsa a scopo termale

L'Italia possiede un'industria balneologica particolarmente fiorente che si colloca al quarto posto nel mondo dopo Giappone, Cina e Germania, e vanta anche un'antichissima tradizione.

In Italia si contano 2.300 gruppi di sorgenti e pozzi idrotermali distribuiti in 326 Comuni, con 390 aziende termali, il cui giro d'affari raggiunge 2 miliardi di euro all'anno, con 65.000 addetti, di cui 50.000 nell'indotto (tabella 5).

La capacità termica complessiva disponibile per una  $T > 15\text{ °C}$  è di 376 MWt (di cui 251 nel distretto euganeo, 100 ad Ischia, e 25 altrove), pari al 4% della capacità termica totale di tutte le stazioni termali del mondo. Pertanto, l'energia complessiva sostituita è dell'ordine di 150.000 tep/anno.

Per poter utilizzare i fluidi a scopo termale è importante l'accertamento di alcune caratteristiche che rendono un'acqua termale realmente utilizzabile a fini industriali, ovvero la costanza nel tempo della portata e le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche. Le possibilità d'impiego in questo settore sono molteplici, spesso due o più contemporaneamente, a seconda delle indicazioni terapeutiche: balneofangoterapia, idropinoterapia, tecniche inalatorie, irrigazioni, ma anche altri impieghi. Fra questi l'imbottigliamento e la commercializzazione, ma grande interesse economico riveste attualmente l'utilizzo di estratti ad attività farmacologica, derivati dalla microflora vivente in simbiosi con i fanghi o le acque stesse da utilizzare nelle tecniche di fisiocinesiterapia.

Regione	Comune	T acque °C
Comprensorio euganeo	Abano, Battaglia, Baone, Galzignano, Montegrotto, e Teolo	58-87 °C (media 75 °C)
Piemonte:	Acqui Terme Vinadio Valdiero	84 °C 55 °C 63 °C
Lombardia:	Bormio Sirmione Bagni del Masino San Pellegrino	41 °C 69 °C 38 °C 26 °C
Liguria:	Pigna	28 °C
Trentino-Alto Adige:	Comano Terme	28 °C
Emilia-Romagna:	Bagno di Romagna Porretta Terme	42 °C 39 °C
Marche:	Acquasanta	39 °C
Toscana:	Bagni di Lucca Casciana Terme Chianciano Montecatini Terme + Monsummano Rapolano Terme San Casciano dei Bagni, San Giuliano Terme Saturnia	54 °C 43 °C 39 °C 36 °C 40 °C 42 °C 42 °C 37 °C
Lazio:	Stigliano Sujo + Castelforte Viterbo + Vico Tivoli	56 °C 65 °C 61 °C
Campania:	Agnano-Pozzuoli Contursi	100 °C 50 °C
Basilicata:	Latronico	22 °C
Puglia:	Santa Cesarea Terme	29-36 °C
Calabria:	Galatro + Rosarno Lamezia Terme Antonimina Terme Luigiane	39 °C 40 °C 34 °C 47 °C
Sicilia:	Sciacca Termini Imerese Calatafimi Ali Terme Castellammare del Golfo Milazzo	56 °C 48 °C 50 °C 34 °C 45 °C 34 °C
Sardegna:	Sardara Benetutti	68 °C 41 °C

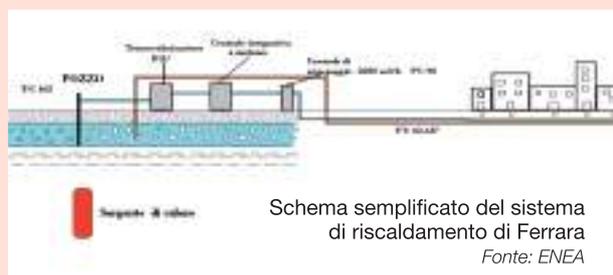
**TABELLA 5** I principali distretti termali italiani  
Fonte: Ministero dell'Industria, 1990

- [1] ARMSTEAD H.C.H. (1977) - *Geothermal Energy development*. Progr. in Energy and Combustion Science, 2, 181-238.
- [2] AUMENTO F. e ANTONELLI G. (1985) - *Generation of electrical energy from low temperature geothermal sources in rural areas*. 1st FAO/CNRE Technical Consultation on Geothermal Energy and Industrial Thermal Effluents, Rome, 1985, 7 pp.
- [3] AUTORI VARI (1977) - Atti del Convegno Geotermia e Regioni. Chianciano 14-16 aprile 1977.
- [4] BARBIER E. e FANELLI M. (1977) - *Non-electrical uses of geothermal energy*. Prog. Energy Combustion Sci., 3, 1977, 73-103.
- [5] BARBIER E. e SANTOPRETE G. (1993) - *L'Energia Geotermica. Una fonte di calore dall'interno della terra*. 171 pag. Giappicchelli Ed., Torino.
- [6] BEALL S.E. e SAMUELS G. (1971) - *The use of warm water for heating and cooling plant and animal enclosures*, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-TM-3381, 1971, 56 pp.
- [7] BENDERITTER Y. e CORMY G. (1990) - *Possible approach to geothermal research and relative costs*, in: Dickson M.H. and Fanelli M., eds., *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*, UNITAR, New York, 1990, pp. 59-69.
- [8] BOWEN R. (1989) - *Geothermal Resources*. 485 pag. Elsevier, London and New York.
- [9] BROWN K.L. (1995) - *Impact on the physical environment*, in: Brown, K.L., ed., *Environmental Aspects of Geothermal Development*, WGC'95 Pre-Congress Courses, Pisa, 1995, pp.39-55.
- [10] BULLARD E.C. (1965) - *Historical introduction to terrestrial heat flow*, in: Lee, W.H.K., ed. *Terrestrial Heat Flow*, Amer. Geophys. Un., Geophys. Mon. Ser., 8, 1965, pp.1-6.
- [11] BULLARD F.M. (1979) - *I Vulcani della Terra* (Italian translation from "Volcanoes from the Earth"), 636 pag., Newton Compton Ed., Roma.
- [12] CARELLA R. (2000) - *Usa energetica del calore termale in Italia*; Proceed. "Thermalism in the New Millennium", Roma.
- [13] CARELLA R. (2001) - *Health and Tourism with Geothermal Resources in Italy*; Proceed. I.S.S./International Geothermal Days, Bad Urach, Germany.
- [14] CARELLA R. e SOMMARUGA C. (2000) - *Spa and industrial uses of geothermal energy in Italy*; Proc. World Geoth. Congress (WGC 2000), Vol. 5, pp. 3391-3393; Kyushu-Tohoku, Japan.
- [15] CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1982) - *Manifestazioni idrotermali italiane*, CNR RF-13 App., Roma.
- [16] COMBS J. e MUFFLER L.P.J. (1973) - *Exploration for geothermal resources*, in: Kruger, P. and Otte, C., eds., *Geothermal Energy*, Stanford University Press, Stanford, 1973, pp.95-128.
- [17] DESIO A. (1989) - *Geologia applicata all'ingegneria*. 1193 pag., Ulrico Hoepli Ed.
- [18] 10th EurObserv'ER Report (2010) - *The State of Renewable Energies in Europe*, 203 pag, Paris.
- [19] ENTING, D.J., EASWARAN E. e McLARTY L. (1994) - *Small geothermal electric systems for remote powering*, U.S. DoE, Geothermal Division, Washington, D.C., 1994, 12 pp.
- [20] FOUILLAC C. e MICHARD G. (1981) - *Sodium-Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters*. Geothermics, 10, 55-70.
- [21] FOURNIER R.O. (1981) - *Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering*. In: "Geoth.Systems-Principles and case histories" (Ryback and Masplad Ed.), 109-143, Wiley Ed. N.Y.
- [22] FOURNIER R.O. e ROWE J.J. (1966) - *Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells*. Am.Journ.Sci., 264, 685-697.
- [23] FRIDLIFSSON I.B. (2001) - *Geothermal energy for the benefit of the people*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 5, 2001.,299-312.
- [24] HICKEL W.J. et al. (1972) - *Geothermal energy: A National proposal for geothermal resource research*. Fairbanks, Univ. of Alaska.
- [25] ENEA (2009) - *Dossier - Usi termici delle fonti rinnovabili*. Workshop, Usi termici delle fonti rinnovabili, 11 novembre 2009, Roma, 75 pp., ENEA Ed.
- [26] ENEA (2009) - *Rapporto energia e ambiente. Analisi e scenari 2009*. 137, pag., ENEA ed.
- [27] ENEA (2010) - *Ricerca e innovazione per un futuro low-carbon. Le fonti rinnovabili*. 241 pag., ENEA Ed.
- [28] Federterme (2001) - *Primo rapporto sul sistema termale in Italia*, Ed. Mercury.
- [29] FUNICIELLO R. (1986) - *La geotermia in Italia: situazione e prospettive dell'area toscano-laziale*. Energia e Innovazione, 1-2, 57-61.
- [30] <http://www.gruppoebp.it/wp/?cat=7&paged=4>
- [31] [http://www.risanamentoenergetico.com/pompa\\_di\\_calore.htm](http://www.risanamentoenergetico.com/pompa_di_calore.htm)
- [32] GARNISH J.D., ed. (1987) - *Proceedings of the First EEC/US Workshop on Geothermal Hot-Dry Rock Technology*, Geothermics 16, 1987, 323-461.
- [33] GISOTTI G. e ZARLENGA F. (2003) - *Geologia Ambientale. Principi e metodi*. 748 pag., Flaccovio Ed.
- [34] GRANT M., DONALDSON I.G. e BIXLEY P.F. (1982) - *Geothermal reservoir engineering*. 370 pag., Academic Press, New York.
- [35] GUDMUNDSSON J.S. (1988) - *The elements of direct uses*, Geothermics, 17, 1988, 119-136.
- [36] HOCHSTEIN M.P. (1990) - *Classification and assessment of Geothermal resources*. In: "Small geothermal resources. A guide to the development and utilization. Dickson & Fanelli, UNITAR/UNDP, Roma 1990, 31-59.
- [37] LINDAL B. (1975) - *Industrial and other applications of geothermal energy*. In Armstead Ed.: "Geothermal Energy". UNESCO, 61.
- [38] LUBIMOVA E.A. (1968) - *Thermal history of the Earth*, in: The Earth's Crust and Upper Mantle, Amer. Geophys.Un., Geophys. Mon. Ser., 13, 1968, pp.63-77.
- [39] LUMB J.T. (1981) - *Prospecting for geothermal resources*, in: Rybach, L. and Muffler, L.J.P., eds., *Geothermal Systems, Principles and Case Histories*, J. Wiley & Sons, New York, 1981, pp. 77-108.
- [40] LUND J. W. (1996) - *Lectures on Direct Utilization of Geothermal Energy*, U.N. University, Reykjavik, 1996, 124 pp.
- [41] LUND J.W. & FREESTON D. (2001) - *World-wide direct uses of geothermal energy 2000*, Geothermics 30, 2001, 29-68.
- [42] LUNIS B. e BRECKENRIDGE, R. (1991) - *Environmental considerations*, in: Lienau, P.J. and Lunis, B.C., eds., *Geothermal Direct Use, Engineering and Design Guidebook*, Geo-Heat Center, Klamath Falls, Oregon, 1991, pp.437-445.
- [43] MC KENZIE W.F. e TRUESDELL A.H. (1977) - *Geothermal reservoir temperatures estimated from the oxygen isotope composition of dissolved sulfate and water from hot springs and shallow drillholes*. Geothermics, 5, 51-61.
- [44] MINISTERO ITALIANO INDUSTRIA (1990) - *Inventario delle risorse geotermiche nazionali*; a cura di: ENEL/UNG, ENI/AGIP, CNR/IRIG, ed ENEA/PAS.
- [45] MOREY G.M., FOURNIER R.O. e ROWE J.J. (1962) - *The solubility of quartz in water in the temperature interval from 25 °C to 300 °C*. Geoch.Cosmoch. Acta, 26.
- [46] MUFFLER P. e CATALDI R. (1978) - *Methods for regional assessment of geothermal resources*. Geothermics, 7, 1978, 53-89.
- [47] MUFFLER L.J.P. e WHITE D.E. (1972) - *Geothermal Energy. Science Teacher*, 39, 413-452.
- [48] NICHOLSON K. (1993) - *Geothermal Fluids*, Springer Verlag, Berlin, 1993, XVIII-264 pp.
- [49] ORMAT (1989) - *Production of Electrical Energy from Low Enthalpy Geothermal Resources by Binary Power Plants*. UNITAR/UNDP Centre on Small Energy Resources, Rome, 1989, 104 pp.
- [50] POLLACK H.N., HURTER S.J. e JOHNSON J.R. (1993) - *Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set*, Rev. Geophys. 31, 1993, 267-280.
- [51] RAFFERTY K. (1997) - *An information survival kit for the prospective residential geothermal heat pump owner*, Bull. Geo-Heat Center , 18, 2, 1997, 1-11.
- [52] SOMMARUGA C. e VERDIANI G. (1995) - *Geotermia*. NIS Edit., Roma.
- [53] STACEY F.D. e LOPER D.E. (1988) - *Thermal history of the Earth: A corollary concerning non-linear mantle rheology*, Phys. Earth. Planet. Inter. 53, 1988, 167-174.
- [54] STEFANSSON V. (2000) - *The renewability of geothermal energy*. Proc. World Geothermal Energy, Japan, 2000.
- [55] WERES O. (1984) - *Environmental protection and the chemistry of geothermal fluids*, Lawrence Berkeley Lab., Calif. ,LBL 14403, 1984, 44 pp.
- [56] WHITE D.E. (1973) - *Characteristics of geothermal resources*, in: Kruger, P. and Otte, C., eds., *Geothermal Energy*, Stanford University Press, Stanford, 1973, pp. 69-94.
- [57] WILLARD S., BYRD W.N., CRITTENEN M., GIACOSIE R.V., PROVINCE S. e SACARTO D. (1979) - *Legal, institutional and environmental aspects*, in: ANDERSON, D.N. and LUND, J.W., eds., *Direct Utilization of Geothermal Energy. A Technical Handbook*, Geothermal Resources Council Spec.Rep., 7, 1979, pp.7.1-7.21.
- [58] WRIGHT P.M. (1998) - *The sustainability of production from geothermal resources*, Bull. Geo-Heat Center, 19, 2, 1998, 9-12.
- [59] [www.analistsgroup.it/certificazione](http://www.analistsgroup.it/certificazione).

## SCHEDA 1

## Un progetto italiano: il sistema energetico integrato e il Servizio di Teleriscaldamento a Ferrara

Il "Progetto Geotermia di Ferrara" nasce alla fine degli anni Ottanta con la realizzazione di un "Sistema Energetico Integrato" in grado di utilizzare una fonte geotermica di calore e fonti di recupero termico (il calore prodotto da un impianto di termodistruzione dei rifiuti urbani) unitamente ad un sistema tradizionale di produzione termica che impiega gas metano per coprire, quando necessario, particolari "punte" di carichi termici. Il sistema è composto da una sorgente geotermica rinnovabile; una sorgente rinnovabile costituita dal termovalorizzatore dei rifiuti solidi urbani; una sorgente tradizionale costituita da una centrale integrativa a metano; una centrale di pompaggio in cui confluiscono i tre vettori di energia sorgente e da cui si rilancia l'acqua verso la rete cittadina (fino a 2.250 m<sup>3</sup>/h); quattro serbatoi da accumulo da 1.000 m<sup>3</sup> presso la



centrale (due per l'acqua calda e due per l'acqua fredda) che non si limitano ad una semplice funzione di compenso energetico, ma sono stati concepiti come vero e proprio volume di espansione; una centrale termica ubicata presso l'Arcispedale S. Anna, realizzata per far fronte alle richieste termiche di punta e alle esigenze di bilanciamento idraulico della rete di distribuzione; ed infine la rete di distribuzione del teleriscaldamento, sviluppata prevalentemente "ad albero", che è estesa per gran parte nell'ambito urbano della città e comprende sottostazioni con relativi scambiatori posti negli edifici. La fonte geotermica, producendo una portata d'acqua pari a circa 400 m<sup>3</sup>/h, contribuisce in modo significativo, con una potenza di circa 14 MWt, alla potenza totale che può essere erogata attraverso la rete del Teleriscaldamento.

Complessivamente la rete di teleriscaldamento possiede le seguenti caratteristiche:

- Portata complessiva: 400 m<sup>3</sup>/h
- Temperatura fluido geotermico: 100-105 °C
- Temperatura fluido Teleriscaldamento in mandata: 90-95 °C
- Temperatura fluido Teleriscaldamento in ritorno: 60-65 °C
- Disponibilità di utilizzazione continua;
- Energia termica fornita: 77.490 MWh/anno (dato anno 2003)
- Lunghezza della rete (doppio tubo): circa 50 km;
- Numero delle "sottostazioni di utenza": 381;
- Volumetria erogata: circa 4.000.000 m<sup>3</sup>;
- Numero degli alloggi equivalenti: oltre 14.500;
- Potenza termica nominale di punta: circa 74 MWt;
- Rendimento della distribuzione: 85-90%.

## Geotermia prioritaria per ENEA

L'importanza che avrà la fonte geotermica in Italia, tenuto conto delle disponibilità esistenti in ambito nazionale, e in considerazione delle nuove e più ampie prospettive di sviluppo delineate dall'IEA (*International Energy Agency*), non è stata sottovalutata da ENEA, che ha aderito il 4 aprile scorso alla Piattaforma Tecnologica Italiana Energia Geotermica, piattaforma che rientra nell'ambito delle strategie di ricerca europee in campo energetico. Elementi chiave di questa piattaforma, a cui aderiscono altri Enti di ricerca ed Università, sono, da una parte, l'individuazione dei potenziali siti geotermici nazionali

con le loro caratteristiche geologiche, geofisiche e geochimiche e, dall'altra parte, lo sviluppo di tecnologie adeguate a ridurre l'impatto territoriale ed ambientale derivante dallo sfruttamento industriale della risorsa geotermica. L'ENEA è stata anche inserita come *associate* nell'ambito del JPGE (*Joint Programme on Geothermal Energy*) di EERA (*European Energy Research Alliance*), dove oltre a partecipare alle attività più strettamente scientifiche nel campo energetico-ambientale, potrà fornire il proprio supporto alla definizione del quadro normativo e delle linee guida tecniche per utilizzare la risorsa geotermica in condizioni di sicurezza e di protezione dell'ambiente.

(Massimo Angelone, Giovanni Bongiovanni)

## La road map dell'IEA per la geotermia

La *road map* dell'IEA per la geotermia riguarda sia l'utilizzo della risorsa ad alta entalpia, sia gli acquiferi profondi a bassa e media entalpia e sia le rocce calde.

La *road map* prevede quanto segue:

- Dal 2025 la generazione elettrica da geotermia potrà raggiungere 1.400 TWh/anno e rappresentare il 3,5% della produzione elettrica globale, consentendo un risparmio di circa 800 Mt/anno di emissioni di CO<sub>2</sub>.
- Il calore geotermico può contribuire per circa 5,8 EJ, (1.600 TWh termici/anno), pari a circa il 3,9% di produzione energetica dal calore.
- Fino al 2030 ci sarà una rapida espansione di produzione di elettricità e di calore da geotermia ad alta entalpia, ma limitata alle aree ove essa è presente. Si svilupperà anche l'utilizzo della bassa e media entalpia, sia come utilizzo diretto del calore che per la produzione di energia.
- Dal 2050 più della metà della crescita stimata deriverà dallo sfruttamento delle rocce calde e dal recupero dai sistemi geotermici esauriti (EGS): per tale motivo sarà necessario sviluppare ricerca, applicazioni e dimostrazione perché le pratiche di EGS siano commercialmente disponibili già dal 2030.
- È necessario avviare politiche di sviluppo, relative sia agli aspetti economici, legislativi e di mercato che indirizzino la ricerca verso il rinvenimento, la valutazione e l'ingegnerizzazione delle fonti geotermiche, con particolare riferimento all'uso del calore geotermico mediante tecnologie avanzate.
- Le autorità locali e i *policy makers* hanno bisogno di un quadro di riferimento sulle disponibilità delle risorse geotermiche e sulle sue possibili utilizzazioni, in modo particolare sul calore geotermico per le diverse applicazioni alle differenti temperature.
- Le priorità di R&S più importanti per la fonte geotermica consistono nell'accelerare la valutazione della risorsa, nello svi-

luppo di tecnologie per gli usi più competitivi e di tecnologie EGS, senza trascurare gli aspetti di sicurezza e la protezione della salute e dell'ambiente.

- È necessario, altresì, sviluppare nuove tecnologie per la ricerca *offshore*, sulle sabbie geopressurizzate e sulle risorse super critiche (fino ai magmi). Infine, dove è ragionevolmente ed economicamente possibile, co-produrre acqua calda dai sondaggi per olio e gas.

Azioni strategiche per i prossimi 10 anni:

- Definire obiettivi di medio termine per le tecnologie mature o che lo diverranno in seguito; definire obiettivi di lungo termine per le tecnologie avanzate in modo da accrescere la confidenza degli investitori e accelerare l'espansione dell'uso del calore e dell'energia geotermica.
- Introdurre, nel settore geotermico, incentivi economici diversi sia per l'uso del calore, sia per la produzione di energia in modo tale che le tecnologie raggiungano la piena competitività.
- Sviluppare le conoscenze anche mediante: *database* disponibili al pubblico, protocolli e strumenti per la valutazione delle risorse e la gestione delle riserve, in modo da favorire la diffusione delle esperienze e accelerare lo sviluppo.
- Introdurre normative e procedure che aiutino lo sviluppo della geotermia.
- Sostenere la ricerca, sviluppo e dimostrazione di punta attraverso la attuazione di 50 progetti pilota di EGS nei prossimi 10 anni.
- Espandere e diffondere le conoscenze riguardo alle tecnologie di EGS per aumentare la produzione, la sostenibilità della risorsa e per la protezione della salute e dell'ambiente.
- Aumentare gli sforzi delle organizzazioni, sia multilaterali che bilaterali, di cooperazione con i paesi in via di sviluppo per accelerare l'uso delle risorse geotermiche disponibili, superando le barriere economiche e non economiche.

(Francesco Zarlenga)



## De profundis per il Protocollo di Kyoto

Seppure alla Conferenza di Durban si riuscisse a sciogliere la matassa che avvolge i negoziati sul clima, un nuovo trattato sostitutivo del Protocollo di Kyoto potrebbe vedere la luce non prima del 2014. Troppo tardi, realisticamente, per cercare di mantenere il surriscaldamento climatico al di sotto dei 2 °C

■ *Alessandro Farruggia*

Il fallimento della Conferenza di Copenhagen del dicembre 2009 è stato, per molti versi, il tradimento della speranza comune di arrivare alla conclusione della *road map* di Bali. E cioè di arrivare a un nuovo trattato onnicomprensivo nel quale tutti i paesi si sarebbero impegnati, pur con impegni diversi e con responsabilità diverse, in un comune e consensuale sforzo di riduzione delle emissioni globali di gas serra, così da evitare che il surriscaldamento climatico del nostro pianeta superasse i 2 °C rispetto all'epoca pre-industriale.

La successiva Conferenza di Cancun del dicembre 2010 non ha fatto di meglio. Si è infatti riusciti a "internalizzare" nel processo quell'accordo voluto da Cina e Usa che a Copenaghen era rimasto fuori dal quadro negoziale, e si sono anche approvati importanti meccanismi di attuazione di un eventuale trattato, del quale però, così come a Copenhagen, non si è discusso. Così ora ci ritroviamo, praticamente pronti, con quasi tutti i pezzi necessari per costruire quell'accordo mondiale auspicato dalla *road map* di Bali, ma, purtroppo, manca un progetto comune su come costruirlo. Un autentico paradosso. Abbiamo i sanitari del bagno, il divano e lo schermo al plasma, ma manca la casa (e anche il progetto per costruirla).

Anche gli ultimi negoziati intersessionali (quello di

aprile e quello di giugno di quest'anno) hanno concentrato l'attenzione su molti dettagli importanti, ma pur sempre collaterali, perché continua a rimanere irrisolto il problema di quale trattato sostituirà il Protocollo di Kyoto, su quale tipo di impegni sarà costituito e con quali criteri tali impegni saranno suddivisi e, infine, se conterrà o meno obblighi legalmente vincolanti di breve e/o di lungo periodo. Manca cioè la sostanza. È quindi improbabile che alla prossima Conferenza di Durban in programma a dicembre si possa arrivare ad una reale conclusione della *road map* di Bali. E anche nel caso, puramente teorico, che tutti i problemi ora sul tavolo fossero come d'incanto risolti, sarebbe impossibile sostituire il Protocollo di Kyoto in scadenza con un nuovo trattato. Siamo infatti comunque fuori tempo massimo.

I tempi procedurali necessari per approvazioni, sottoscrizioni, ratifiche da parte dei parlamenti nazionali, deposito delle ratifiche alle Nazioni Unite e tempi per l'entrata in vigore, non permetterebbero infatti a questo ipotetico trattato approvato a Durban di essere realmente operativo prima del 2014. Dunque, alla scadenza del Protocollo di Kyoto del 2012 avremo un vuoto normativo che non ha precedenti nella storia delle Nazioni Unite.

L'impasse è il risultato di una serie di veti incrociati. I paesi in via di sviluppo accusano i paesi industrializzati di non voler più assumere impegni legalmente vincolanti di riduzione delle emissioni alla scadenza del Protocollo di Kyoto. I paesi industrializzati invece inten-

■ **Alessandro Farruggia**

Giornalista del *Quotidiano Nazionale*

derebbero prendere impegni vincolanti solo se i paesi in via di sviluppo, ed in particolare le grandi economie emergenti come Cina, India, Brasile, Messico e Sud Africa, facessero altrettanto. Il che pare oggi improbabile.

E anche nell'ambito degli stessi paesi industrializzati e di quelli in via di sviluppo le posizioni sono molto differenziate. Gli USA, ma anche altri paesi industrializzati come Canada, Australia e Giappone, vorrebbero che si arrivasse ad un trattato ristretto a pochi ma chiari impegni significativi, fondati su obiettivi verificabili con trasparenza, ma senza interferire con la loro sovranità nazionale sulle scelte riguardanti le modalità mediante le quali gli impegni verranno attuati all'interno di ciascun paese.

Alcuni paesi industrializzati come Australia, Canada, Giappone e Russia, inoltre, non sono disposti, in linea di principio a firmare né un "semplice" prolungamento al 2020 del Protocollo di Kyoto emendato, né un altro trattato simile al Protocollo di Kyoto, dal momento che sarebbero svantaggiati, in termini di competitività sui mercati internazionali, rispetto agli USA che non hanno mai accettato il Protocollo di Kyoto. Quanto all'Europa, vorrebbe un trattato unico omnicomprensivo che al suo interno potrebbe contenere, adeguatamente rivisti, i principi e i meccanismi del Protocollo di Kyoto, almeno per i paesi industrializzati.

La Cina e gli altri paesi emergenti, pur essendo teoricamente disponibili ad assumersi impegni vincolanti - e in questo senso a Cancun è venuta una apertura - pongono, però, due condizioni pregiudiziali. Innanzitutto gli impegni che li riguardano non possono essere stabiliti su obiettivi quantificati di riduzione delle emissioni, ma su obiettivi di riduzione della loro intensità carbonica. Inoltre, tali impegni devono essere subordinati al principio della "responsabilità storica" dei paesi industrializzati.

Il che significa che siccome il pianeta è stato storicamente inquinato dai paesi industrializzati e solo nell'ultimo decennio dai paesi emergenti, la riduzione delle emissioni dei paesi industrializzati dovrà essere commisurata ad un fattore di "peso", opportuno calcolato in relazione al contributo storico degli ultimi due secoli.

Ma non è finita qui. Tra i paesi catalogati come paesi in via di sviluppo ci sono anche i paesi produttori di combustibili fossili, che non vedono di buon occhio una ri-

duzione della loro produzione e commercializzazione di petrolio o carbone. L'Arabia Saudita, infatti, pone come pregiudiziale per il suo consenso a qualsiasi trattato di riduzione delle emissioni, un'adeguata compensazione per i danni e le perdite che la sua economia subirebbe per le mancate vendite di petrolio e di altri combustibili fossili. Cioè dovremmo pagarla per il mancato inquinamento.

Altri paesi in via di sviluppo come la Bolivia, la Malesia ed altri che detengono un ricco patrimonio forestale, sono disponibili a ridurre le loro emissioni ma solo se verranno adeguatamente compensati attraverso il riconoscimento del valore economico delle loro foreste. Altri paesi in via di sviluppo, infine, sono disponibili ad intraprendere un percorso di sviluppo pulito purché vi sia un adeguato trasferimento di nuove tecnologie, non in termini di *hardware*, ma di *know how*, che spesso è coperto da brevetti da pagare in termini di *royalties*. Insomma, la situazione è molto variegata e complessa. Come durante l'edificazione della Torre di Babele.

Peccato che intanto che ci si discute addosso, il pianeta brucia. Per mantenere l'obiettivo di evitare il surriscaldamento globale al di sotto di 2 °C (con una probabilità di almeno il 50%), è infatti necessario che le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica equivalente (conteggiando cioè anche gli altri gas serra) non superino la soglia di 450 ppm (parti per milione). Siamo attualmente a circa 400 ppm. Con gli attuali tassi di emissione, che hanno addirittura subito un'impenata lo scorso anno, il limite di 450 ppm sarà invece superato fra qualche anno e comunque molto prima del 2020. Servirebbero azioni che non sono all'orizzonte.

Il Protocollo di Kyoto muore inevitabilmente il prossimo anno. Se a Durban si riuscirà a sciogliere la matassa che avvolge i negoziati sul clima, o quanto meno a trovare uno spirito costruttivo per districarla, un nuovo trattato sostitutivo del Protocollo di Kyoto potrebbe vedere la luce non prima del 2014. Troppo tardi, realisticamente, per cercare di restare sotto i 2 °C.

E il bilancio è così sconcertante. Evidentemente le nazioni non si rendono conto - o cinicamente ignorano - che così agendo mettono a rischio le possibilità di sviluppo, le aspettative di benessere e perfino la stessa sopravvivenza di milioni di persone, nel caso non improbabile che gli scenari di cambiamento climatico più catastrofico dovessero manifestarsi. E il dramma è che questo non è inevitabile.



# Sviluppo sostenibile e *green economy*: oltre il PIL

La *green economy* è un'economia a basso tenore di carbonio, efficiente nell'utilizzo delle risorse e inclusiva dal punto di vista sociale, e rappresenta un'opportunità di ripresa dalla crisi in un'ottica di Sviluppo Sostenibile. Per misurare crescita verde e progresso della società, è necessario affiancare al PIL indicatori rilevanti per la dimensione ambientale e sociale della crescita economica

■ Oscar Amerighi, Bruna Felici

## Il concetto di sviluppo sostenibile da Rio a Rio +20

Sebbene siano passati quasi 25 anni dalla prima definizione<sup>1</sup> e nonostante le diverse criticità riscontrate nel tempo, il concetto di Sviluppo Sostenibile risulta più che mai attuale, rappresentando l'obiettivo centrale della Conferenza Rio +20. Oggi si pone, di fatto, come il paradigma del XXI secolo che meglio guarda al futuro come una proiezione di scelte attuali e responsabili.

Proveniente dal dibattito ambientalista degli anni Settanta, il principio di sostenibilità entra nelle agende politiche nazionali e internazionali dettando obiettivi, priorità e vincoli per i governi nazionali. La Conferenza delle Nazioni Unite sull'**Ambiente Umano** del 1972 a Stoccolma<sup>2</sup>, il rapporto della commissione Brundtland del 1987 e il **Vertice della Terra** di Rio de Janeiro del 1992<sup>3</sup> rappresentano alcune delle tappe fon-

damentali di un percorso che parte dal binomio sviluppo economico e qualità dell'ambiente. L'attenzione si rivolge anche all'aspetto quantitativo, alla formulazione di metodi e tecniche di contabilità nazionale che tengano conto anche dei costi ambientali.

Nascono negli anni diversi indici come il **SEEA** (*System of Integrated Environmental and Economic Accounting*<sup>4</sup>), oggi utilizzato dalle Nazioni Unite, o l'**EPI** (*Environmental and Sustainability Index*<sup>5</sup>) del World Economic Forum. Questi sono costruiti quantitativamente basandosi sugli stock di risorse naturali, secondo un'ottica di equilibrio ecologico ed economico.

Con l'indice **HDI**, o *Indice di Sviluppo Umano*<sup>6</sup>, anche il capitale umano entra nell'impostazione metodologica. Siamo negli anni Novanta, nel pieno del dibattito su crescita della povertà mondiale e crisi del modello di sviluppo. L'HDI, utilizzato nel Rapporto del Programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo (UNDP) viene proposto come misura della qualità della vita degli individui a partire dall'analisi di tre dimensioni: aspettativa di vita, istruzione e reddito nazionale lor-

■ Oscar Amerighi, Bruna Felici

ENEA, Ufficio Studi

do<sup>7</sup>. L'introduzione del terzo elemento, la dimensione sociale, completa così il quadro dell'evoluzione di un concetto che si compone di aspetti ambientali, economici e sociali.

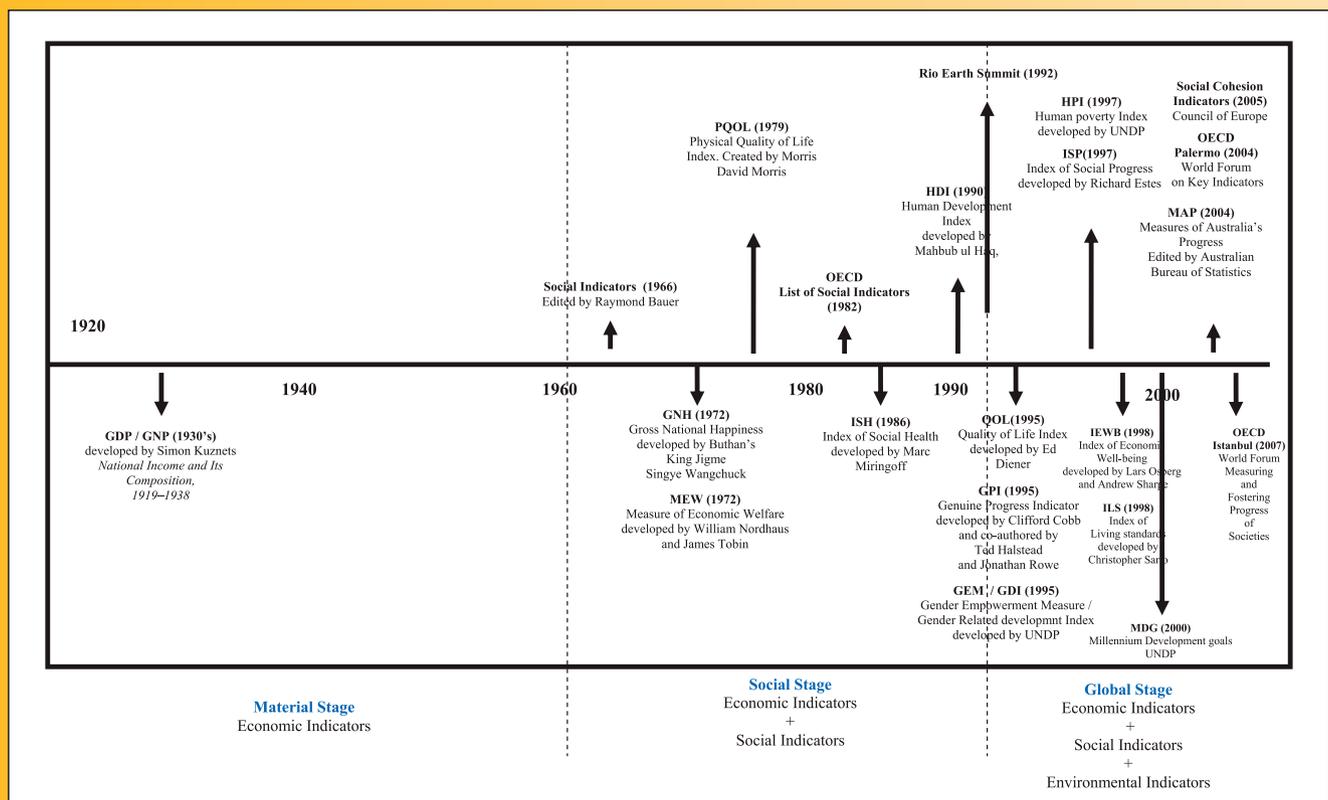
### Misurare il progresso sociale

L'8 giugno 2011 il parlamento Europeo ha approvato la Risoluzione “*Non solo PIL – Misurare il progresso in un mondo in cambiamento*”.<sup>8</sup> Si tratta dell'ultimo atto<sup>9</sup> in ordine cronologico di un processo che da qualche anno vede la comunità internazionale interrogarsi sugli strumenti di analisi e misurazione dello sviluppo sociale.

Nel 2004 l'OCSE aveva lanciato a Palermo il primo Fo-

rum Mondiale su *Statistica, Conoscenza e Politica*, facendosi inoltre promotore del *Global Project on Measuring the Progress of Societies*<sup>10</sup>. La *Dichiarazione di Istanbul*<sup>11</sup> del 2007 sancisce l'impegno ad andare “oltre il PIL” da parte di istituzioni internazionali come OCSE, Nazioni Unite, Banca Mondiale, Commissione Europea.

Nel 2007 la **Commissione Europea** avvia un programma di iniziative per l'implementazione e la valutazione delle politiche comunitarie. La Comunicazione del 2009 “*Non solo PIL. Misurare il progresso in un mondo in cambiamento*”<sup>12</sup> fornisce alcune raccomandazioni operative sull'integrazione del PIL con indicatori ambientali e sociali e sull'inserimento di questi nella contabilità nazionale.



**FIGURA 1** Evoluzione storica degli indicatori di misurazione dello sviluppo e progresso umano  
Fonte: OCSE

Nel 2010 viene pubblicato il Rapporto della **Commissione Stiglitz, Sen e Fitoussi** sulla *“Misura della Performance Economica e del Progresso Sociale”*<sup>13</sup>. Gli autori del rapporto sottolineano l'importanza della **misura del benessere** della popolazione considerato come un insieme di fattori non solo economici, quali sanità, istruzione, ambiente e relazioni sociali. Occorre maggiore attenzione alla distribuzione del reddito, ai redditi delle famiglie ed al consumo di beni e servizi fondamentali.

Anche l'**Italia** grazie alla volontà di Enrico Giovannini, attuale presidente dell'Istat, già Direttore dell'ufficio statistico all'OCSE e membro della Commissione Sarkozy, entra nel vivo del dibattito. L'**accordo Cnel-Istat** siglato nell'aprile 2011 prevede l'istituzione di un Gruppo di esperti che lavorerà alla formulazione di una definizione condivisa del progresso della società italiana e del relativo set di indicatori, con l'obiettivo di *“sviluppare un approccio multidimensionale del “benessere equo e sostenibile” (Bes), che integri l'indicatore dell'attività economica, il PIL, con altri indicatori, ivi compresi quelli relativi alle diseguglianze (non solo di reddito) e alla sostenibilità (non solo ambientale)”*<sup>14</sup>.

### Una “crescita verde” per perseguire uno sviluppo sostenibile

La *green economy* è evocata da più parti come possibile acceleratore di una ripresa economica, e al tempo stesso panacea alle problematiche climatiche e ambientali presenti e future. Ritornare a crescere a ritmi pre-crisi (o a tassi superiori) rimane l'obiettivo primario dei governi, ma incrementare la produzione industriale potrebbe facilmente tradursi in un utilizzo di maggiori quantitativi di risorse naturali ed energia (combustibili fossili, materie prime ecc.) e di conseguenza generare maggiori emissioni di gas serra. In tal senso, vanno lette le recenti scelte di molti paesi di consacrare importanti risorse finanziarie al settore energetico e in particolare alle tecnologie verdi (fonti rinnovabili, efficienza energetica, mobilità sostenibile ecc.).

L'UNEP definisce la *green economy* come un'econo-

mia che genera un “miglioramento del benessere umano e dell'equità sociale, riducendo in maniera rilevante i rischi ambientali e le scarsità ecologiche”<sup>15</sup>. In altre parole, la *green economy* è un'economia a basso tenore di carbonio, efficiente nell'utilizzo delle risorse e inclusiva dal punto di vista sociale. Il concetto di “capitale naturale” quale risorsa economica e fonte di benefici per le comunità locali riveste un ruolo centrale in questa definizione e nell'individuare un sentiero di sviluppo basato su una “crescita verde” (*green growth*) che concili la dimensione economica e quella ambientale.

La *green economy* non rappresenta un concetto alternativo a quello di sviluppo sostenibile. Al contrario, può essere interpretata come uno strumento (probabilmente il migliore) con cui creare le necessarie premesse per il progresso della società nel suo complesso e perseguire uno sviluppo sostenibile.

### Il peso della *green economy* e il ruolo dell'eco-innovazione

Ai fini di una corretta valutazione statistica della dimensione e del potenziale di crescita della *green economy*, è fondamentale definirne i confini.

Se si considerano esclusivamente i settori che forniscono prodotti, servizi o tecnologie in ambito ambientale, il peso della *green economy* rispetto al totale dell'attività economica è alquanto limitato. In termini occupazionali, l'OCSE ha recentemente dimostrato come la quota di occupati in settori industriali *green* in senso stretto sia generalmente inferiore all'1% sul totale dell'economia<sup>16</sup>. Secondo uno studio di GHK et al. (2007) per la Commissione Europea, la quota di occupazione (diretta e indiretta) sul totale dell'occupazione nell'Unione Europea (EU27) salirebbe dal 2% al 4% se alle eco-industrie si aggiungono attività strettamente legate ad un ambiente pulito (agricoltura organica, fonti energetiche rinnovabili ecc.)<sup>17</sup>.

In generale, tuttavia, è importante fare una distinzione tra settori industriali orientati alla fornitura di beni e

servizi ambientali (*green business*) e imprese impegnate a ridurre l'impatto ambientale dei propri processi produttivi (*green production*)<sup>18</sup>. Questo secondo aspetto è associabile ad una transizione verde (*greening*) del sistema economico nel suo complesso. Si pensi, ad esempio, alle industrie cosiddette "tradizionali" (raffinerie, acciaierie, cementifici ecc.) e ai possibili guadagni di efficienza energetica raggiungibili grazie a nuovi metodi organizzativi o alla realizzazione di prodotti meno "energivori" nella fase d'uso.

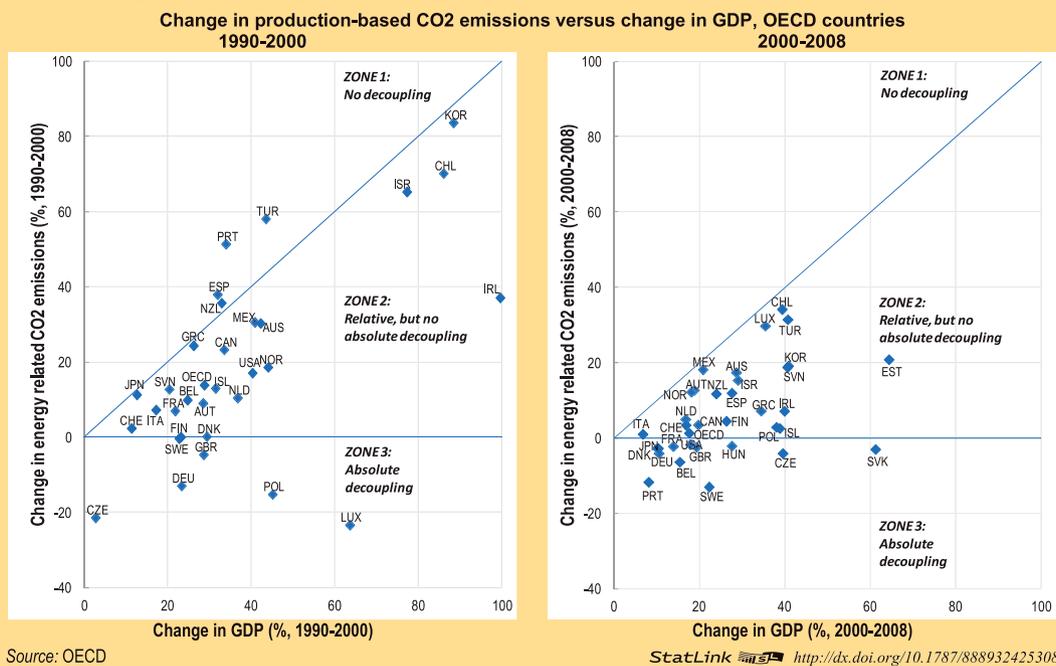
Risulta pertanto evidente come l'innovazione (tecnologica, organizzativa, comportamentale) rappresenti il motore della *green economy*. In particolare, la cosiddetta "eco-innovazione"<sup>19</sup> giocherà un ruolo fondamentale nei prossimi decenni nel favorire un cambiamento strutturale dell'economia e della società, e nell'affermazione di modelli di produzione e di consumo sostenibili dal punto di vista ambientale.

### Misurare una "crescita verde"

Sebbene i paesi sviluppati, quelli emergenti e quelli in via di sviluppo si trovino di fronte a problematiche profondamente diverse, è necessario per tutti i paesi ridefinire obiettivi e priorità della politica economica in un'ottica di sviluppo sostenibile, ossia tenendo nella dovuta considerazione non solo la sostenibilità economica e finanziaria delle proprie scelte di *policy*, ma anche la sostenibilità ambientale e sociale.

Nell'attuale fase di lenta uscita dalla crisi economica, politiche a supporto di una "crescita verde" hanno il pregio di poter conciliare il perseguimento di obiettivi congiunturali di breve periodo (di natura prevalentemente economica) e di obiettivi strutturali di lungo periodo che influenzano non solo la sfera economica, ma anche quella ambientale e sociale. Si pensi, ad esempio, a misure adottate in Italia quali le detrazioni fiscali al 55% per interventi volti a migliorare l'effici-

#### DECOUPLING TRENDS: PRODUCTION BASED CO<sub>2</sub> EMISSIONS



**FIGURA 2**  
Emissioni di CO<sub>2</sub> originate dalla produzione e PIL  
Fonte: OCSE

cienza energetica degli edifici residenziali. Da un lato, rappresentano uno stimolo all'attività economica in settori fortemente colpiti dalla crisi quali il settore delle costruzioni. Dall'altro, conducono a un miglioramento della performance energetica (e ambientale) del parco edilizio residenziale.

Il disegno e l'implementazione di politiche efficaci richiedono l'identificazione di strumenti di valutazione e indicatori per orientare i decisori politici nella definizione di obiettivi di breve, medio e lungo periodo, e per misurare il progresso verso il raggiungimento di questi obiettivi.

Nel definire gli obiettivi per una "crescita verde" emerge, come già accennato in precedenza, l'inadeguatezza e l'incompletezza del PIL come indicatore di riferimento. Da un lato, si può tentare di "migliorare" il PIL nella rappresentazione del benessere reale di un paese, includendo nella sua definizione beni e servizi che non hanno un valore di mercato (prestazioni nell'ambito familiare, volontariato ecc.)<sup>20</sup>, ovvero escludendone attività dannose quali l'inquinamento. Dall'altro, si può cercare di "qualificare" il PIL affiancandogli altri indicatori o rapportandolo a variabili rappresentative della dimensione ambientale e sociale della crescita economica.

La recente proposta OCSE di una serie di indicatori per monitorare il progresso verso una "crescita verde" va nella seconda direzione<sup>21</sup>.

Una delle caratteristiche più interessanti degli indicatori OCSE risiede nella distinzione tra le emissioni (o servizi ambientali) originate dalla "produzione" e quelle riconducibili al "consumo". Tale distinzione è utile per valutare in un'ottica di sostenibilità l'efficienza ambientale a livello globale<sup>22</sup>.

La figura 2 mostra come sono cambiati i trend di di-

saccoppiamento (*decoupling*) tra emissioni e PIL nei paesi OCSE nel periodo 1990-2008. Per le emissioni originate dalla produzione, si osserva una crescita continua per la maggior parte dei paesi OCSE, nonostante un più marcato "disaccoppiamento relativo" rispetto al PIL negli anni più recenti<sup>23</sup>.

Altrettanto interessante è l'analisi della produttività delle risorse, legata all'utilizzo di materie prime come input nella produzione. Dai dati OCSE emerge come, dal 1990 ad oggi, l'estrazione e il consumo di materie prime siano cresciuti in maniera costante e generalizzata. Ciononostante, l'efficienza con cui i singoli paesi utilizzano le materie prime varia in modo rilevante. Per le materie prime non energetiche, si registrano miglioramenti in termini di disaccoppiamento relativo e, come nel caso dell'Italia, esempi di disaccoppiamento assoluto. Tali tendenze possono essere il riflesso di guadagni di efficienza nei processi produttivi, ma anche di altri fattori quali un cambiamento nel mix di materiali usati e la sostituzione della produzione domestica con beni intermedi e finali importati.

Un'attenzione particolare va posta, infine, alla questione energetica, elemento chiave nel valutare la dinamica delle emissioni (e gli effetti in termini di cambiamento climatico) e i flussi internazionali di materie prime.

L'OCSE propone l'utilizzo di indicatori quali la produttività dell'energia (PIL per unità di energia primaria), l'intensità energetica settoriale e la quota di rinnovabili nell'offerta di energia primaria e nella produzione elettrica. In generale, sebbene si riscontri un disaccoppiamento tra uso dell'energia e ricadute ambientali, le implicazioni di medio e lungo periodo di una crescente domanda di energia a livello globale rimangono una questione centrale per tutti i paesi. E questo rappresenta certamente uno snodo cruciale per il perseguimento di una crescita verde nel percorso dello sviluppo sostenibile.

## Note

- 1 "Lo Sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni", Report of the World Commission on Environment and Development: "Our Common Future" (1987), <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- 2 <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=97>
- 3 <http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>
- 4 <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seea.asp>
- 5 <http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/esi/>
- 6 <http://hdr.undp.org/en/>
- 7 Cfr. il lavoro di Amartya Sen su etica, libertà, eguaglianza.
- 8 <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A7-2011-0175&language=EN&mode=XML>
- 9 Il 7 giugno 2011 è stata inoltre approvata la Risoluzione legislativa del Parlamento europeo sulla proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio relativo ai conti economici ambientali europei, <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2011-0253+0+DOC+XML+V0/IT>
- 10 [http://www.oecd.org/document/0/0,3746,en\\_2649\\_201185\\_47837376\\_1\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/0/0,3746,en_2649_201185_47837376_1_1_1_1_1,00.html)
- 11 <http://www.oecd.org/dataoecd/44/21/40306640.pdf>
- 12 *Non solo PIL. Misurare il progresso in un mondo in cambiamento*, COM(2009) 433, Bruxelles, 20.8.2009, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0433:FIN:IT:PDF>
- 13 [http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr/documents/rapport\\_anglais.pdf](http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr/documents/rapport_anglais.pdf)
- 14 [http://www.istat.it/salastampa/comunicati/non\\_calendario/20101227\\_00/testointegrale20101227.pdf](http://www.istat.it/salastampa/comunicati/non_calendario/20101227_00/testointegrale20101227.pdf)
- 15 United Nations Environment Programme (2011), "Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication", [http://www.unep.org/GreenEconomy/Portals/93/documents/Full\\_GER\\_screen.pdf](http://www.unep.org/GreenEconomy/Portals/93/documents/Full_GER_screen.pdf)
- 16 OECD (2011), "Towards Green Growth", OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264111318-en>. I settori industriali identificati come *green* nello studio OCSE sono: riciclaggio; raccolta, depurazione e distribuzione dell'acqua; smaltimento degli scarichi fognari e dei rifiuti e attività simili.
- 17 GHK et al. (2007), "Links between the environment, economy and jobs", [http://ec.europa.eu/environment/enveco/industry\\_employment/pdf/ghk\\_study\\_wider\\_links\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/enveco/industry_employment/pdf/ghk_study_wider_links_report.pdf)
- 18 Fondazione Symbola (2009), "Green Italy - Ambiente, Innovazione e Qualità per sfidare il futuro"; ERVET (2010), "Green Economy in Emilia-Romagna".
- 19 Prodotti, servizi, processi, e modalità organizzative, nuovi per l'impresa e che riducono, nell'intero ciclo di vita, i rischi e gli impatti ambientali, l'uso delle risorse e dell'energia, rispetto alle alternative esistenti. Kemp R., Pearson P. (2008), Policy brief about measuring eco-innovation. Deliverable 17 of the project MEI (Measuring ecoinnovation), <http://www.merit.unu.edu/MEI>
- 20 Alberto Alesina e Andrea Ichino (2009), "L'Italia fatta in casa. Indagine sulla vera ricchezza degli italiani", Mondadori.
- 21 OECD (2011), "Towards Green Growth: Monitoring Progress: OECD Indicators", OECD Publishing, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264111356-en>
- 22 L'approccio basato sul consumo consente di misurare il contenuto diretto e indiretto (non generato all'interno dei confini nazionali, ossia incorporato nelle importazioni di beni da altri paesi) di emissioni nella domanda domestica di beni finali (acquisti delle famiglie e del governo e investimenti).
- 23 Nel caso di "disaccoppiamento relativo", le emissioni crescono a un tasso inferiore rispetto alla crescita del PIL; in caso di "disaccoppiamento assoluto", invece, le emissioni diminuiscono a fronte di un aumento del PIL.





# Indicatori di sostenibilità ambientale: la *carbon footprint*

Oggi l'opinione pubblica mostra una crescente attenzione al problema dei cambiamenti climatici e questo ha determinato anche la creazione di nuovi modi di fornire informazioni sull'impatto di prodotti e servizi sul clima. In questo senso si è andata affermando di recente la comunicazione della *carbon footprint* (CFP): essa rappresenta un indicatore per la misurazione, il monitoraggio, la rendicontazione e la verifica delle emissioni e delle rimozioni di gas serra a livello di un prodotto o di un servizio ed è definita come la quantità totale di gas serra ad essi associata

■ Roberto Luciani, Paolo Masoni, Domenico Santino

## La *carbon footprint*

La crescente attenzione della comunità internazionale per i cambiamenti climatici dovuti alle emissioni antropogeniche di gas ad effetto serra non si è fermata alle iniziative internazionali o nazionali per la riduzione dei gas ad effetto serra, come il Protocollo di Kyoto o l'*Emissions Trading System* dell'Unione Europea, per citare i più noti. Negli ultimi decenni è cresciuta significativamente la consapevolezza del consumatore di poter influenzare le logiche del mercato attraverso una "pressione selettiva positiva" verso i prodotti a minore impatto ambientale. I consumatori cominciano a chiedere maggiori ed affidabili informazioni sulle

emissioni di gas ad effetto serra dei prodotti che vogliono comprare. In parallelo tale tendenza ha spinto il mondo economico ed industriale a ritenere che essa possa costituire oggi una concreta opportunità per conseguire un vantaggio in un contesto globale competitivo, spingendoli verso la produzione di prodotti o servizi con minori emissioni in modo da poterne pubblicizzare i risultati nei confronti di consumatori orientati verso un *green consuming*.

In questo ambito, l'espressione "impronta climatica", meglio conosciuta con la sua dizione inglese, non del tutto corretta, *carbon footprint*, è diventata molto popolare negli ultimi anni ed è sempre più usata dai media. La *carbon footprint* è un indicatore ambientale che misura l'impatto delle attività umane sul clima globale; esprime quantitativamente gli effetti prodotti sul clima da parte dei cosiddetti gas serra generati da una persona, da un'organizzazione, da un evento o da un prodotto, sia esso un bene o un servizio. Nel calcolo dalla *carbon footprint* si tiene conto di tutti i gas clima-alteranti del Protocollo di Kyoto: anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), ossido nitroso (N<sub>2</sub>O), il

### ■ Roberto Luciani

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

### ■ Paolo Masoni

ENEA, Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali

### ■ Domenico Santino

ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

gruppo degli idrofluorocarburi (HFCs), dei perfluorocarburi (PFCs) e l'esfluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>).

L'unità di misura della *carbon footprint* è la tonnellata di anidride carbonica equivalente (tCO<sub>2</sub>e). L'anidride carbonica equivalente (CO<sub>2</sub>e) permette un confronto dei differenti tipi di gas ad effetto serra in rapporto ad una unità di CO<sub>2</sub>. La CO<sub>2</sub>e viene calcolata moltiplicando le emissioni di ciascuno dei gas ad effetto serra per il relativo potenziale di riscaldamento (GWP).

Il GWP rappresenta il rapporto fra il riscaldamento causato da un gas ad effetto serra in uno specifico intervallo di tempo (normalmente 100 anni) e il riscaldamento causato nello stesso periodo dal CO<sub>2</sub> nella stessa quantità. Quindi questo indice è basato su una scala relativa che confronta il gas considerato con un'uguale massa di CO<sub>2</sub>, il cui GWP è per definizione pari a 1. I potenziali di emissione differenti di gas ad effetto serra possono essere sommati fra loro in un singolo indicatore che esprime il contributo complessivo clima-alterante di queste emissioni.

La *carbon footprint* dei prodotti comprende l'assorbimento e l'emissione di gas clima-alteranti nell'arco dell'intera vita di un prodotto o servizio, dall'estrazione delle materie prime e la loro lavorazione, al loro uso e al loro finale utilizzo, riciclaggio o smaltimento. In ciascuna delle suddette fasi, le emissioni di gas ad effetto serra possono derivare da sorgenti come: l'utilizzo di energia e di combustibili per trasporto, i rifiuti

e le perdite di refrigeranti da sistemi di refrigerazione, mentre gli assorbimenti possono derivare dalla fissazione della CO<sub>2</sub> atmosferica da parte delle piante o del suolo.

Da quanto sopra si comprende come la *carbon footprint* rappresenti un sottoinsieme dei dati derivanti da uno studio di *Life Cycle Assessment* (LCA). L'LCA è un metodo standardizzato a livello internazionale (norme ISO 14040:2006 *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework* e ISO 14044:2006 *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*) per la valutazione dei carichi ambientali e delle risorse consumate nelle fasi; estrazione delle materie prime, produzione di beni, loro utilizzo da parte degli utilizzatori finali, o fornitura di un servizio, riciclaggio, recupero di energia e smaltimento finale. La *carbon footprint* viene pertanto calcolata mediante uno studio LCA conforme alle norme citate, evidenziando soltanto le emissioni che hanno effetto sul fenomeno del cambiamento climatico. È pertanto improprio affermare che la *carbon footprint* fornisce un risultato dell'intero impatto ambientale del prodotto in esame, in quanto altri impatti, normalmente ricompresi in una LCA come l'acidificazione, le eutrofizzazione, la formazione di ossidanti fotochimici o gli effetti tossici per l'uomo o gli ecosistemi, non sono quantificati.

I principali vantaggi della *carbon footprint* rispetto ad una LCA completa sono la facilità di comunicazione e di comprensione da parte del pubblico, e la possibilità di essere direttamente collegata ad una delle priorità ambientali universalmente riconosciute e affrontate dalle politiche ambientali. Una bassa *carbon footprint* significa che il prodotto in esame dà un basso contributo ai cambiamenti climatici.

La *carbon footprint*, per le ragioni suddette, costituisce un importante indicatore ambientale che si sta affermando come uno strumento di marketing usato dalle industrie manifatturiere non solo per dimostrare l'impegno a ridurre l'impatto ambientale, ma anche per evidenziare la sostenibilità dei loro prodotti. L'importanza dell'impronta del carbonio è talmente considerata che in alcuni paesi si procede a certificarne l'entità.

Gas effetto serra	Formula chimica	GWP <sub>100</sub>
Anidride carbonica	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	25
Ossido nitroso	N <sub>2</sub> O	298
HFCs	–	124-14800
Esafluoruro di zolfo	SF <sub>6</sub>	22800
PFCs	–	7390-12200

**TABELLA 1** Global warming potential dei gas ad effetto serra del Protocollo di Kyoto  
Fonte: IPCC, 2007

## Le metodologie per il calcolo della *carbon footprint*

Visto che in molti casi gli indicatori ambientali, e fra questi la *carbon footprint*, vengono calcolati per mettere a confronto prodotti con la stessa funzione, è importante che il metodo impiegato sia lo stesso; in altri termini, per rendere i confronti attendibili è necessaria una standardizzazione che porti eventualmente anche a una certificazione. Un valido riferimento a questo proposito è costituito dalla norma ISO 14044 che stabilisce la procedura per elaborare un'analisi del ciclo di vita che comprende però tutte le categorie di impatto.

Alcuni paesi si sono già mossi in questa direzione; il Regno Unito (British Standard) ha emesso una norma da seguire per il calcolo della *carbon footprint* che può essere utilizzata per beni e servizi. Si tratta della norma PAS 2050, che si basa sulle già citate norme ISO 14040 e ISO 14044, limitate alle valutazioni relative alle emissioni di gas serra dovute al prodotto in esame. Questa procedura è proposta dalla Carbon Trust, una società che ha come scopo principale quello di favorire la conversione del mercato verso una economia ispirata a fonti energetiche a basso contenuto di carbonio.

Il valore ricavato dall'applicazione del metodo Carbon Trust può essere trasformato in etichetta (*Carbon Reduction Label*) che mostra quanto sostenibile sia il prodotto in termini di effetto serra, permettendo così di mettere a confronto prodotti diversi con la stessa funzione, ferme restando le precauzioni già menzionate riguardo all'uso di un solo indicatore di impatto. Il valore esibito nella etichetta può risultare uno strumento di scelta che orienta il compratore nella fase di acquisto.

A livello internazionale si sta sviluppando da parte dell'ISO (ISO/TC 207/SC 7/WG 2) una norma specifica sulla *carbon footprint* di prodotti: la ISO 14067 (*Carbon footprint of products*), la cui pubblicazione è prevista per il 2012. Sarà suddivisa in due parti:

- 1) ISO 14067-1: Quantification
- 2) ISO 14067-2: Communications

Oltre alla già citata *Carbon Reduction Label* della Carbon Trust, una forte diffusione a livello europeo sta avendo la *Climate Declaration*, sviluppata nell'ambito del sistema internazionale Environdec del consorzio IEC. Si tratta sostanzialmente di una comunicazione estratta da una Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) e, pertanto, regolata dalla norma ISO 14025: *Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazioni ambientali di Tipo III*, che consente una comunicazione affidabile in quanto basata su uno studio di LCA regolato dalla norma ISO 14040 e sulla verifica di una parte terza (operatore di programma).

Infine, nell'ambito della definizione di indicatori di impatto ambientali, è da segnalare che si sta cercando anche di emanare norme per misurare l'impronta idrica (*water footprint*) dei prodotti. Tale indice per un dato prodotto rappresenta il volume di acqua consumata (evaporata) o inquinata, considerando tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto e tenendo conto di quanto il bacino idrografico da cui si preleva l'acqua sia già sottoposto a stress per prelievi per altri usi.

Si segnala che attualmente è in preparazione, in sede ISO, il documento ISO/WD 14046.3 - *Life cycle assessment - Water footprint - Requirements and guidelines*, che specifica i requisiti e le linee guida per valutare e comunicare la *water footprint* di prodotti, processi e organizzazioni basato sulla valutazione del ciclo vita (LCA).



# Biodiversity: an assessment of the implementation of the convention in Europe

The Convention on Biological Diversity (CBD) is an international legally-binding treaty which pursues three main goals: the conservation of biodiversity, the sustainable use of its components, and the fair and equitable sharing of benefits arising from genetic resources. The Convention was presented in 1992 at the United Nations Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro, and entered into force in 1993 after being ratified by 30 parties, including the European Union. Italy ratified the Convention in 1994. This article analyses the strategies set out by the European Commission and the Italian government respectively, in the attempt of halting or significantly reducing the current rate of biodiversity loss

■ *Laura Maria Padovani, Paola Carrabba, Barbara Di Giovanni, Francesco Mauro*

## Biodiversità: il punto sulla implementazione della convenzione in Europa

La Convenzione sulla diversità biologica (CBD) è un trattato internazionale giuridicamente vincolante che persegue tre obiettivi principali: la conservazione della biodiversità, l'uso sostenibile delle sue componenti e l'equa ripartizione dei benefici derivanti dalle risorse genetiche. La Convenzione, presentata alla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo a Rio de Janeiro nel 1992, è entrata in vigore nel 1993, dopo essere stata ratificata da 30 Paesi, compresa l'Unione Europea. L'Italia ha ratificato la Convenzione nel 1994. Questo saggio analizza le strategie messe a punto, rispettivamente, dalla Commissione Europea e dal governo italiano nel tentativo di arrestare o ridurre in modo significativo l'attuale tasso di perdita di biodiversità

■ **Laura Maria Padovani, Paola Carrabba, Barbara Di Giovanni**

*ENEA, Unità Tecnica Sviluppo Sostenibile ed Innovazione del Sistema Agro-industriale*

■ **Francesco Mauro**

*Università degli Studi "Guglielmo Marconi", Roma*

## The European biodiversity assessment

Degradation of ecosystems and persistent reduction in their capacity to provide ecosystem services crucial to humankind – e.g., from clean air and water, to pollination of crops and protection from floods – represent enormous social and economic losses at the global level. For instance, the total economic value of insect pollination in 2005 was 153 billion Euro which is 9.5% of world agricultural output for human food in the same year (<http://www.teebweb.org>).

At the European level, biological diversity is under severe threat from habitat loss due to various causes, *inter alia*: overexploitation and/or unsustainable use of resources, transformation of land use and its fragmentation, invasive “*alien species*”, pollution and climate change (<http://www.iewy.com/25306-qa-on-the-communication-an-eu-biodiversity-strategy-to-2020.html>).

In 1998, on the basis of the European Community participation in the UN Convention on Biological Diversity, the European Parliament adopted a Communication on a **European Biodiversity Strategy** (European Commission, 1998), with the aim to “*anticipate and prevent significant reduction in or loss of biodiversity and to tackle its root causes*” ([http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/nature\\_and\\_biodiversity/128183\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/nature_and_biodiversity/128183_en.htm)). Such a Strategy creates the framework within which policies and Community instruments will be adopted to ensure the implementation of the Convention on Biodiversity in Europe on the basis of four main themes reflecting the principal obligations under the Convention on Biodiversity: conservation and sustainable use of biodiversity; sharing of benefits arising out of the utilization of genetic resources; research, identification, monitoring and exchange of information; education, training and awareness.

In 2001, the European Union set the ambitious target of halting biodiversity loss by 2010. With this aim, the Commission addressed the Council and the European Parliament a Communication on biodiversity action plans in the areas of conservation of natural resources, agriculture, fisheries, and development and economic co-operation, in order to define the main contents and procedures of the EU Biodiversity Action Plan (European Commission, 2001).

In May 2006, the European Commission adopted a communication on “*Halting Biodiversity Loss by 2010 – and Beyond: Sustaining ecosystem services for human well-being*” (European Commission, 2006) which highlighted the importance of biodiversity’s protection as a prerequisite for sustainable development. A detailed **EU Biodiversity Action Plan (BAP)** was also set out with 10 priority actions divided into 4 policy areas (biodiversity in Europe; the EU and global biodiversity; biodiversity and climate change; to strengthen the knowledge base for conservation and sustainable use of biodiversity). The BAP aims at integrating biodiversity concerns into other policy sectors and outlines the responsibility of community institutions and Member States in relation to each of the above policy areas. It further identifies four main supporting measures (financing; decision-making; building partnerships; public education, awareness and participation) and includes indicators and a timetable to monitor progresses.

Four years (2006-2010) have not been enough to achieve tangible outcomes, even less at the national level.

Besides the limited time, the failing of the 2006 Action Plan was also due to a combination of different factors, such as:

- the inadequate implementation of the EU “Natura 2000” legislation,
- the insufficient funding for biodiversity protection,
- the knowledge gaps,
- the insufficient integration of biodiversity concerns into other policy areas,
- the new emerging threats such as climate change,
- the failure to reach an agreement on the European Soil Framework Directive, and
- the crucial policy gaps which have a significant impact on biodiversity loss, including the lack of a comprehensive policy on invasive species.

Biodiversity is a complex cross-cutting issue which cannot be tackled by focusing on a single sector since it is primarily linked to an increased awareness of its importance for the various productive sectors and the social area.

In May 2011, undeterred by the failed attempt to achieve the 2010 goals, and as a natural hereinafter of the 2001 strategy, the European Commission pub-

lished a new Biodiversity Strategy to 2020 (European Commission, 2011-a). The new strategy is aimed at reversing biodiversity loss and hastening the transition of the European Union towards a resource efficient and green economy, introducing more concrete and pressing references to sustainable development. In fact, it is recognized that, in addition to its intrinsic importance, biodiversity and the services it provides have significant economic value that can be emphasized in markets.

The new strategy sets out six interconnected targets

and accompanying measures which, when implemented, will deliver significant, scaled-up benefits for biodiversity (see table 1).

The measures related to the six above mentioned targets should assist in maintaining and enhancing ecosystem services, providing wide-ranging socio-economic benefits to society and the private sector.

Well-managed ecosystems provide clean air and water, carbon storage and natural disaster control, reduced soil erosion as well as lower vulnerability to climate change, with associated socio-economic bene-

#### TARGET 1

##### CONSERVING AND RESTORING NATURE:

To halt the deterioration in the status of all species and habitats covered by EU nature legislation and achieve a significant and measurable improvement in their status so that, by 2020, compared to current assessments:

- 100% more habitat assessments and 50% more species assessments under the Habitats Directive show an improved conservation status; and
- 50% more species assessments under the Birds Directive show a secure or improved status

#### TARGET 2

##### MAINTAINING AND ENHANCING ECOSYSTEMS AND THEIR SERVICES:

By 2020, ecosystems and their services are maintained and enhanced by establishing green infrastructure and restoring at least 15% of degraded ecosystems

#### TARGET 3

##### ENSURING THE SUSTAINABILITY OF AGRICULTURE, FORESTRY, AND:

**3a) Agriculture:** By 2020, maximize areas under agriculture across grasslands, arable land and permanent crops that are covered by biodiversity-related measures under the CAP so as to ensure the conservation of biodiversity and to bring about a measurable improvement\* in the conservation status of species and habitats that depend on, or are affected by, agriculture and in the provision of ecosystem services as compared to the EU2010 Baseline, thus contributing to enhance sustainable management.

**3b) Forests:** By 2020, Forest Management Plans or equivalent instruments, in line with Sustainable Forest Management (SFM), are in place for all forests that are publicly owned and for forest holdings above a certain size (to be defined by the Member States or regions and communicated in their Rural Development Programmes) that or receive funding under the EU Rural Development Policy, in line with Sustainable Forest Management (SFM) so as to bring about a measurable improvement\* in the conservation status of forest ecosystems and species and in the provision of related ecosystem services as compared to the EU 2010 Baseline.

By 2020, Invasive Alien Species (IAS) and their pathways are identified and prioritized, priority species controlled or eradicated, and pathways are managed to prevent the introduction and establishment of new IAS.

#### TARGET 4

##### ENSURING THE SUSTAINABILITY OF FISHERIES:

To achieve Maximum Sustainable Yield (MSY) by 2015. Achieve a population age and size distribution indicative of a healthy stock, through fisheries management with no significant adverse impacts on other stocks, species and ecosystems, in support of achieving Good Environmental Status by 2020, as required under the Marine Strategy Framework Directive.

#### TARGET 5

##### COMBATING INVASIVE ALIEN SPECIES:

By 2020, Invasive Alien Species (IAS) and their pathways are identified and prioritized, priority species controlled or eradicated, and pathways are managed to prevent the introduction and establishment of new IAS.

#### TARGET 6

##### ADDRESSING THE GLOBAL BIODIVERSITY CRISIS:

By 2020, the EU has stepped up its contribution to averting global biodiversity loss.

**TABLE 1** Targets of the EU Biodiversity Strategy

Source: European Commission, 2011 (a)

ITEM	ACTION
<b>Landscape</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provide for diachronic analyses to monitor use changes in landscape.</li> <li>• Enhance landscape diversity, with particular reference to cultural landscapes.</li> <li>• Promote forest restoration, including reforestation and afforestation, also in urban areas, through valorization and use of species related to the indigenous habitat.</li> <li>• Promote the use of an ecological network at landscape level as framework for cities, new general planning and new design.</li> </ul>
<b>Terrestrial Fauna</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Improve monitoring protocols at regional level to be coherent with the national one.</li> <li>• Encourage the integration of fauna conservation measures with sustainable agro-silvopastoral management strategies.</li> <li>• Mitigate damages of wild fauna to enhance public opinion consensus</li> <li>• Promote a sustainable hunting strategy.</li> <li>• Promote management plans (eradication and control) coherent with alien species invasion.</li> <li>• Activate plans to restore the relic alluvial forest, the wetlands throughout the country, the springs and small watercourses in the main islands.</li> <li>• Assign a central role to protected areas in the conservation of one or more species.</li> </ul>
<b>Flora</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compile the mapping of flora on a regional scale and identify the territorial habitats with elevated diversity to insert in the future revision of the “Natura 2000” network.</li> <li>• Involve the protected areas in the identification of one or more <i>in situ</i> conservation objectives.</li> <li>• Involve the museums and, in particular, the Botanical Gardens throughout the territory in planning coherent policies with <i>ex situ</i> conservation.</li> <li>• Monitoring the evolution in structural and qualitative terms of the Important Plant Areas.</li> </ul>
<b>Bryophytes, Fungi, Lichens and Algae</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Draw up and updated list of Italian fungus species, maps of their distribution and data on their ecology, as well as red lists of fungus species.</li> <li>• Promote a correct forestry management (naturalistic and systematic silviculture).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Draw up a national and regional red list and action plan for the species considered endangered according to the IUCN categories.</li> <li>• Compile the mapping of algal flora on a regional scale and identify the territorial habitats with elevated diversity to insert in the future revision phases of the “Natura 2000” network.</li> <li>• Carry out an inventory of freshwater species at a national and regional level.</li> <li>• Realize a monitoring network of sites of lichens monitoring within old growth forests.</li> <li>• Realize lichens monitoring in term of biomonitoring of air quality.</li> </ul>
<b>Marine environment</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Define action plans to assess the degree of biological invasion phenomenon within marine and coastal areas.</li> <li>• Carry out the network <i>naturalness island</i> along coastal areas and delocalize some of the human activities that trigger a significant environmental impact (tourism, cities and unsustainable agriculture).</li> <li>• Define environmental policies to oppose climate change effects and to conserve the ecological role of the <i>small islands</i> at global and local level.</li> <li>• Regulate fishery and touristic activities along coasts.</li> </ul>
<b>Nature 2000 Network</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (No actions expected)</li> </ul>
<b>Protected areas</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluate efficiency of protected areas in terms of ecological network.</li> <li>• Verify relationships between national ecologic network, “Natura 2000” network, territorial ecological network and ecological network at species, groups of species and communities level.</li> <li>• Encourage land management around protected areas in line with their objectives and characteristics, thus promoting the maintenance of naturalness in the whole territory and not only in corridor areas.</li> <li>• Increase the system of marine protected areas, presently incomplete and not enough developed in relation to the need of protection of marine and coastal environments.</li> <li>• Verify through gap analysis the coherence between protected areas and environment heterogeneity at landscape level.</li> <li>• Verify efficiency of management tools.</li> </ul>

**TABLE 2** Items and actions of the Italian National Biodiversity Strategy  
 Source: Ministry for the Environment, Land and Sea Protection, 2009 (b)



fits. Yet a full quantification of the cumulative impacts of the proposed measures is not possible at this stage. The costs' review of the measures outlined in the Strategy shows that the needs for funding will differ according to the targets and measures identified. Nature-based innovation and action to restore ecosystems and conserve biodiversity can create new skills, jobs and business opportunities. The study on "The

Economy of Ecosystems and Biodiversity" (TEEB) estimates that global business opportunities from investing in biodiversity could be worth from 2 to 6 trillion of US dollars by 2050 (full details available at <http://www.teebweb.org/>). Nevertheless, so far in Europe the goals of biodiversity's conservation have prevailed on the "sustainable uses". In fact, the designation of "Natura 2000" terrestrial

**PATHS Actions**

**Adapting to Climate Change and mitigating its effects**

- To manage ecosystems and *natural infrastructures* through the use of new and improved management technologies.
- Highlight the role of fighting illegal logging.
- Encourage the use of new and improved technologies in priority areas (water management, forestry, agriculture, infrastructure development) so as to minimize biodiversity loss at all levels.
- To develop forest-based climate mitigation options, such as Reduced of Emission from Deforestation and Degradation (REDD).
- A proper transfer of best practices, as well as soft and hard technologies through cooperation programmes.

**Biodiversity, Economics and Business**

- To support the urgent completion of the international process on access and equitable sharing of the benefit arising out from the utilization of genetic resources.
- To avoid or minimize any further nature destruction in the implementation of infrastructural programs.
- To recognize and promote the role of governments in setting up policies, incentives and resources for incorporating ecosystem values into commercial decision-making.

**Enhancing biodiversity and ecosystem services in human modified ecosystems**

- To develop and implement specific biodiversity related policies and incentives in all relevant sectors and to promote markets for biodiversity-friendly and traditional products.
- To apply the principles of Integrated Coastal Zone Management (UNEP – Regional Seas Programme).
- To establish an ecologically coherent networks of marine protected areas.
- To develop and strengthen prevention actions (including early warning and rapid responses), improved procedures for information exchange and to identify best practices for risk assessment procedures, to prevent impact of invasive alien species on biodiversity and ecosystem services.
- To promote a new approach to urban planning which integrates ecosystem services (air, water cleaning, noise reduction etc.) and ecologically friendly buildings, infrastructure and transport systems.

**Science, Research and Policy**

- To strengthen the Italian capacity to develop, establish and maintain a global science-policy interface to ensure Italian international environmental cooperation.
- To complete the process to establish an effective science-policy interface for biodiversity and ecosystem services for conservation and sustainable use of biodiversity, long term human well-being and sustainable development.
- To set up and implement strong actions to promote the cooperation among countries, international organizations, research institutes and NGOs to develop a global monitoring scheme on biodiversity to improve the development and the use of advanced technologies to carry out monitoring of change of biodiversity and global environmental assessment.
- To ensure permanent and timely communication on the status and trend of biodiversity.

**TABLE 3** Strategic paths of the Italian National Biodiversity Strategy  
Source: Ministry for the Environment, Land and Sea Protection, 2009 (b)

sites is nearly complete, with 18% of European territory covered. As such, the EU has already met the global 2020 target of having at least 17% of terrestrial and inland water conserved through protected areas. However, if the EU is to reach the global target of protecting at least 10% of coastal and marine areas, more efforts will be needed in the marine environment. At present, just over 4% of EU marine areas are part of the “Natura 2000” network.

Furthermore, ecosystems outside protected areas provide essential services that need to be protected and restored. Green infrastructure can be used to re-establish connections between natural areas that have been fragmented by infrastructure development, agriculture or urban sprawl, creating ecological corridors to link up protected areas and using nature-based approaches.

The strategy will be reviewed in 2014 and adjustments made, if needed. The Commission will follow up different proposals and initiatives listed in the Strategy, including a separate strategy on Green Infrastructure, and legislative proposals on Invasive Alien Species and on access and benefit sharing in 2012.

### The Italian National Biodiversity Strategy

The Italian Fourth National Report to the Convention on Biological Diversity states that Italy is uniquely rich in biodiversity and that more than 20% of the territory is included into different types of protected areas (Ministry of the Environment, Land and Sea Protection, 2009 - a).

In the light of the above, following the EU biodiversity Strategy, the Italian National Biodiversity Strategy (Ministry of the Environment, Land and Sea Protection, 2009 - b) asserts that biodiversity and ecosystem services must be preserved, evaluated and, where possible, restored, to continue to support the sustainable economic prosperity and human well-being despite global changes.

While the thematic areas still seem to follow a traditional track linked to the naturalistic area, the projection of the Italian National Strategy beyond 2020 convenes at least part of the message expressed by the EU strategy on biodiversity.

In fact, for each item the National Strategy focuses on a list of actions that represent the core of the strategy (see table 2).

In its second part, on future engagements, the Strategy suggests strategic paths to be achieved by 2020, more in accordance with the international framework (table 3).

### Conclusions

It is difficult to assess the novelty and the effectiveness of the new European strategy as well as of the strategies carried out at the national level. The focus on agriculture, forestry and fishery is surely offering concrete possibilities of action. The recognition of the linkage between biodiversity and climate change, with its bi-directional effects, is important but would deserve a punctual analysis in quantitative terms to identify the possible important actions to be carried out in integrated terms. However, the fact that the outcomes of desertification and land degradation on biodiversity are not taken into account as related to the above mentioned linkage suggests the permanence of ultra-specialized scientific views and bureaucratic approaches.

Apart from these novelties, the present strategy appears very similar to the previous (unsuccessful) one: a long list of protectionist recommendations that it is difficult to forecast if they will be applied and if they will generate appreciable effects.

Nevertheless, some specific points are not considered, such as:

- operational suggestions toward a sustainable use of living resources (a delay in this field is clearly recognized in the National strategy);
- operational indications on alien species: permissible vs. prohibited in the various habitats;
- no consideration of the fruition of biodiversity (in concrete terms: where, when, how) is present and, therefore, no analysis of the relation between biodiversity and development or biodiversity and tourism. Also the linkage between biodiversity and cultural heritage, so important in Italy, is missing;
- the prioritization is not extended to a precise list of habitats, ecosystems, regions, with consequent lack of a real priority list; finally
- the “*ecosystem approach*”, as the real, applicable scientific advancement of the Convention, is missing.

In synthesis, there exists the commitment to protection, but science-based policy choices are scarce. Furthermore, if protected areas, in the enlarged sense of the word, are 20% or more of the National territory, it is difficult to think of a further increase. Perhaps, we should now focus on sustainable use and sustainable management. This focus is also suggested by the report published by the European Commission in May 2011, concerning life and resource efficiency. It calls for the necessity of decoupling growth from resource use (European Commission, 2011 - b), introducing a clear link between the conservation of biodiversity and the different sectors of economy, society and environment in the broadest sense.

## Bibliografia

- [1] European Commission, 1998. *European Community biodiversity strategy* [COM(1998) 42 - not published in the Official Journal].
- [2] European Commission, 2001. *Biodiversity Action Plans in the areas of Conservation of Natural Resources, Agriculture, Fisheries, and Development and Economic Co-operation* (COM/2001/0162 final).
- [3] European Commission, 2006. *Halting the loss of biodiversity by 2010 - and beyond - Sustaining ecosystem services for human well-being* (COM/2006/0216 final).
- [4] European Commission, 2011 (a). *Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020* (COM/2011/244 final). [http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/pdf/2020/1\\_EN\\_ACT\\_part1\\_v7%5B1%5D.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/pdf/2020/1_EN_ACT_part1_v7%5B1%5D.pdf)
- [5] European Commission, 2011 (b). *Life and resource efficiency. Decoupling growth from resource use*. European Union, Luxembourg [http://ec.europa.eu/environment/life/publications/lifepublications/lifefocus/documents/resource\\_efficiency.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/publications/lifepublications/lifefocus/documents/resource_efficiency.pdf)
- [6] Ministry of Environment, Land and Sea Protection, 2009 (a). *Convention on Biological Diversity. Fourth National Report*. Nature Protection Directorate. Rome. <http://www.cbd.int/doc/world/it/it-nr-04-p1-en.pdf>
- [7] Ministry of Environment, Land and Sea Protection, 2009 (b). *National Biodiversity Strategy in Italy*. Nature Protection Directorate. Rome. [http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/biblioteca/protezione\\_natura/dpn\\_biodiversity\\_strategy\\_italy.pdf](http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/biblioteca/protezione_natura/dpn_biodiversity_strategy_italy.pdf)
- [8] [www.unep.org/regionalseas/programmes/default.asp](http://www.unep.org/regionalseas/programmes/default.asp)
- [9] [www.teebweb.org/](http://www.teebweb.org/)

# Il grafene: proprietà, tecniche di preparazione ed applicazioni

Quasi per gioco, sette anni fa, due ricercatori russi, Andre Geim e Kostya Novoselov, usando un normale nastro adesivo e un blocco di grafite, riuscirono a dimostrare di poter isolare il materiale più sottile del mondo: uno strato singolo di atomi di carbonio ordinati secondo una struttura a nido d'ape. Tante e tali sono le sue proprietà che il "gioco" dei due amici è stato premiato con il Nobel per la fisica nel 2010.

Il grafene è forte 200 volte più dell'acciaio. Come conduttore di elettricità funziona meglio del rame ed è poi un eccezionale conduttore di calore. È quasi trasparente, ma è così denso che nemmeno l'elio, il più piccolo gas atomico, può attraversarlo. Queste proprietà superano ampiamente quelle di qualsiasi altra sostanza nota e permettono di pensare a questo materiale come l'elemento che rivoluzionerà il mondo dell'elettronica, del fotovoltaico e delle applicazioni sensoristiche.

In ENEA l'attività sul grafene è portata avanti nei laboratori del Centro Ricerche di Portici, dove si stanno indagando le sue potenzialità come sensore chimico e come materiale attivo nella fabbricazione di celle solari

■ *Girolamo Di Francia, Ettore Massera, Mara Miglietta, Ivana Nasti, Tiziana Polichetti*

## Introduzione

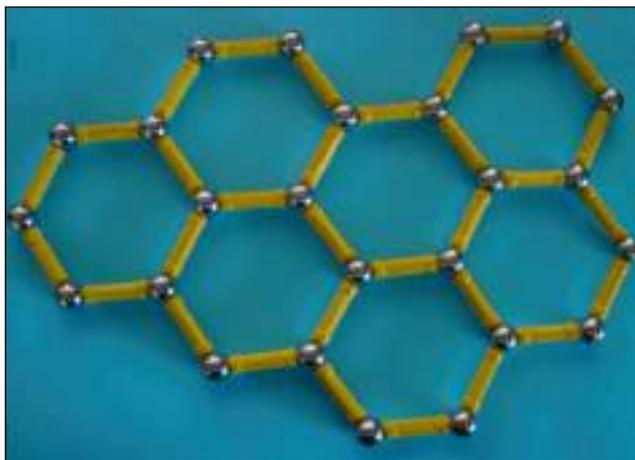
Paul Siffert, presidente negli anni 90 della European Material Research Society, era solito affermare che la storia degli uomini è caratterizzata dalla scoperta (o dalla riscoperta), di tanto in tanto, di un nuovo materiale che, per alcune decine di anni almeno, è poi in grado di segnare la scena scientifica e tecnologica. Per inciso, sempre per citare ancora Siffert, questa scoperta ha per i ricercatori un immediato innegabile vantaggio: quello di rilassare la tensione esistente tra il numero finito di materiali noti in natura ed il numero sempre crescente di ricercatori che si dedicano al loro studio ed allo sviluppo delle relative applicazioni.

L'inizio di questo nuovo millennio per la storia dei materiali sarà segnato da un nome certo: grafene. È infatti proprio per la sintesi e per gli studi relativi a questo materiale che, nell'ottobre del 2010, il Nobel per la Fisica è stato assegnato ad Andre Geim e Kostantin Novoselov della Manchester University.

Il grafene è uno strato monoatomico di atomi di carbonio organizzati secondo una struttura cristallina a celle esagonali (figura 1). Tale struttura di base ha conformazione planare e pertanto lo strato monoatomico si presenta come un materiale bidimensionale. Il grafene, i cui atomi di carbonio sono ibridizzati  $sp^2$ , può essere considerato come la struttura di base per la costruzione di tutti gli altri materiali grafiteici noti come il fullerene (0D), i nanotubi di carbonio (1D), la grafite (3D). Studi teorici risalenti a più di sessant'anni fa (i primi lavori risalgono al 1947) hanno dimostrato che il grafene, per via della particolare geometria del sistema e della configurazione elettronica del carbo-

■ **Girolamo Di Francia, Ettore Massera,  
Mara Miglietta, Ivana Nasti, Tiziana Polichetti**

*ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici, Laboratorio materiali e dispositivi di base*



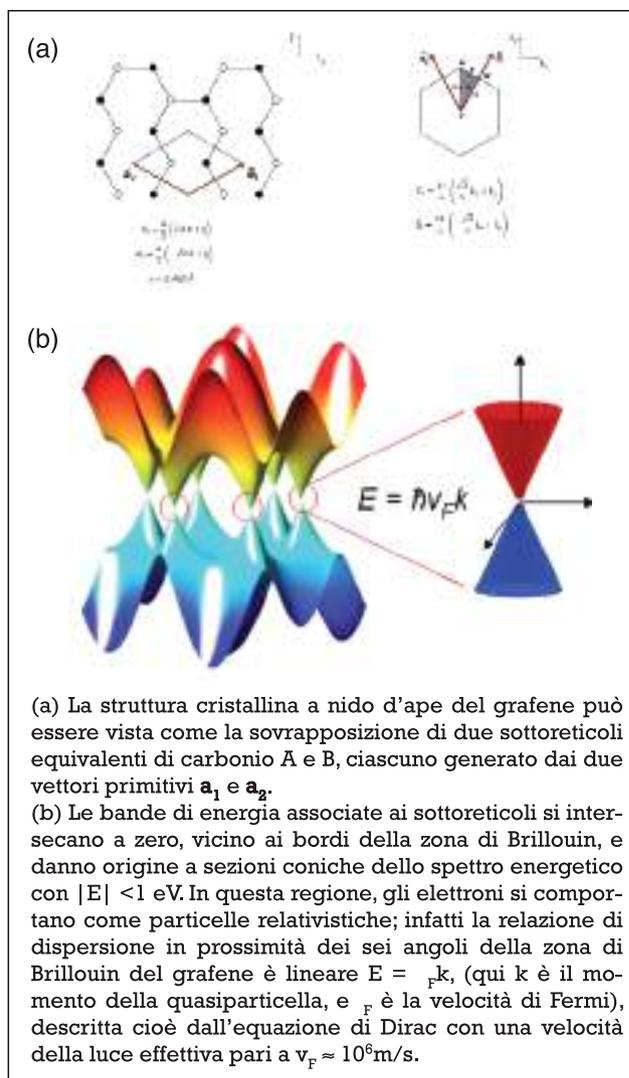
**FIGURA 1** La struttura a nido d'ape del grafene  
Fonte: ENEA

nio, possiede una struttura elettronica a bande del tutto peculiare, con caratteristiche meccaniche, oltre che elettroniche, eccezionali. Fino alla scoperta di Geim e Novoselov, si riteneva però che un tale materiale non potesse esistere allo stato isolato perché termodinamicamente instabile rispetto alla formazione di strutture curve come i fullereni o i nanotubi. Pur tuttavia, ci sono stati negli anni diversi tentativi di estrarre il singolo strato monoatomico dal materiale *bulk* corrispondente, la grafite. Quando, nel 2004, fu realizzato il primo dispositivo basato su di un singolo strato di grafene fu finalmente aperta la strada per la validazione sperimentale delle predizioni teoriche fatte sulle sue proprietà ed i risultati di queste sperimentazioni a tutt'oggi non smettono di stupire e consentono di predire che questo materiale avrà un ruolo centrale nel progresso scientifico e tecnologico dei prossimi anni. In ENEA l'attività sul grafene è portata avanti nel laboratorio Materiali e Dispositivi di Base (MDB) dell'Unità Tecnica Tecnologie Portici, a all'interno dell'Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali, sfruttando tecniche di fabbricazione diverse e complementari. In questo articolo si darà principalmente conto della attività svolta nel Centro Ricerche di Portici.<sup>[1,2]</sup>

### PROPRIETÀ FISICHE

La fisica del grafene è determinata dalla natura dello

spettro di energia in prossimità del massimo della banda di valenza e del minimo della banda di conduzione, i cosiddetti "punti di carica neutra" che corrispondono ai sei vertici dell'esagono della zona di Brillouin (figura 2). In questi punti le bande sono a contatto: il grafene è infatti l'unico materiale semiconduttore con *energy gap* nullo. Generalmente, si studiano le proprietà del sistema in due punti della zona di Brillouin



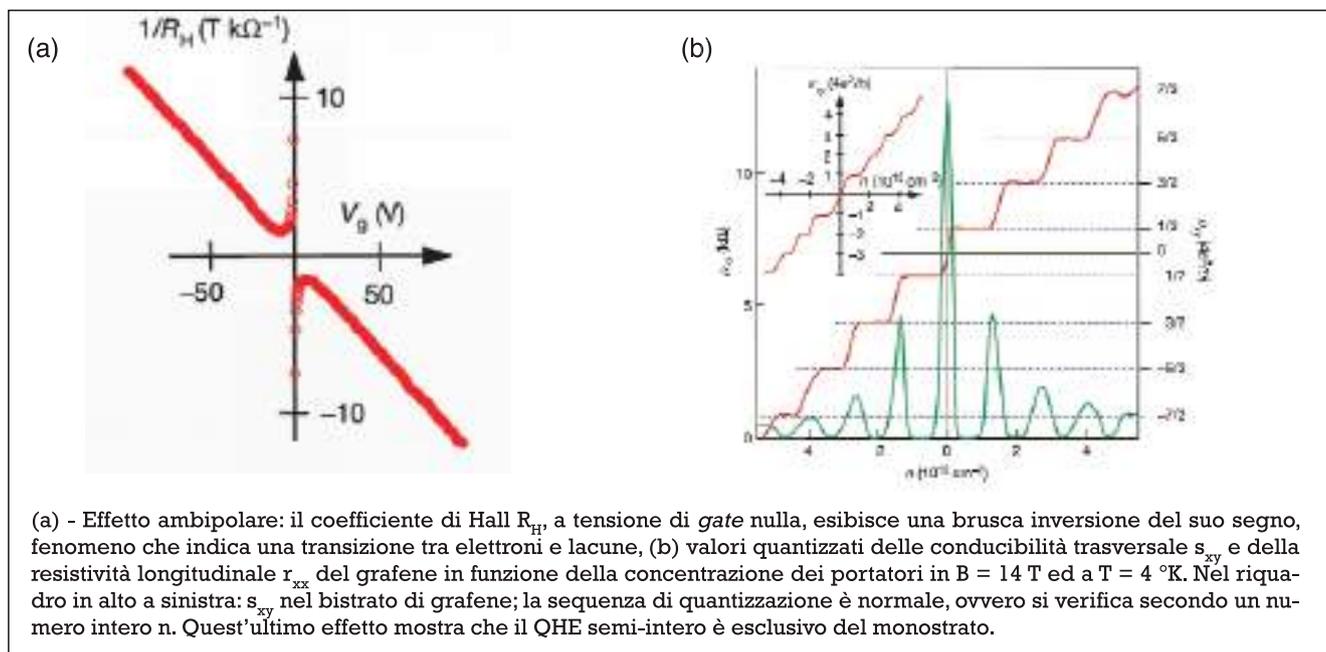
**FIGURA 2** Struttura del grafene: a) reticolo cristallino; b) prima zona di Brillouin  
Fonte: ENEA

uin, detti “punti di Dirac” ed indicati con K e K', poiché gli altri quattro sono equivalenti a questa coppia e sono collegati a questi ultimi da vettori del reticolo reciproco. In prossimità dei punti di carica neutra, le bande assumono una tipica forma conica, e la legge di dispersione mostra un andamento lineare con il vettore d'onda  $k$ . Ciò ha come diretta conseguenza che i portatori di carica obbediscono all'equazione di Dirac, mimando così il comportamento delle particelle relativistiche. I suoi portatori di carica vanno pertanto riguardati come elettroni che hanno perso la loro massa a riposo  $m_0$  o, equivalentemente, come neutrini che hanno acquistato la carica elettronica, e vengono perciò detti “fermioni di Dirac privi di massa”. Il grafene costituisce dunque un ponte tra elettrodinamica quantistica e fisica dello stato solido. La particolare struttura a bande del grafene fa sì che su di esso siano riscontrabili sperimentalmente effetti elettrici ed ottici di particolare rilievo che verranno brevemente discussi nel seguito.

**Trasporto balistico ambipolare:** l'effetto ambipolare consiste nell'inversione del segno dei portatori in fun-

zione del segno della tensione applicata. Tale fenomeno è stato osservato e misurato per la prima volta dal gruppo di Manchester (figura 3a) su di un fiocco di grafene inserito in un dispositivo a più terminali di tipo Hall ed ha fornito valori di mobilità dei portatori eccezionalmente alti, compresi fra 3.000 e 10.000  $\text{cm}^2/\text{Vs}$ , valori migliorabili fino a  $10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  se si riesce a limitare la concentrazione di impurezze. A differenza dei semiconduttori tradizionali, questi valori di mobilità non diminuiscono ad alte concentrazioni di portatori di carica ( $> 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ), conducendo ad un trasporto di tipo balistico, detto così perché i portatori si muovono nel reticolo senza subire *scattering* su distanze sub-micrometriche (fino a  $\sim 0,3 \text{ nm}$  a  $300 \text{ K}$ ).

**Minima conducibilità metallica:** quando il livello di Fermi è posizionato precisamente al punto di Dirac, si ha la totale assenza di portatori di carica; ciò dovrebbe produrre un valore di conducibilità nullo. In realtà, quando si riproduce sperimentalmente questa situazione, si osserva un valore di conducibilità pari a  $4 e^2/h$  e tale valore non varia con la temperatura. Questo evento è stato predetto teoricamente e va sotto il nome di “mi-



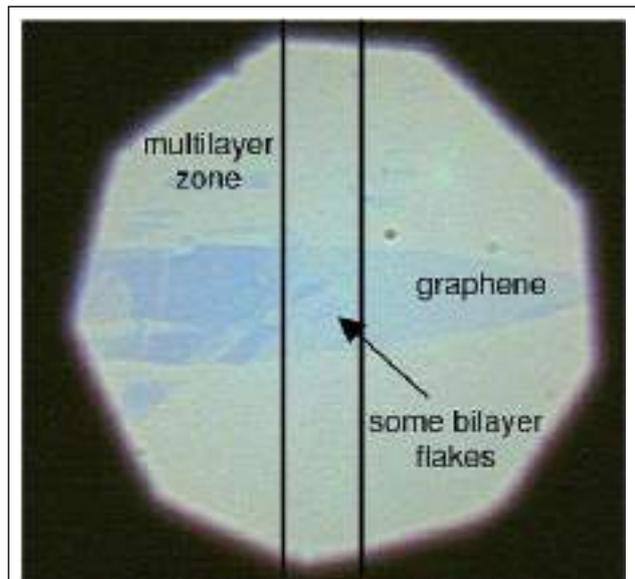
**FIGURA 3** Misura dell'effetto Hall nel grafene  
Fonte: K.S. Novoselov et al.<sup>[4]</sup>

nima conducibilità metallica”; esiste comunque una sovrastima del valore misurato sperimentalmente rispetto a quello teorico di un fattore  $\pi$ , nota in letteratura scientifica come “*the mystery of a missing pie*”.

**Effetto Hall quantistico:** l’effetto Hall è il verificarsi di una differenza di potenziale elettrico ai capi di un materiale conduttore, percorso da una corrente elettrica, quando esso viene immerso in un campo magnetico perpendicolare alla direzione della corrente.

L’effetto Hall quantistico (QHE) si osserva in sistemi elettronici bidimensionali con elevata mobilità e basso rumore. Il grafene è l’unico materiale conosciuto che esibisca tale effetto a temperatura ambiente. Inoltre, la condizione di quantizzazione osservata, in questo caso, è descritta da valori semi-interi (figura 3b).

**Trasparenza e saturazione ottica del grafene:** pur possedendo lo spessore di un solo atomo, il grafene è in grado di assorbire una frazione significativa di luce bianca incidente, pari a  $\pi = 2.3\%$ , e risulta pertanto visibile anche ad una semplice osservazione al microscopio ottico (vedi fig. 4). Qui  $\alpha = e^2/c \approx 1/137$  è la co-

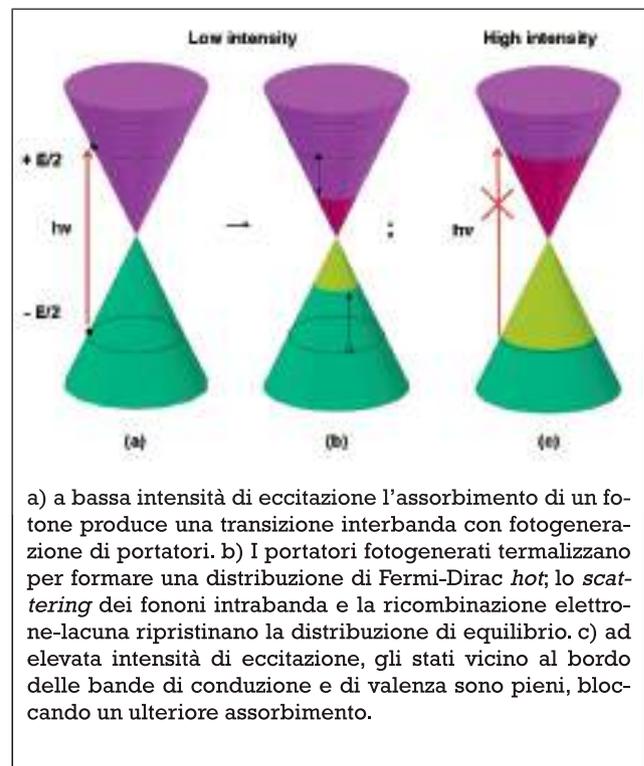


La possibilità di osservare “a vista” un singolo strato di atomi riflette una delle eccezionali proprietà fisiche di questo materiale.

**FIGURA 4** Il grafene osservato al microscopio ottico  
Fonte: ENEA

stante di struttura fine, il parametro che descrive l’accoppiamento tra luce e particelle relativistiche, tradizionalmente associato all’elettrodinamica quantistica. Il coefficiente di trasmissione ottica del grafene è di conseguenza pari a circa il 98% della luce incidente, e si mantiene quasi piatto in tutto lo spettro visibile. L’assorbimento ottico del grafene satura quando l’intensità in ingresso è superiore ad un valore di soglia. Questo comportamento, chiamato assorbimento ottico saturabile non-lineare, è un’altra conseguenza del *bandgap* nullo (figura 5).

**Energy gap modulabile:** quando il grafene viene sagomato in forma di nastro sottile (*ribbon*) si ottiene il confinamento dei portatori in un sistema quasi-unidimensionale, il che determina l’apertura dell’*energy gap*. I risultati sperimentali indicano che il *gap* di energia scala in modo inversamente proporzionale al-



**FIGURA 5** Schema del processo di eccitazione responsabile dell’assorbimento della luce nel grafene  
Fonte: ENEA

la larghezza  $W$  del *gibbo*; pertanto la dimensione dell'*energy gap* può essere modulata attraverso una scelta appropriata del parametro  $W$ .<sup>[3-6]</sup>

## TECNICHE DI PREPARAZIONE

La struttura cristallina della grafite si presenta come strati sovrapposti di grafene tenuti insieme da legami interpiano di tipo van der Waals con energie di circa 2 eV/nm<sup>2</sup>, che rendono la grafite facilmente sfaldabile in direzione parallela al piano cristallino applicando forze contenute nell'ordine dei 300 nN/mm<sup>2</sup>. Questa peculiarità fa prospettare la possibilità di utilizzo di diverse tecniche per separare i piani: tecniche fisiche di esfoliazione meccanica e tecniche chimiche di intercalazione di opportune sostanze (acidi inorganici, sali, solventi ecc.) con successiva separazione dei piani grafenici. Queste sono le metodiche di sintesi principalmente investigate nel laboratorio MDB di Portici. Complementari a queste sono i metodi di crescita per *Chemical Vapor Deposition* (CVD) su superfici di un opportuno substrato metallico e l'*annealing* termico ad alta temperatura ed in vuoto di carburo di silicio.

L'esfoliazione meccanica della grafite consiste nell'applicazione di una forza alla superficie di cristalli di grafite altamente orientata (HOPG) per staccare e dispiegare gli strati cristallini fino ad ottenere il singolo strato. I primi tentativi in tal senso sono stati riportati già nel 1998, quando l'interazione di punte per analisi AFM (*Atomic Force Microscopy*) e STM (*Scanning Tunneling Microscopy*) con la superficie della grafite HOPG viene sfruttata per fornire un'energia sufficiente a superare le forze di attrazione inter-piano e portare alla rimozione e isolamento dello strato monoatomico cristallino. In seguito, il gruppo di Geim, ha sviluppato un metodo molto semplice, divenuto universalmente noto come il metodo *scotch-tape*, che usa del semplice nastro adesivo per esfoliare la grafite HOPG. La tecnica consiste nel porre la superficie di un cristallo di grafite sul nastro adesivo, staccare il nastro e pelare così alcuni strati di materiale (figura 6). Il nastro con l'impronta della grafite viene quindi ripiegato su se stesso e svolto per diverse volte. Ogni volta, i fiocchi depositi si dividono in strati sempre più sottili. Alla fine del processo, i sottili fiocchi adesivi possono

essere trasferiti in maniera semplice ad un substrato isolante. L'esfoliazione meccanica, a tutt'oggi, è il metodo più semplice ed accessibile per isolare fiocchi di grafene della dimensione di alcuni micron quadri, utili per la ricerca di base sulle sue proprietà. In effetti, i campioni così preparati esibiscono le migliori caratteristiche elettriche e meccaniche. Per contro, questo metodo non si offre per una produzione di tipo industriale.

Il secondo tipo di approccio alla preparazione del grafene è l'esfoliazione per via chimica. In letteratura sono presenti numerosi lavori riguardanti l'esfoliazione di grafite, di suoi composti di intercalazione o di ossido di grafite attraverso semplici reazioni chimiche o metodi elettrochimici. Finora gli sforzi dei ricercatori sono stati diretti soprattutto verso l'esfoliazione dell'ossido di grafite (GO), un materiale avente la stessa struttura lamellare della grafite nel quale però alcuni atomi di carbonio presentano legami con ossigeno sotto forma di idrossili o di carbonili (più raramente epossidi e carbossili) ed in cui la distanza interlamellare aumenta a causa dell'ingombro sterico dell'ossigeno. La sua natura fortemente idrofila consente di ottenere, mediante sonicazione, l'intercalazione di molecole d'acqua e, conseguentemente, una semplice e pressoché completa esfoliazione (~90%)



La tecnica di esfoliazione messa a punto a Portici permette di realizzare campioni puri con dimensioni di un ordine di grandezza maggiori rispetto a quelle riportate in letteratura.

**FIGURA 6** Campione di grafite HOPG esfoliata meccanicamente su un substrato di polimero silconico  
Fonte: ENEA

del materiale in strati monoatomici di GO. Il grafene ossido è però un materiale isolante in cui i legami con l'ossigeno devono essere scissi ed il carbonio ridotto per poter avere le stesse proprietà del grafene. Sono stati sperimentati con successo sia metodi di riduzione di tipo chimico (mediante idrazina, idrochinone, sodio boro idruro o anche vitamina C) che metodi termici o UV che hanno prodotto materiali con conducibilità nell'ordine dei  $10^2 \text{ S cm}^{-1}$ . Ad esempio, tecniche di nano litografia termochimica sono state sviluppate per ridurre regioni selezionate di strati *single-layer* di GO mediante l'applicazione di punte AFM riscaldate. I processi di riduzione, però, lasciano spesso dei difetti nella struttura cristallina che degradano le proprietà elettroniche.

Dispersioni colloidali di fogli di grafene sono stati ottenuti anche attraverso l'esfoliazione di grafite in fase liquida in opportuni solventi organici. L'esfoliazione, promossa da sonicazione, avviene per interazione del solvente con gli strati di grafene ed è favorita per quei solventi la cui energia superficiale corrisponda a quella del grafene. Fortunatamente, esistono diversi solventi che rispondono a questo requisito fra i quali: N-metilpirrolidone (NMP), N,N-dimetilacetamide

(DMA), N,N-dimetilformamide (DMF), g-butilrolattone (GBL) ecc. (figura 7). Questi metodi forniscono rese in *monolayer* che possono arrivare fino al 50% in peso. Tuttavia, questi solventi sono costosi e richiedono particolare attenzione nel maneggiarli. Per questo motivo si stanno studiando solventi alternativi, in primo luogo l'acqua, maggiormente eco-compatibili.

I metodi chimici offrono l'indubbio vantaggio della scalabilità e soprattutto della versatilità.

Il problema principale di questi processi è però lo scarso controllo che si riesce ad avere sul numero di strati delle sfoglie di grafite disperse, la qual cosa si traduce in un'elevata polidispersità della sospensione. L'isolamento dei soli strati monoatomici è pertanto virtualmente impossibile, a meno di sofisticatissime tecniche di separazione.

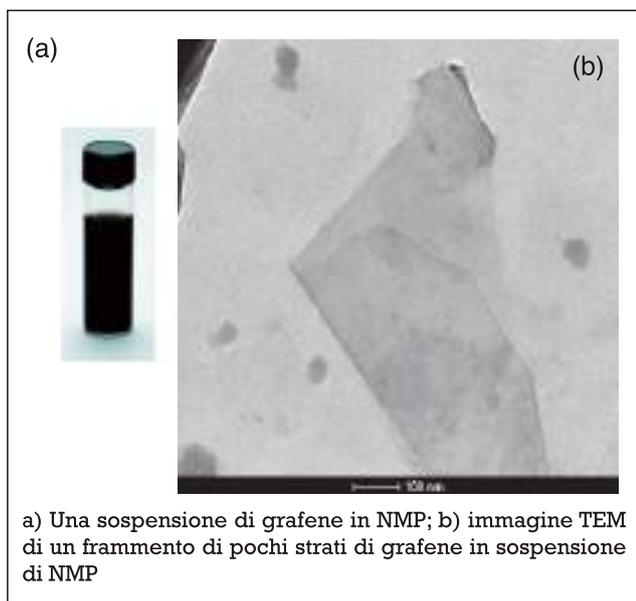
Se si possono annoverare molti sforzi nella direzione dell'estrazione del singolo strato monoatomico dal materiale *bulk*, meno battuta ma assai più affascinante e complessa appare la strada della sintesi vera e propria del grafene. Recentemente è stato pubblicato un lavoro sulla preparazione di *nanoribbon* di grafene per accoppiamento di precursori molecolari, quali i polifenileni, e successiva ciclo-deidrogenazione attivata termicamente. In questo processo è possibile determinare anche la topologia del materiale risultante introducendo opportuni gruppi sostituenti sul precursore molecolare. [2, 7-11]

## LE APPLICAZIONI DEL GRAFENE

Il grafene, indicato come il materiale delle meraviglie, ha suscitato l'entusiasmo dei ricercatori che stanno ora attivamente cercando di esplorarne tutte le potenzialità in diversi settori applicativi.

Una delle prime applicazioni indagate con successo è la preparazione di nano compositi polimerici per i quali si osservano gli straordinari miglioramenti di diverse proprietà come la conducibilità elettrica, la stabilità termica il modulo elastico o la resistenza alla trazione, in seguito all'inserimento nella matrice polimerica di grafene o altre nano strutture basate sul grafene.

L'impiego del grafene in elettronica è molto promettente in virtù dell'elevata mobilità dei portatori di carica e del basso rumore, peculiarità ben sfruttabili nella



a) Una sospensione di grafene in NMP; b) immagine TEM di un frammento di pochi strati di grafene in sospensione di NMP

**FIGURA 7** Esfoliazione del grafene in solvente organico  
Fonte: ENEA

fabbricazione di transistor a effetto di campo (FET) ad alte prestazioni. Nel febbraio 2010 è stata annunciata la realizzazione di un FET in grafene fabbricato su un wafer da 2 pollici con una frequenza di taglio pari a 100 GHz; partendo da un *bilayer* di grafene si è anche realizzato un FET *dual-gate* con un rapporto on / off di circa 100 a temperatura ambiente e pari a 2.000 a 20 °K.

Il *bandgap* nullo fa perdere al grafene un requisito essenziale nel campo dell'elettronica digitale. Un modo per ovviare a questo problema consiste nel ricorrere ai *nanoribbon* di grafene (GNRs). I GNRs posseggono *bandgap* di dimensioni sufficienti per le applicazioni in elettronica digitale; l'ampiezza del *bandgap* è correlata sia alla larghezza del ribbon che alla geometria dei suoi bordi (zigzag o *armchair*), tuttavia, è difficile ottenere su scala atomica il controllo necessario per fabbricare GNRs di larghezza e direzione precisa. Recentemente, partendo da precursori molecolari, è stata però dimostrata la possibilità di crescere GNRs su substrati metallici con precisione atomica.

Il grafene risulta estremamente interessante in applicazioni dove il funzionamento del dispositivo può essere ottenuto mediante meccanismi di trasporto di carica alternativi a quelli classici.

L'ottima conducibilità elettrica e l'alta trasparenza ottica del grafene ne fanno un candidato ideale per la realizzazione di elettrodi trasparenti e conduttori, con ricadute importanti in optoelettronica ed in ambito fotovoltaico.

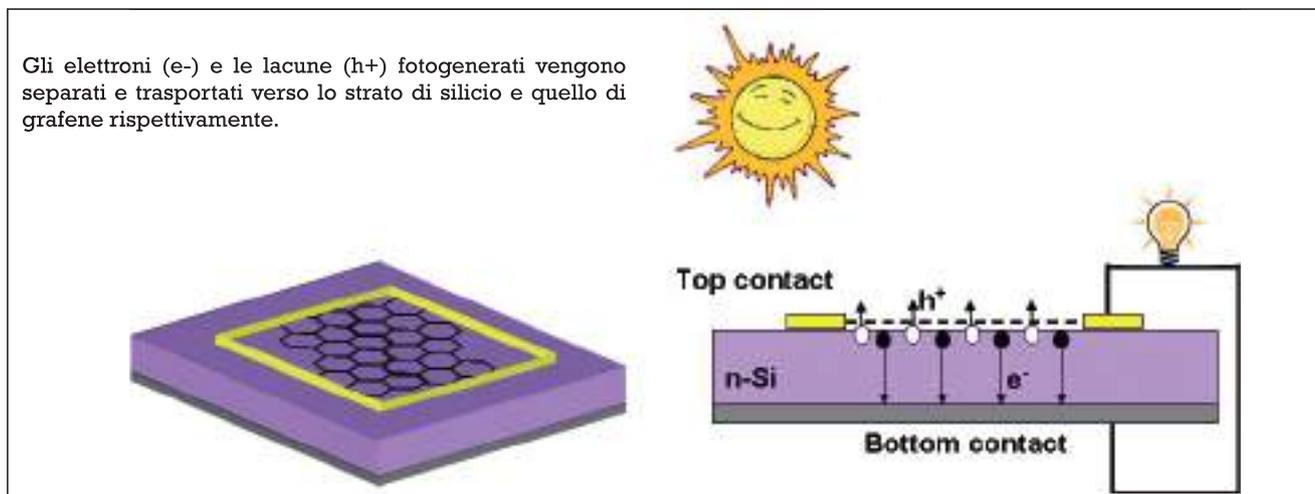
La combinazione delle sue proprietà meccaniche con quelle elettriche ne consente l'impiego nell'elettronica flessibile, pieghevole e *stretchable*.

La proprietà di assorbimento saturabile ha rilevanza per le possibili applicazioni nel campo dei laser e nella fotonica ultraveloce. La fabbricazione di dispositivi che sfruttano fonti di energia pulita potrebbe trarre vantaggio dalle proprietà del grafene che, in effetti, viene già impiegato come elettrodo per le batterie ricaricabili a ioni di litio e negli ultracondensatori. Numerosi sono gli studi che riguardano l'impiego del grafene per lo stoccaggio d'idrogeno nelle celle a combustibile.

È stata anche valutata la possibilità d'utilizzo del grafene in sostituzione del metallo in giunzioni Schottky. La grafite è stata già utilmente impiegata in questa ap-

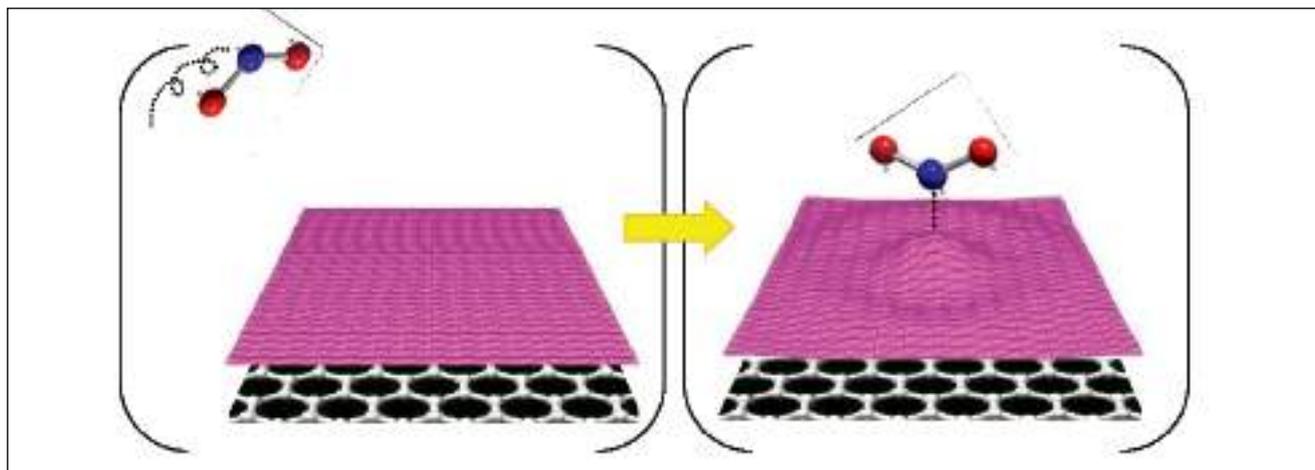
plicazione in combinazione con una vasta gamma di semiconduttori, tra i quali il Si, il GaAs e il 4H-SiC; la barriera Schottky formata all'interfaccia grafite/semiconduttore è estremamente robusta ed offre molti vantaggi rispetto a quella determinata dai metalli tradizionali. A causa del forte legame esistente tra atomi di carbonio e le dimensioni relativamente modeste di tale atomo, non si verificano fenomeni di migrazione del carbonio nel semiconduttore, preservando in tal modo tutte le proprietà rettificanti della barriera. Inoltre, a differenza del metallo il cui livello di Fermi è fisso, la grafite può essere drogata e ciò consente di modulare l'altezza dell'energia di Fermi e di conseguenza anche quella della barriera Schottky. Infine, non essendo un metallo pesante, la grafite non è tossica. La sostituzione della grafite con il grafene aggiungerebbe a tutti questi vantaggi anche la risoluzione del problema che finora ha limitato l'impiego dei dispositivi Schottky in ambito fotovoltaico, ovvero l'assorbimento della luce incidente da parte dello strato metallico frontale: in questo caso il grafene, con la sua elevata trasparenza, consente alla luce incidente di passare quasi inalterata, aprendo in tal modo la strada all'impiego dei dispositivi Schottky in ambito fotovoltaico (figura 8).

Il rapporto tra superficie e volume eccezionalmente elevato, ha spinto infine la comunità scientifica ad indagare le potenzialità del grafene nel campo della rivelazione dei gas; in realtà, la capacità di rilevare la presenza anche di una singola molecola interagente è stata già dimostrata nel lavoro di Schedin et al. (figura 9). Dopo questo pionieristico articolo, altri lavori successivi hanno verificato l'elevata sensibilità del grafene a temperatura ambiente ad un'ampia gamma di analiti; tale materiale non è però esente dal problema cronico dei sensori chimici a stato solido che operano a temperatura ambiente, ovvero dal lento desorbimento dell'analita, dalla bassa selettività, e dalla scarsa stabilità elettrica in condizioni ambientali. Finora, comunque, la realizzazione del sensore chimico basato sul singolo fiocco di grafene è ancora difficile da realizzare a causa della complessità dell'intero processo, a partire dalla sintesi e/o isolamento del grafene fino alla sua introduzione nell'architettura del dispositivo. A tutt'oggi, diversi lavori che riguardano la fabbricazione di sensori di gas utilizzano come strato



Gli elettroni ( $e^-$ ) e le lacune ( $h^+$ ) fotogenerati vengono separati e trasportati verso lo strato di silicio e quello di grafene rispettivamente.

**FIGURA 8** Rappresentazione schematica di una cella solare Schottky realizzata in grafene su silicio  
Fonte: ENEA



**FIGURA 9** Immagini esemplificative delle modalità di interazione della molecola di  $NO_2$  con il sistema elettronico  $\pi$  del grafene  
Fonte: ENEA

sensibile un materiale molto più facilmente gestibile, come l'ossido di grafene ridotto.

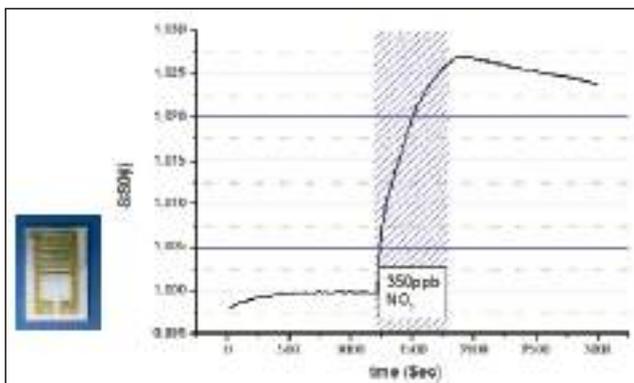
Nel laboratorio MDB dell'ENEA di Portici sono stati realizzati dei dispositivi sensori basati sul grafene, ottenuto per esfoliazione chimica della grafite (figura 10). Le misure preliminari, effettuate esponendo i dispositivi a diversi analiti tra cui  $NO_2$ ,  $NH_3$ ,  $CO$  e  $H_2O$  in un sistema di caratterizzazione dei sensori, danno in-

dicazioni molto promettenti sia in termini di risposta che in termini di selettività del sensore. I risultati ottenuti sono ampiamente in linea con le migliori prestazioni riportate finora in letteratura. [2, 6, 11-21]

### CONCLUSIONI

Attualmente, i nanomateriali a base di carbonio come fullereni e nanotubi sono ancora ben lontani dall'esse-

re utilizzati nella produzione di micro- o nano-dispositivi elettronici, fatta eccezione per alcune applicazioni di nicchia. Per garantire che il grafene non rimanga un materiale puramente accademico, con poche applicazioni nel mondo reale, gli sforzi della comunità scientifica devono essere volti alla ricerca di tecniche di sintesi che possano aggirare i limiti intrinseci dell'esfoliazione meccanica, ed orientati ad ottenere informazioni aggiuntive sulle proprietà fisiche e chimiche, che individuino nuove applicazioni di questo sorprendente materiale.



**FIGURA 10** Risposta elettrica a 350 ppb di  $\text{NO}_2$  di un sensore realizzato con grafene esfoliato chimicamente nei laboratori ENEA di Portici

Fonte: ENEA

#### Bibliografia

- [1] K.S. Novoselov et al., *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*, Science, 306, 666-669 (2004).
- [2] A. Geim et al., *The rise of graphene*, Nat. Mater., 6, 183-191 (2007).
- [3] Y. Zhu, *Graphene and graphene oxide: synthesis, properties and applications*, Adv. Mater., 22, 3906-3924 (2010).
- [4] K.S. Novoselov et al., *Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in grapheme*, Nature, 438, 197-200 (2005).
- [5] R.R. Nair et al., *Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene*, Science, 320, 1308 (2008).
- [6] Q. Bao et al., *Atomic-Layer Graphene as a Saturable Absorber for Ultrafast Pulsed Lasers*, Adv. Funct. Mater., 19, 3077-3083 (2009).
- [7] C. Soldano et al., *Production, properties and potential of graphene*, Carbon 48, 2127-2150, 2010.
- [8] S. Park et al., *Chemical methods for the production of graphenes*, Nat. Nanotechnol., 4, 217-224 (2009).
- [9] Y. Hernandez et al., *High yield production of graphene by liquid phase exfoliation of graphite*, Nat. Nanotechnol., 3, 563-568 (2008).
- [10] U. Khan et al., *High concentration solvent exfoliation of graphene*, Small, 6, 864-871, (2010).
- [11] J. Cai et al., *Atomically precise bottom-up fabrication of graphene nanoribbons*, Nature, 466, 470-473 (2010).
- [12] F. Xia et al., *Graphene Field-Effect Transistors with High On/Off Current Ratio and Large Transport Band Gap at Room Temperature*, Nano Lett., 10, 715-718 (2010).
- [13] M.S. Fuhrer, *Graphene: Ribbons piece-by-piece*, Nat. Mater., 9, 611-612 (2010).
- [14] S. Bae et al., *Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes*, Nat. Nanotechnol., 5, 574-578 (2010).
- [15] S. Tongay, et al., *Graphite based Schottky diodes formed on Si, GaAs and 4H-SiC substrates*, arXiv:0910.0615v1.
- [16] S. Tongay, et al., *Tuning Schottky diodes at the many-layer-graphene/semiconductor interface by doping*, Carbon Volume 49, 2011, 2033-2038.
- [17] X. Li, et al., *Graphene-On-Silicon Schottky Junction Solar Cells*, Advanced Materials 22, 2743-2748, 2010.
- [18] F. Schedin et al., *Detection of individual gas molecules adsorbed on grapheme*, Nat. Mater., 6, 652-655 (2007).
- [19] J.T. Robinson et al., *Reduced Graphene Oxide Molecular Sensors*, Nano Lett., 8, pp. 3137-3140 (2008).
- [20] M. Qazi, et al., *Trace gas detection using nanostructured graphite layers*, Appl. Phys. Lett., 91, pp. 233101-3 (2007).
- [21] J.D. Fowler, et al., *Practical Chemical Sensors from Chemically Derived Graphene*, ACS Nano, [3], 301-306, 2009



# Graphene: large area synthesis by Chemical Vapor Deposition

The synthesis of graphene by Chemical Vapor Deposition (CVD) process is one of the most promising way for device applications since it allows producing large area films on suitable substrates. In this work graphene films of about  $1\text{cm}^2$  were grown on copper foil substrates by CVD using hydrogen/methane or hydrogen/argon/ethanol mixtures as gas precursors. The growth processes were performed at  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , both at atmospheric and low pressures. A system for the fast cooling of the sample was implemented, allowing for a rapid decrease of the sample temperature below  $600\text{ }^\circ\text{C}$  in few seconds. Samples grown under different conditions were analyzed by SEM, Raman spectroscopy and XPS with the aim to assess their characteristics and to refine the growth process. Under the optimized conditions continuous films consisting of very few graphene layers ( $<5$ ) were grown and transferred to  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  substrates after Cu dissolution

■ Rossella Giorgi, Nicola Lisi, Theodoros Dikonimos, Mauro Falconieri, Serena Gagliardi, Elena Salernitano, Piero Morales<sup>1</sup>, Luciano Pilloni<sup>2</sup>

## Grafene: sintesi su larga area mediante Deposizione Chimica da fase Vapore

Il processo di Deposizione Chimica da fase Vapore (CVD) è uno dei metodi più promettenti per la crescita di film di grafene in vista delle applicazioni in dispositivi, in quanto permette di ottenere campioni di grande area. In questo lavoro viene descritto il processo utilizzato per la sintesi di film di grafene di circa  $1\text{ cm}^2$ , cresciuti su substrati costituiti da sottili fogli di rame, utilizzando miscele di idrogeno/metano o idrogeno/argon/etanolo come precursori gassosi. Le crescite sono state eseguite a  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  variando la pressione. Il reattore è dotato di un sistema per il raffreddamento rapido dei campioni, basato sull'estrazione del campione dalla zona calda del forno, che permette di ridurre in pochi secondi la temperatura sotto i  $600\text{ }^\circ\text{C}$ . I campioni cresciuti variando i parametri di processo sono stati analizzati con diverse tecniche di caratterizzazione: SEM, Spettroscopia Raman e XPS. I film cresciuti nelle condizioni ottimali, trasferiti successivamente su substrati di  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  dopo la dissoluzione del Cu, risultano continui sull'intera area e costituiti da pochissimi ( $<5$ ) strati di grafene

■ Rossella Giorgi, Nicola Lisi, Theodoros Dikonimos, Mauro Falconieri, Serena Gagliardi, Elena Salernitano, Piero Morales

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali, Laboratorio Tecnologia delle Superfici

■ Luciano Pilloni

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali, Laboratorio Chimica e Tecnologia dei Materiali

## Introduction

Graphene, a single layer of carbon atoms arranged in a hexagonal network, is a 2D material with outstanding physical properties. The successful isolation of graphene [1] has drawn great interest for experimental investigations and has paved the way to a wide range of potential applications. Electronic and optoelectronic devices incorporating graphene as an active layer, such as high frequency transistors, solar cells, logic devices and interconnects in CMOS devices have been reported as proof of concept experiments. Recently nitrogen-doped graphene has been also studied as active material for ultracapacitors [2] and fuel cells [3]. The ability to create a device is facilitated by the availability of large-area graphene. Mechanical exfoliation of graphene from bulk graphite has enabled fundamental investigations on the physical properties of graphene; however, by using this technique it has not yet been possible to make large area graphene since the technique is not scalable.

Recently, considerable research efforts were spent on the synthesis of large area graphene by using different methods. Some of the most prominent methods include chemical modification of graphite, desorption of Si from either the Si plane or C plane of SiC substrates and catalyst-assisted synthesis in a chemical vapor deposition (CVD) reactor.

In this process, carbon-bearing gaseous species react at high temperatures (900-1100 °C) in the presence of a metal catalyst, which serves both in the decomposition of the carbon species and in the nucleation of the graphene lattice. The mechanism of graphene growth on metals is presumably influenced by several factors, including the carbon solubility limit in the metal, its crystal structure, lattice parameters and thermodynamic parameters such as the temperature and pressure of the system. In the case of intermediate-high solubility (0.1 atom %) metals, such as Co and Ni, graphene synthesis is thought to proceed via a combination of carbon atoms diffusion into the metal at the growth temperature and carbon atoms segregation from bulk to the metal surface on cooling after CVD process. In the case of very low carbon solubility met-

als (0.001 atomic %), such as Cu, the synthesis of graphene is on the other hand a process limited to the surface of the catalyst. The growth of graphene monolayers on single crystal transition metals such as Co [4], Pt [5], Ir [6.] Ru [7] and Ni [8] under ultra-high vacuum conditions is widely reported in literature. It is worth noting that single crystal substrates are desirable to grow defect-free graphene films, but in practice for large scale applications less expensive polycrystalline substrates must be used.

Polycrystalline nickel, as thin film, is one of the most commonly used substrate for metal assisted CVD graphene growth. Large area films growth has been reported [9] but the high carbon solubility and small grain size of this metal seem to limit the single layer defect-free growth.

Large area graphene synthesis using Cu catalyst has received widespread attention since it was first reported in 2009 [10-11]. Compared to other metal substrates, copper, besides having a very low carbon solubility, when annealed at temperature close to its melting point, experiences grain size growth needed for the achievement of large uniform graphene domains. Moreover copper has the advantage to be flexible when in foil of low thickness and for this reason apt to be processed with roll-to-roll technology[12].

Braviripudi et al [13] have demonstrated that the kinetics of graphene growth in a CVD process plays a critical role in the uniformity of large area graphene using Cu catalyst. Although the thermodynamics of the synthesis system remains the same, whether the process is performed at atmospheric pressure, low pressure (0.1-1 Torr), or under ultra-high vacuum conditions ( $10^{-4}$ - $10^{-6}$  Torr), the kinetics of the growth phenomenon are different, leading to a variation in the uniformity of the graphene over large areas. Growing graphene large-area continuous films, with controlled number of layers, homogeneous and defect-free is still a challenge for researchers in view of numerous applications, ranging from electronics to new generation solar cells and organic lighting, where there is the need to develop transparent conductive electrodes alternative to the expensive indium thin oxide [14-15]. In our laboratory we have optimized the graphene

growth by thermal CVD on copper substrates by varying process parameters such as precursors mixture, gas flow rate, growth temperature, pressure and duration of the growth stage. Feedback on the quality of the samples was routinely obtained by scanning electron microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy and Raman spectroscopy. Graphene films with area of the order of 1 cm<sup>2</sup>, consisting of very few layer regions with small inclusions of multilayered regions, have been grown. A procedure for transferring the graphene film from Cu to 500nm SiO<sub>2</sub>/Si substrate has been also developed.

### Experimental

Copper foils (PHC SE-Cu58 ) 25µm thick were used as growth substrate provided from Schlenk Metallfolien GmbH.

The thermal CVD reactor consists of a quartz tube of 25 mm diameter placed horizontally into an oven (Fig.1). The gas precursors are admitted from one side with flows controlled by digitally-controlled flow meters while the pressure is regulated by the pump placed at the other end of the tube. A system for a fast extraction of the sample has been implemented for fast cooling that is needed to stop the growth of further graphene layers and for the additional possibility of processing and extracting several samples during a single heating cycle of the reactor. Fast cooling also prevents carbon segregation occurring on substrates with high carbon solubility at high temperature, even when the gaseous precursor has been switched off. Hydrogen/methane or hydrogen/argon/ethanol mixtures have been used for the synthesis. The growth

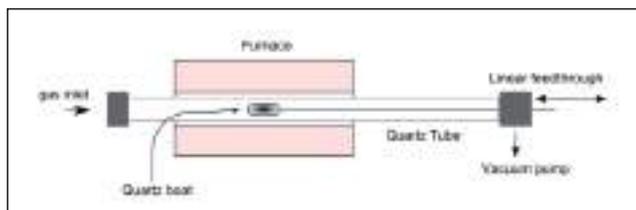


FIGURE 1 Scheme of the CVD reactor  
Source: ENEA

process is illustrated in fig. 2: first the oven is heated in hydrogen/argon atmosphere, then the copper substrates are introduced into the hot zone and thus rapidly heated up to the process temperature, which was varied between 950 and 1050 °C. After a defined annealing time, the gas precursors mixture is introduced and the growth proceeds for the desired time. Then the gaseous carbon source is switched off and the sample is rapidly removed from the hot zone and cooled down at room temperature under inert gas. Table 1 shows the utilized process parameters.

Graphene coated copper substrates are available for a first observation with the Scanning Electron Microscopy (SEM). Then the graphene films are etched off from the substrate by dissolving the metal in aqueous solution of HNO<sub>3</sub>. The resulting floating sheets, af-

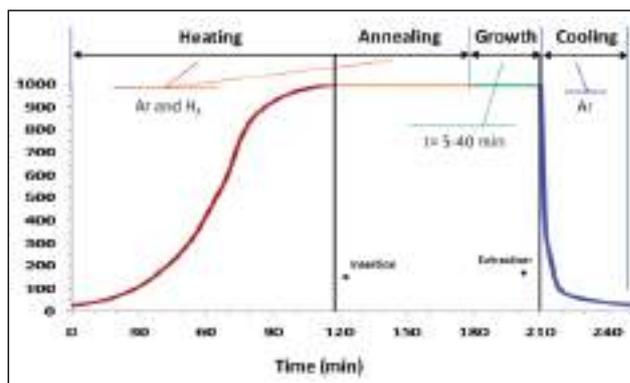


FIGURE 2 Grafene growth process  
Source: ENEA

		Methane	Ethanol
Heating/Annealing	P	220mtorr - 760 torr	4-750 torr
	Ar	0-200sccm	15-60sccm
	H <sub>2</sub>	5-100sccm	2-4sccm
Growth	P	170mtorr - 760 torr	4-750 torr
	Ar	0-200sccm	-
	H <sub>2</sub>	2-100sccm	0-4sccm
	CH <sub>4</sub>	1-3 sccm	-
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-	15-60sccm
Cooling	P	760 torr	760 torr

TABLE 1 Process parameters  
Source: ENEA

ter washing in distilled water in order to remove contaminating particles deriving from copper dissolution, are transferred to 500nm SiO<sub>2</sub>/Si substrates taking advantage of the strong adherence of graphene to the oxide surface, and ready for further characterization. Graphene films are characterized by SEM, Raman Spectroscopy and X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS). SEM observations were performed by a Field Emission Gun (FEG)-SEM (LEO1530) equipped with an in-lens secondary electrons detector; Raman spectra were acquired by a home-made Raman microscope, equipped with TRIAX 550 monochromator and a CCD detector and 532 nm excitation laser; XPS analysis were performed by a V.G. ESCALAB MKII, equipped with twin Al/Mg anode.

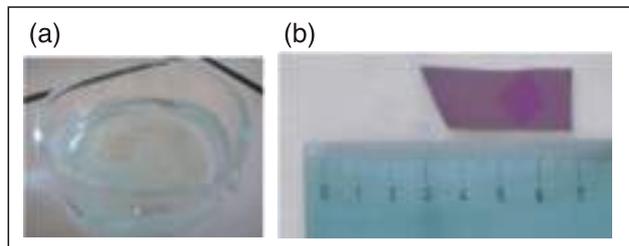
## Results

Graphene films were grown on copper foils by CVD of carbon using two different precursors: methane and ethanol. According to Li et al [10], the thickness of Cu foils was not expected to influence the graphene growth; they have demonstrated in fact that Cu foils of varying thickness yielded similar graphene structure, showing that on copper graphene is growing by a surface-catalyzed process rather than a precipitation process, as reported by others for Ni [9, 16]. In order to increase the grain size of the substrate, samples underwent an annealing treatment before the graphene growth.

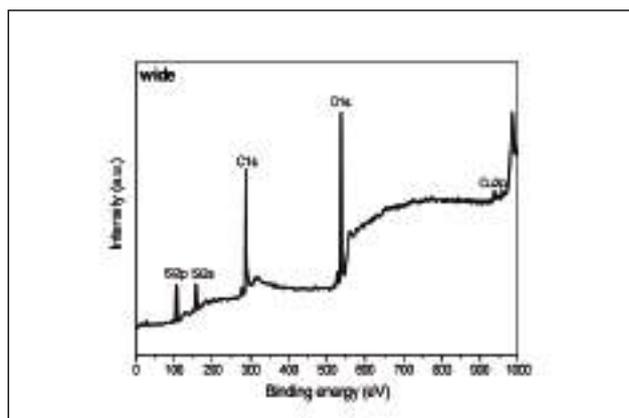
Two steps of the graphene transfer from Cu to SiO<sub>2</sub>/Si substrate are illustrated in fig. 3, where the floating film during copper dissolution and the film adhering on the new substrate are shown in panel a and b respectively.

The transfer procedure from Cu foil to SiO<sub>2</sub>/Si substrate was optimized evaluating, by XPS analysis, the occurrence of undesired film contaminations, e.g. as shown in fig. 4, where a small Cu signal due to residual nanoparticles, also seen by SEM, was detected besides the C, O and Si peaks.

Raman spectroscopy plays an important role in the characterization of graphitic materials. The Raman spectrum of graphene consists of three major fea-



**FIGURE 3** a) graphene film floating during copper substrate dissolution, b) graphene film transferred on SiO<sub>2</sub>/Si substrate  
Source: ENEA

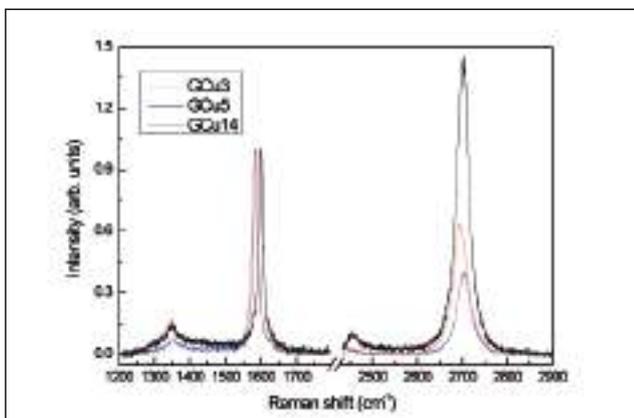


**FIGURE 4** XPS spectrum of a graphene film after the transfer on SiO<sub>2</sub>/Si substrate  
Source: ENEA

tures: D ( $\nu_D \sim 1350 \text{ cm}^{-1}$ ), G ( $\nu_G \sim 1586 \text{ cm}^{-1}$ ) and 2D ( $\nu_{2D} \sim 2686 \text{ cm}^{-1}$ ) bands. The G band is associated with the doubly degenerate (iTO and LO) phonon mode ( $E_{2g}$  symmetry) at the Brillouin zone center and it is the only band coming from a normal first order Raman scattering process in graphene. On the other hand, the 2D and D-bands originate from a second-order process, involving two iTO phonons near the K point for the 2D band or one iTO phonon and one defect in the case of the D-band. While the D band rises from structural defects in the *a-b* plane, the 2D band is allowed in the second order Raman spectra of graphene without any kind of disorder or defects. The intensity, the width and the profile of the 2D band are sensitive to the number of layers and to their stacking order

[17], whereas the intensity of the D band is related to disorder and defects in the graphene planes [18-19]. The monolayer graphene obtained by graphite exfoliation exhibits the following Raman features: 2D line width  $24\text{ cm}^{-1}$  and  $I_G/I_{2D}$  ratio 0.25. As the number of layers increases, the 2D band profile becomes asymmetric and splits into more components and also the  $I_G/I_{2D}$  ratio increases. For more than 5 layers the spectra can be hardly distinguished from that of graphite. In turbostratic graphite (where the stacking of the layers is rotationally random with respect to one another along the  $c$  axis), the 2D band is a single lorentzian profile as in a monolayer graphene, but with a larger line width.

First we discuss the results obtained with methane. Initially samples were grown at temperatures up to  $1000^\circ\text{C}$  using a mixture of 25 sccm  $\text{CH}_4$ , 100 sccm  $\text{H}_2$  and 200 sccm Ar, at 760 Torr. According to [13], under high methane concentration and high pressure the graphene growth on Cu was not a self-limiting process, as expected in the presence of a very low carbon solubility, and a multilayered film was obtained (sample GCu3). This is shown by the line width of the 2D Raman band reported in fig. 5, where Raman features of three different samples, transferred to oxidized silicon substrates, are reported. By decreasing the pressure down to 440 mTorr and the  $\text{CH}_4$  flow rate to 3 sccm, a significant reduction of the film thickness



**FIGURE 5** Raman spectra of samples GCu3, GCu5 and GCu14  
Source: ENEA

was obtained (sample GCu5): even though far from the typical monolayer graphene features, the 2D peak full-width-half-maximum (FWHM) was strongly reduced and the  $I_G/I_{2D}$  was also improved. Then the growth time was varied between 30 and 5 minutes. As the growth time decreased the graphene films quality improved, revealing a FWHM of  $31\text{ cm}^{-1}$  and a  $I_G/I_{2D}$  of 0.7 for the shortest duration (sample GCu14 in fig.5). At the same time, a low intensity of the disorder-induced D band was observed, with  $I_D/I_G = 0.15$  indicating that the amount of structural defects in the  $a$ - $b$  plane was limited and the crystallinity high.

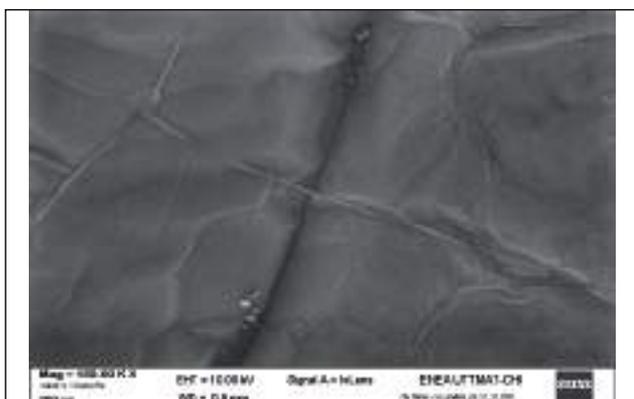
Ethanol has been widely reported as a gas precursor for single walled carbon nanotubes [20], much less extensively for graphene. Miyasaka et al [21, 22] have demonstrated graphene layers formation on Ni substrate with this precursor. Here graphene films were grown by using a mixture of argon and ethanol on copper foil, for sake of comparison with the  $\text{CH}_4$  grown films. Samples grown at  $1000^\circ\text{C}$ , at atmospheric pressure, with 60 sccm argon/ethanol mixture and for 30', resulted into a multilayered structure with a corrugated morphology, as shown in fig 6.

By lowering the pressure to 4 Torr, a remarkable film structure change was observed; the morphology features and Raman spectra are comparable with those of the best sample grown from  $\text{CH}_4$ . Further decrease of the ethanol concentration and growth time apparently did not result in different features. Figure 7 shows a SEM image of graphene grown from methane on a copper substrate where a grain boundary is clearly visible. The dimension of Cu grains is controlled by the annealing process performed before the graphene growth. The image shows the presence of graphene "wrinkles". The wrinkles, associated with the thermal expansion coefficient difference between Cu and graphene, are also found to cross Cu grain boundaries, suggesting that the graphene film develops continuously.

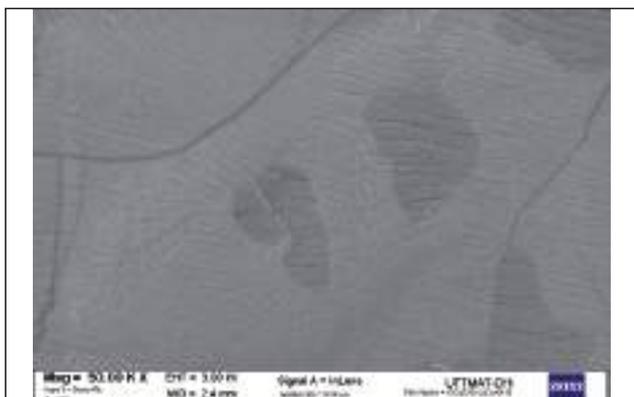
Samples grown from ethanol (Fig. 8) shows the presence of non-uniform dark regions occurring on an underlying pale grey background, where Cu surface steps, due to the reconstruction of the surface substrate under high temperature, are also visible.



**FIGURE 6** Multilayered graphene film showing corrugated morphology  
Source: ENEA



**FIGURE 7** SEM image of Cu substrate after graphene growth with methane precursor  
Source: ENEA



**FIGURE 8** SEM image of Cu substrate after graphene growth with ethanol precursor  
Source: ENEA

The number of graphene layers determines the regions with different color: the more the film is thin, the more the color is bright. The percentage of the dark regions is influenced by several factors, also including growth process parameters such as carbon content and pressure, but mainly referable to the substrate structure. Grain orientation, boundaries, impurities and defects of the substrate, in fact, are reflected on the growing graphene, resulting in non-uniformity and non-homogeneity of the large area films especially. The Raman analysis is averaged on an area of about ten microns, therefore the observed features could refer to regions with a different number of layers. Nevertheless, our best films exhibited a sharp 2D line with single lorentzian profile and width ranging from 31 to 37  $\text{cm}^{-1}$ . This is consistent with non-interacting graphene planes, as reported for CVD-derived few layers graphene [9], where the long order in the  $c$  direction is lacking, unlike the exfoliated HOPG layers, where single-layer can be differentiated from bilayer and trilayer graphene by the shape of the 2D band. For CVD-derived graphene, 2D linewidth values around 33  $\text{cm}^{-1}$  are reported as hallmark of less than 5 layers. Moreover by sampling different regions of the films, different values of the  $I_G/I_{2D}$  ratio were found. The best value of 0.7 is also consistent with the thickness of less than 5 layers. The high quality and crystallinity of the films was also evidenced by the low intensity of the D band, with  $0.1 < I_D/I_G < 0.3$ . The domain size  $L_a$  was also calculated by using the relation proposed by Cançado [23]:  $L_a[\text{nm}] = (2.4 \times 10^{-10})^{4_{\text{laser}}} (I_D/I_G)^{-1}$ , obtaining values ranging between 70 and 130 nm.

### Conclusions

In summary this work shows that films consisting of less than 5 graphene layers have been grown by CVD both from methane and ethanol as precursors. The use of copper substrates has allowed growing large area continuous films ( $1 \text{ cm}^2$ ); a wet procedure was followed for transferring the graphene films onto  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  substrates more suitable for the characterization. Pressure and growth time have been found the main

process parameters affecting the thickness and the quality of the graphene films. The films exhibited high *a-b* plane crystallinity, but a certain thickness non-homogeneity occurred, due to multilayered regions overlapping few layer-regions. A factor influencing

the film homogeneity and uniformity has been recognized in the substrate features. Future work will be focused on the optimization of substrate treatments, with the aim to achieve more uniform large area single-layer graphene films.

## Bibliografia

- [1] A.K. Geim, K.N. Novoselov (2007), "The rise of graphene", *Nature Materials*, 6, 183-191. Nature Publishing Group.
- [2] H.M. Jeong, J.W. Lee, W.H. Shin, Y.J. Choi, H.J. Shin, J.K. Kang, J.W. Choi. (2011) "Nitrogen-Doped Graphene for High-Performance Ultracapacitors and the Importance of Nitrogen-Doped Sites at Basal Planes", *Nano Letters*, 11, 2472-2477. ACS Publications, Washington.
- [3] L. Qu, Y. Liu, Y-B. Baek, L. Dai (2010), "Nitrogen-Doped Graphene as Efficient Metal-Free Electrocatalyst for Oxygen Reduction in Fuel Cells", *ACS Nano*, 4, 1321-1326. ACS Publications, Washington.
- [4] J. Vaari, J. Lahtinen, P. Hautiojari, (1997) "The adsorption and decomposition of acetylene on clean and K-covered Co(0001)", *Catal. Lett.*, 44 (1), 43-49. Springer, Berlino.
- [5] D.E. Starr, E.M. Pazhetnov, A.I. Stadnichenko, A.I. Boronin, S.K. Shaikhutdinov (2006), "Carbon films grown on Pt(111) as supports for model gold catalysts", *Surf. Sci.*, 600 (13), 2688-2695. Elsevier, Amsterdam.
- [6] J. Coraux, A.T. Ndiaye, C. Busse, T. Michely, (2008) "Structural Coherency of Graphene on Ir(111)", *Nano Letters*, 8 (2), 565-570. ACS Publications, Washington.
- [7] S. Marchini, S. Gunther, J. Winterlin (2007), "Scanning tunneling microscopy of graphene on Ru(0001)", *Phys. Rev. B Condens. Matter.*, 76 (7), 075429-9. American Physical Society. Maryland USA.
- [8] Y. Gamo, A. Nagashima, M. Wakabayashi, M. Terai, C. Oshima, (1997) "Atomic structure of monolayer graphite formed on Ni(111)", *Surf. Sci.*, 374 (1-3), 61-64. Elsevier, Amsterdam.
- [9] A. Reina, X. Jia, J. Ho, D. Nezich, H. Son, V. Bulovic, M.S. Dresselhaus, Jing Kong (2009), "Large Area, Few-Layer Graphene Films on Arbitrary Substrates by Chemical Vapor Deposition" *Nano Letters*, 9, 30-35. ACS Publications, Washington.
- [10] X. Li, W. Cai, J. An, S. Kim, J. Nah, D. Yang, R. Piner, A. Velamakanni, I. Jung, E. Tutuc, S.K. Banerjee, L. Colombo, R.S. Ruoff (2009), "Large-Area Synthesis of High-Quality and Uniform Graphene Films on Copper Foils", *Science*, 324, 1312-1314. AIP, Maryland USA.
- [11] X. Li, Y. Zhu, W. Cai, M. Borysiak, B. Han, D. Chen, R.D. Piner, L. Colombo, R.S. Ruoff, (2009), "Transfer of Large-Area Graphene Films for High-Performance Transparent Conductive Electrodes", *Nano Letters*, 9, 4359-4363. ACS Publications, Washington.
- [12] S. Bae, H. Kim, Y. Lee, X. Xu, J. Park, Y. Zheng, J. Balakrishnan, T. Lei, H.R. Kim, Y.I. Song, Y. Kim, K.S. Kim, B. Ozyilmaz, J. Ahn, B.H. Hong and S. Iijima (2010), "Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes", *Nature Nanotechnology*, 5, 574-578.
- [13] S. Bhaviripudi, X. Jia, M.S. Dresselhaus, J. Kong (2010), "Role of Kinetic Factors in Chemical Vapor Deposition Synthesis of Uniform Large Area Graphene Using Copper Catalyst", *Nano Letters*, 10, 4128-4133. ACS Publications, Washington.
- [14] X. Wang, L. Zhi, K. Mullen (2008), "Transparent, Conductive Graphene Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells", *Nano Letters*, 8, 323-327. ACS Publications, Washington.
- [15] J. Wu, M. Agrawal, H.E. Becerril, Z. Bao, Z. Liu, Y. Chen, P. Peumans (2010), "Organic light-emitting diodes on solution-processed graphene transparent electrodes", *ACS NANO*, 4, 43-48. ACS Publications, Washington.
- [16] Q. Yu, J. Lian, S. Siriponglert, H. Li, Y.P. Chen, S. Pei (2008), "Graphene segregated on Ni surfaces and transferred to insulators", *Appl. Phys. Lett.* 93, 113103. AIP. Maryland USA.
- [17] L.M. Malard, M.A. Pimenta, G. Dresselhaus, M.S. Dresselhaus (2009), "Raman spectroscopy in graphene", *Physics Reports*, 473, 51-87. Elsevier. Amsterdam.
- [18] F. Tuinstra, J.L. Koenig, (1970), "Raman spectrum of graphite", *J. Phys. Chem.*, 53, 1126-30. ACS Publications, Washington.
- [19] K. Sato, R. Saito, Y. Oyama, J. Jiang, L.G. Cançado, M.A. Pimenta, A. Jorio, Ge.G. Samsonidze, G. Dresselhaus, M.S. Dresselhaus (2006), "D-band Raman intensity of graphitic materials as a function of laser energy and crystallite size", *Chem. Phys. Lett.*, 427, 117-121 Elsevier. Amsterdam.
- [20] L.X. Zheng, J. O'Connell, K. Doorn, Z. Liao, H. Zhao, A. Akhador, A. Hoffbauer, J. Roop, X. Jia, C. Dye, E. Peterson, M. Huang, J. Liu, T. Zhu (2004), "Ultralong single-wall carbon nanotubes", *Nature Materials*, 3, AIP. Maryland USA.
- [21] Y. Miyasaka, K. Kamon, K. Ohashi, R. Kitaura, M. Yoshimura, H. Shinohara (2010), "A simple alcohol-chemical vapor deposition synthesis of single-layer graphenes using flash cooling", *Appl. Phys. Lett.*, 96, 263105. AIP. Maryland USA.
- [22] Y. Miyasaka, A. Matsuyama, A. Nakamura, J. Temmyo (2011), "Graphene segregation on Ni/SiO<sub>2</sub>/Si substrates by alcohol CVD method", *Phys. Status Solidi*, 2, 577-579, Wiley-VCH. Germany.
- [23] L.G. Cançado, K. Takai, T. Enoki, M. Endo, Y.A. Kim, H. Mizusaki, A. Jorio, L.N. Coelho, R. Magalhães-Paniago, M.A. Pimenta (2006), "General equation the determination of the crystallite size La of nanographite by Raman spectroscopy", *Appl. Phys. Lett.*, 88, 163106. AIP. Maryland USA.

# Energy consumption in the Italian mobile phones sector

The mobile phone market has experienced an exponential growth trend in the last ten years. Europe continues to be the main market in the developed countries, although in the last two years growth has witnessed a slow-down. Despite being already a mature market, Italy has a “penetration rate” (i.e., the number of active lines per 100 inhabitants) higher than 146, the highest in the European Union. Furthermore, in Italy about 70% of active lines use UMTS and HSDPA, the so-called 3G and 3,5G technologies, where G stands for Generation. It is important to point out that despite their higher power levels allowing faster data transmission and the use of increasingly complex services and software, these technological standards are high energy consuming. This scenario has suggested a study on the energy consumption of mobile phones and their associated equipment. The aim of the present article is to estimate the impact of this sector (including the so-called mobile network) on the Italian energy consumption

■ Annarita Paiano, Giovanni Lagioia, Andrea Cataldo

## Il consumo di energia elettrica nel settore della telefonia mobile in Italia

Il mercato della telefonia mobile ha mostrato un trend di crescita esponenziale negli ultimi 10 anni. L'Europa continua ad essere il principale mercato nell'ambito dei paesi “sviluppati”, nonostante negli ultimi due anni abbia mostrato un rallentamento. L'Italia, pur con un mercato ormai maturo, presenta un “tasso di penetrazione”, ovvero il numero di linee attive per 100 abitanti, pari ad oltre 146, il più alto nell'Unione Europea. Nel nostro paese inoltre circa il 70% delle linee attive è caratterizzato dall'uso di tecnologie UMTS e HSDPA, cosiddette di 3G e 3,5G (generazione). È importante sottolineare come questi standard tecnologici consentano sì una maggiore potenza, quindi trasmissioni sempre più veloci e l'utilizzo di servizi e software sempre più complessi, ma con un alto dispendio di energia. Questi dati hanno stimolato uno studio sul consumo di energia dei telefoni cellulari e degli strumenti ad essi collegati. L'obiettivo del presente lavoro è di stimare l'incidenza del settore (incluso il c.d. mobile network) sui consumi energetici nazionali

■ Annarita Paiano, Giovanni Lagioia

*Department of Geographical and Commodity Science, University of Bari Aldo Moro*

■ Andrea Cataldo

*Innovation Engineering Department, University of Salento*

## Introduction

The Italian market of mobile communications has shown a clear growth trend for about a decade and, currently, the so-called penetration rate – that is the number of active lines per 100 inhabitants – is over 146, the highest in the European Union (EU) (European Commission, 2010). Following the authors' purpose to continue a discussion already started on this field and merged in two notes (Lagioia et al., 2006; Paliano et al., 2006), these considerations about the high use of mobile phones in our country have stimulated the study on energy consumption of these electronic devices and the instruments connected to them. The present article aims at estimating the incidence of this sector on the national energy consumption. The second section describes a brief quantitative and qualitative assessment of the mobile sector worldwide and in the European Union, besides in Italy. In the third one the methodological aspects of the study have been illustrated. In the sub-section the available data on the Italian mobile sector have been differentiated by transmission standard (GSM, UMTS, and HSDPA) per mobile phones, to identify three user profiles and the related usage patterns.

The discussion shows the results of the energy consumption analysis on the basis of the technical characteristics of chargers and batteries, whose transformation efficiency has been checked by carrying out some experimental tests.

Data on energy consumption of mobile devices have been added to mobile network's and BTS (Base Transceiver Station) localised in Italy. It comes, therefore, the estimate of energy consumption in the entire mobile phones sector. Final remarks show the incidence of this sector on the Italian energy system, besides the main issue related to a further growth trend in the mobile phones use.

## The EU and the Italian mobile communications sectors

### *Quantitative assessment of mobile devices and active lines*

In 2009 the mobile phones sold worldwide amounted to almost 1.2 billion, whereas the global active lines to about 5 billion. UMTS and HSDPA users were only about 13% of the total, but they generated 78% of the

total traffic of voice and data services.

The market has continued to grow mainly driven by the newly industrialized countries which, especially considering the low penetration rate (China 56% and India about 45%), will be the most important markets in the short period.

Within the "developed" countries, however, the EU-27 has continued to be the biggest mobile market for as evidenced by the 122% expansion rate, higher than the United States (89%) and Japan (84%). Although now mature, in 2009 the Italian market showed a growing trend of the mobile sector and was not affected by the slowdown as in the rest of the European Union. The number of active lines in the EU rose from 390 million in 2004 to 650 million in 2009: a third of these came from people using 3G services.

In Italy the active lines<sup>3</sup> are currently about 89 million (63 million in 2004) and about 33.6 million users (approximately 65 million active lines) do use UMTS and HSDPA standards in prevalence over GSM<sup>4</sup>. The wider diffusion of the first two standards is due to the increasing use of innovative services such as mobile TV, mobile e-mail and instant messaging.

With regard to mobile broadband, which now represents a viable alternative in many countries, the average penetration rate is 19% in the EU, amounting to over 95 million users. Italy has an expansion rate of 16.5% and accounts for 10 million users. Of these, about 6 million connect by phone and just over 4 million (6.8%) by cards, modem and proper tools.

### *Quantitative assessment of mobile communications network*

The data presented in the previous sub-section highlight the strong growth of the telecommunications sector, particularly for the mobile telephony. Another consequence of the strong growth is the increase in the number of installations and sites for radio frequencies in the territory. More than other segments of telecommunications, mobile phones witness a more widespread diffusion of radio systems based on territory, even in the answer for increasingly sophisticated services (Scharnhorst et al., 2005). The Base Transceiver Stations (BTS) are deployed throughout the territory as a function of population density, then with greater concentration in urban areas more densely populated. Their positioning varies from a few hun-

dred meters to several kilometers of distance between them (e.g., in the case of rural areas) depending on the number of users served. The current BTS density on the Italian territory is 0.29 per km<sup>2</sup>, much higher than radio-television, with a density of 0.13 per km<sup>2</sup>. Conversely, the total power of BTS is much lower, amounting to 25% of the radio-television apparatus. At the end of 2009, in Italy there were just over 60,000 BTS, with a total capacity of about 242,000 kW (each plant has a capacity of approximately 4 kW) (ISPRA, Osservatorio CEM, 2011).

## Materials and methods

### Methodological aspects

In order to assess the overall power consumption of the mobile phone sector in Italy, mobile phone users were grouped into three categories, based on the intensity of use (*low*, *medium*, and *high*) of their mobile phones. The corresponding transmission 2G, 3G and 3,5G (GSM, UMTS and HSDPA) technologies were also identified (Ayres, Williams, 2004; Birchler et al., 2003). Among the large variety of mobile phone models currently available on the market (where each phone model is characterized by virtually unique technical specifications), three “representative” models were chosen: one model for each of the aforementioned categories. The “reference” models had been manufactured by leading companies. For each model, all the technical characteristics necessary to estimate energy consumption were considered (e.g., power consumption, energy consumption, etc.) (Schaefer et al., 2003). Additionally, for each category of users, a model describing the use of the mobile phone as a function of the services used in a month period (e.g., voice calls, text messages, data exchange) was identified.

Combining these data with the information regarding different types of mobile phones (and, hence, the different categories of users), it was possible to evaluate the energy consumption associated to each category of users for 2009.

In the evaluation of the electrical energy consumption of the considered devices, both the efficiency of the battery-charge process and the efficiency of the battery usage were appropriately taken into account. In this regard, to assess both parameters, experimental tests were performed on two mobile phones: one GSM, and the other UMTS.

The total energy consumption was then estimated by considering the total number of users of each category (nationwide). Finally, by also considering the energy consumption of the network infrastructure and of radio mobile antennas, it was possible to estimate the total energy consumption of this sector and its incidence on the total energy consumption in Italy.

### Analysis of the data

The digital mobile telephone technologies were grouped into macro-categories GSM/GPRS, UMTS/WDCMA, and HSDPA (table 1): these technologies differ in operating frequency band and bit-rate. *Tab 1* summarizes the main technical characteristics (i.e., those necessary to evaluate energy consumption) of the mobile phone models that were chosen as “reference”. As expected, it appears that the more advanced the technology, the more power it requires.

The three categories of users (*low*, *medium* and *high*) substantially correspond to the three transmission technologies of table 1 (i.e., GSM, UMTS and HSDPA, respectively), since only some of them can support advanced services and applications. The percentage incidence of each category of users on the total num-

Transmission technology	Mobile phone model	Battery			Voice calls		Standby mode	
		Voltage (V)	Capacity (mAh)	Energy (Wh)	Time (h)	Power (W)	Time (h)	Power (W)
GSM	Nokia 3230	3.7	760	2.812	2.5	1.1248	240	0.011716
UMTS	Samsung U-700	3.7	900	3.33	5	0.666	300	0.011
HSDPA	Nokia N 95	3.7	950	3.51	2.7	1.3	192	0.01828

**TABLE 1** Power and energy consumption per mobile phones category  
Source: estimates made by the authors, based on companies data

User categories	Percentage incidence	Number of active telephone lines	Voice calls	Text messages*	Internet connection	Standby mode	Off mode
	%	millions	hours/month/user				
Low	26.1	23.2	1.45	0.05415	0	418.496	300
Medium	67.4	60	6	0.139	0.8	473.06	240
High	6.5	5.8	10	0.4865	18.33	691.184	0

\* The number of text messages (per month, per user) was assumed to be equal to 15, 100, and 350 for *low*, *medium* and *high* categories of users, respectively.

**TABLE 2** *User profiles and usage patterns*  
Source: estimates made by the authors

ber of mobile phone users (in Italy) was also evaluated. Additionally, by considering *i*) the total hours per month spent using the mobile phone (i.e., making voice calls, sending text messages, internet connection), and *ii*) the total hours in which the phone is either off or in the standby mode, it was possible to derive a model that suitably describes the patterns regarding the usage of mobile phones and of the related services (table 2).

On the basis of the available data and the users characteristics, the three user profiles show the following characteristics. The first user profile is characterized by a low daily usage of the mobile phone (and, consequently, low monthly usage), corresponding to approximately: 1.45 hours of voice calls, 15 text messages, 300 hours in the power-off mode (i.e., 10 hours a day), and, as a result, 420 hours in the standby mode. The *medium* user profile includes: 6 hours of voice calls, 100 text messages, 0.8 hours of internet connection, 240 hours in the power off mode (i.e., 8 hours a day) and 480 hours in the standby mode (these figures are referred to a month). Finally, for the *high* user profile, which employs the HSDPA technology and makes an extensive use of the internet, the following data were deduced: 18 hours of data exchange<sup>5</sup>, 10 hours of voice calls, 350 text messages, almost 700 hours in the standby mode and 0 hours in the power-off mode (EIAA, 2011; AGCOM, 2011).

**Energy consumption and conversions**

The second phase of this study was dedicated to the assessment of the energy consumption associated to the different “modalities of use” of mobile phones, so

as to convert mobile phones’ “functioning hours” into “consumed energy”.

Table 3 highlights the amount of power and the time required for sending a text message. In particular, the “reference” text message was considered to be 300 byte, sent either via GSM or UMTS technologies, in 13 s (0.00361 h) or 5 s (0.00139 h), respectively. In the literature (Perrucci et al., 2009), it is reported that although the time required for sending a text message via GSM technology is longer than the time required for sending the same message via UMTS technology, the energy consumption in the latter case is definitely higher than in the first case.

As for the internet connection, it is important to emphasize that the energy consumption of UMTS connections is remarkably lower than GPRS technology (which is associated to the GSM network). For the estimates reported herein, it was assumed an energy consumption of 35.12 J, that is 0.00976 Wh/MB (million of bytes) for transmission via the UMTS technology, and of 0.027795 Wh/MB for transmission via the GSM technology (Perrucci et al., 2009).

Bytes were converted into hours (and vice versa) by using equation no. 1. This equation also takes into ac-

Transmission technology	Power (mW)	Time (h)
GSM	240	0.00361
UMTS	880	0.00139

**TABLE 3** *Power and time required for sending one text message*  
Source: estimates made by the authors, based on the data available in the literature (Perrucci et al., 2009)

count the bit-rate, which is assumed to be 384 kbps (thousands of bits/s) for UMTS connections and 1 MB/s for HSDPA connections (table 4): in fact, these values represent the bit-rate that appears to be the “actually achievable” during connections. Finally, it is worth mentioning that for expressing multiples in Informatics-related quantities, the base-two approximations were used; whereas, for Telecommunications-related quantities, standard multiples were used.

Data transfer time (s) = Data quantity (MB) x 8/bit-rate (bps) [Eq. no. 1]

Finally, for *medium* and *high* profiles, the amount of hours dedicated to the internet connection was calculated, so as to evaluate the total amount of hours/month for each user, then convert hours into MB, and eventually assess the corresponding energy consumption (tab. 4).

#### Energy efficiency

User categories	Bit rate (kbps)	Time (h)	Bytes (MB)
Medium	384	0.8	125.28
High	1,000	18.33	8,248.5

TABLE 4 Conversion from hour to Byte  
Source: estimates made by the authors

The analysis conducted in this work is based on average values of the energy efficiency of the battery and of the battery charger. These two parameters were assessed through experimental tests performed on two mobile phones: one GSM (manufactured by Sagem) and the other UMTS (manufactured by Samsung). The tested phones were not brand new; on the contrary, they had already been used to different extents. In this regard, it is important to underline that the lifetime of a battery is limited and that its efficiency decreases with charge cycles and with age. The UMTS and, even more so, the HSDPA technologies provide more power, thus allowing faster bit rate and the use of complex services and software; nevertheless, this translates into higher energy consumption. Additionally, high power may lead to battery overheating (with temperatures as high as 45 °C), which, in turn, results in an addition-

al loss. All the aforementioned aspects have also great influence on the battery wear: in fact, considering the limited battery life, mobile phone users must recharge the battery very often, thus accelerating charge cycles and ultimately compromising the service life of the battery and its efficiency.

With regards to the battery efficiency, in this study, it was considered an average value of approximately 50% of the nominal value for *low* and *medium* users, and of 65% of the nominal value for *high* users –in fact, users of this category are expected to change their mobile phones more frequently; therefore, batteries can be considered “newer”.

The data on the reduction of the energy efficiency of the battery were validated through experimental tests, which, in one specific case, showed a reduction higher than 50%.

It is also important to point out that the nominal capacity of a battery indicates the maximum charge that can be stored by the battery.

With regard to the mobile phone charger, the efficiency is different for the different chargers, the same applies to the input and/or output voltage and/or current specifications, for which the values indicated on the tag are only nominal. For these reasons, the assessment of the actual energy consumption involves accurate calculations which should also take into account all the energy losses that might occur when electricity is transmitted from the AC wall outlet up to the device. All these parameters influence also the battery life of the mobile phone. It is worth pointing out that for leading brands (such as Nokia, Samsung, etc.) the difference between nominal values and actual values, e.g., for the output of a mobile phone charger is in the order of 20-30%; whereas, for less-known brands, this difference can be as high as 50-60 %, as also demonstrated through experimental tests.

Finally, another important parameter is the energy efficiency of the mobile phone charger, which is the amount of output energy (from the charger) that can be stored in the battery. This parameter can be evaluated through equation no.2<sup>6</sup>, where  $\ln$  indicates the natural logarithm and  $P_{no}$  is the nominal output power (as reported directly on the charger) expressed in Watt:

$$Eff_{min} \geq 0.075 \times \ln (P_{no}) + 0.561 \quad [Eq. no. 2]$$

The results of the experimental tests show the wear of the battery and how the “actual” efficiency of the charger influences energy consumption.

In this work, to evaluate energy consumption from the electrical power supply during the battery charge , for all the categories of mobile phones, it was assumed a duration of the charge cycle of 2.5 hours. It is worth mentioning that, in this way, it was accounted only for the actual time of an average charge cycle (*active mode*), and not for the time, often long (the so-called *idle mode*), during which the battery has already been fully charged, and the telephone is still connected to the charger which absorbs energy from the electrical power supply (although only a small amount of energy).

Based on the experimental results, it can be deduced that a 2.5-hour battery charge absorbs slightly less than 7 Wh.

## Results and discussion

### *Mobile phones electricity consumption*

Based on data reported in Tables 1-4 the power consumption for mobile phones in Italy can be calculated, first reported to user/month (table 5). The data show how the monthly energy consumption per user appears to be much higher for the *high* category, mainly because of the intense connection to the Internet.

These data allow then to calculate the number of charges made within a month by type of device and/or usage pattern.

In the case of the *medium* user, for example, it takes over 10.5 Wh of electricity per month, whereas the battery efficiency of the related device (Samsung U-700) is about 50%, and then about 1.6 Wh (as occurred in one of two experimental trials and on data in table 1) of the energy that can be contained in the battery.

So it is possible to estimate that it takes about 7 charges per month, i.e., 84 per year.

To calculate energy consumption by using the charger at the electrical power supply, keeping in mind that a charge cycle absorbs less than 7 Wh it can be estimated an annual consumption of around 588 Wh for the mobile reference *medium* category. The same calculation can be done for other types of users and the results are shown in table 6.

The annual consumption data obtained for each user can then be multiplied by the active lines available in Italy in 2009, grouped into the three reference categories . It emerges that about 68 GWh of electricity, for about 89 million active lines, have been consumed in the reference year (table 7). For the total value of the entire mobile phone sector it is necessary to add the BTS energy consumption on the Italian territory identified in the following sub-section.

### *Energy consumption of Base Transceiver Stations*

The energy consumption of a BTS is due to the functioning of equipment and to the air-conditioning of the building, useful to the proper working of the transmission apparatus. The energy consumption can be shared between these two main factors according to the considered study (Ispra, University of Naples, 2009). In particular, it is possible to ascribe 2/3 of the energy used to the transmission facilities and 1/3 to conditioning equipment. It should be noted that energy consumption is higher for BTS with GSM technology (about 111 kWh/day and 40,085 kWh/year) than those with UMTS ones (73 kWh/day and 26,268 kWh/year). Considering an average daily consumption of about 97 kWh per plant, the annual consumption will be 35,405 kWh, which, multiplied by the number of plants on the national territory, gives about 2,124 GWh consumed in Italy per year.

User categories	Voice calls	SMS	Internet	Stand-by	Total
Low	1.63096	0.01299	0	4.90310	6.54706
Medium	3.996	0.12232	1.2227	5.20366	10.54468
High	13	0.42812	80.5	12.6348	106.56292

**TABLE 5** *Electricity consumption per mobile phone user (Wh/month/user)*  
Source: estimates made by the authors

User categories	Charge/year	Wh
Low	60	420
Medium	84	588
High	564	3,948

**TABLE 6** Electricity consumption per mobile phone user (Wh/year/user)

Source: estimates made by the authors

User categories	Number of active lines (million)	GWh
Low	23.2	9.744
Medium	60	35.280
High	5.8	22.8984
TOTALE	89	67.922,4

**TABLE 7** Total electricity consumption for the mobile phones use in Italy in 2009

Source: estimates made by the authors

## Final remarks

The total annual consumption of electricity of the total mobile phone sector is estimated to be about 2,200 GWh, and the energy consumption resulting from the direct use of the devices accounts for only a small percentage (about 3%), remaining the electricity consumption of the network, that is BTS, the most important part.

It should be noted that, concerning the use of the devices by macro-categories of identified users, the author's analysis has simplified the patterns of usage to estimate the total energy consumption.

The estimated figure is certainly lower than the real one for many reasons:

- 1) power consumption of mobile phones is not the same according to the application used (calls, Internet connection, etc). It changes because of several factors, the most important being the user's status, stationary or moving. The latter condition requires intensive use of energy to run any type of services;

- 2) the use of the phone is clearly widespread during daylight hours and usually very intensive at time band of peak telephone traffic, so that the energy required can be much more significant;
- 3) the charging modes by the appropriate charger are very variable and certainly incorrect in most cases (incomplete charge, with mobile phones switched on) or otherwise charging the phone for a long time (*idle mode*), for instance during the night or even leaving the charger plugged into the grid even if the phone is unplugged (the so-called *no-load*) (Ostentorp et al, 2004). These practices tend to reduce the efficiency of the batteries more rapidly;
- 4) information on real use of device from users is insufficient and fragmentary. This is still more true when it comes to energy consumption data that appear to be few and not so "standardized" probably due to the variety of devices on the market and the use of transmission technologies.

From the results of this study other considerations emerge. In the year of reference, 2009, the consumption of electricity in Italy totalled 300,000 GWh roughly, and then the entire mobile phone system is equal to 0.7% of national electricity consumption. It should be noted that, as already mentioned, the figure is underestimated. It emerges how the use of electronic communications, particularly mobile phones, can be conflicting with the apparent dematerialization often ascribed to this field.

Considering that a massive growth in the use of the latest generation of mobile phones (3.5G and the next ones) is forecasted, as it has been pointed out, more and more energy for their functioning will be required. Therefore it becomes important to keep up research and further experimental tests to clarify what is the real power consumption. Moreover the relevance of the enhancement concerning the means of communication should be stressed with the aim to spread awareness among users that the most efficient consumption patterns help saving energy and resources.

- [1] AGCOM, Autorità per le garanzie nelle telecomunicazioni, *Telecomunicazioni. Il quadro nazionale*, Letter@gcom, 2011.
- [2] Ayres R.U., Williams E., *The digital economy: Where do we stand?*, Technological Forecasting and Social Change, 71, 315-339, 2004.
- [3] Balasubramanian N., Balasubramanian A., Venkataramani A., *Energy consumption in Mobile Phones: A Measurement Study and Implications for Network Applications*, Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference, November 4-6, Chicago, 280-293, 2009.
- [4] Birchler M., Smyth P.P., Martinez G., Baker M., *Future of mobile and wireless communications*, BT Technology Journal, 21, 11-21, 2003.
- [5] EIAA, European Interactive Advertising Association, *EIAA European Mobile Internet Use. Executive Summary*, 2011, in [http://www.eiaa.net/Ftp/casestudiesppt/EIAA\\_Mobile\\_Internet\\_Use\\_Executive\\_Summary.pdf](http://www.eiaa.net/Ftp/casestudiesppt/EIAA_Mobile_Internet_Use_Executive_Summary.pdf), ultimo accesso aprile 2011.
- [6] European Commission, *Commission Staff Working Document accompanying the Progress Report On The Single European Electronic Communications Market (15th Report). Part 2*, 2010, in [http://ec.europa.eu/information\\_society/policy/ecomm/doc/im-plementation\\_enforcement/annualreports/15threport/15report\\_part2.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/im-plementation_enforcement/annualreports/15threport/15report_part2.pdf), ultimo accesso aprile 2011.
- [7] EPA, Environmental Protection Agency, *ENERGY STAR® Qualifying Criteria for Single Voltage External Ac-Dc and Ac-Ac Power Supplies*, 2011 in <http://oee.nrcan.gc.ca/residential/business/manufacturers/specifications/pdf/externalpowersupplies.pdf>
- [8] ISPRA, Osservatorio CEM, *Banca Dati. Stazioni Radio Base per la telefonia mobile*, in <http://agentifisici.isprambiente.it/campi-elettromagnetici/osservatorio-cem/banca-dati.html> ultimo accesso maggio 2011.
- [9] ISPRA, Università degli studi di Napoli, *Impianti per Telecomunicazioni: ottimizzazione energetica e controllo ambientale*, 2009, in [http://www.agentifisici.isprambiente.it/documenti-cem/doc\\_download/472-sintesi-dei-risultati-del-progetto-di-ricerca-.html](http://www.agentifisici.isprambiente.it/documenti-cem/doc_download/472-sintesi-dei-risultati-del-progetto-di-ricerca-.html) ultimo accesso marzo 2011.
- [10] Lagioia G., Paiano A., Gallucci T., *L'evoluzione del telefono cellulare: dalle caratteristiche tecnologiche alla tutela del consumatore*, Inquinamento, 85, 44-50, 2006.
- [11] Ostendorp P., Foster S., Calwell C., *Cellular Phones. Advancements in Energy Efficiency and Opportunities for Energy Savings*, Natural Resources Defense Council issue paper, 2004, in <http://www.nrdc.org/air/energy/energyeff/cellphones.pdf> ultimo accesso aprile 2011.
- [12] Paiano A., Lagioia G., Gallucci T., *Electronic waste: mobile phones case study*, Journal of Commodity Science, Technology and Quality, 45, 55-66, 2006.
- [13] Perrucci G.P., Fitzek F.H.P., Sasso G., Kellerer W., Widmer J., *On the Impact of 2G and 3G Network Usage for Mobile Phones 'Battery Consumption*, Proceedings of European Wireless '09, 2009.
- [14] Schaefer C., Weber C., Voss A., *Energy Usage of Mobile Telephone Services in Germany*, Energy, 28, 411-420, 2003.
- [15] Scharnhorst W., Althaus H. J., Classen M., Jolliet O., Hilty L.M., *The end of life treatment of second generation mobile phone networks: Strategies to reduce the environmental impact*, Environmental Impact Assessment Review, 25, 540-566, 2005.

This work is the result of the authors' commitment. Particularly, the sections The EU and the Italian mobile communications sectors, Materials and Methods, Results and discussion and the reference collection are ascribed to Paiano; Introduction, Results and discussion and Final remarks to Lagioia, Experimental Tests and sub-section Energy Efficiency to Cataldo.

- 1 In Italy it continues to be significant the number of users who have a dual SIM card, hence the numerical difference between users and active lines.
- 2 The acronyms GSM, UMTS, and HSDPA stands for Groupe Special Mobile, Universal Mobile Telecommunications System, and High Speed Downlink Packet Access, respectively.
- 3 With regards to the hours of internet connection, it is worth mentioning that *i)* for the *medium* user profile, 90,000 Mbytes of exchanged data (equal to approximately 0.8 hours) were considered: this figure represents the amount of data exchanged in 2009; *ii)* for the *high* user profile, the time dedicated by users to broadband internet connection was considered, equal to 31.6 hours/month (EIAA, 2011), appropriately reduced to 58.6% (equal to 18.33 hours/month), which is also the percentage incidence of mobile phone-based broadband internet connection on the total number of users (approximately 10 million people) who use broadband internet connection; the remainder use other devices such as USB modems.
- 4 The equation was extrapolated from the criteria elaborated by EPA, under the Energy Star programme, for measuring the minimum efficiency of low-power (from >1 to ≤ 49 W) chargers (AC-AC, AC-DC), on active mode (EPA, 2011).

# The XX century variability of West African Monsoon

We compare the West African atmospheric circulation reproduced by the global reanalyses NCEP-NCAR and ERA40 for the period 1961-2000, focusing on the structure of the mean African Easterly Jet and of the high-frequency disturbances (AEWs) developing on its flanks. As AEWs play a significant role in determining the amount of variability over this region, a realistic representation of such dynamics is crucial for correct climate prediction and seasonal forecast. We also analyze the seasonal cycle of the precipitation over West Africa

■ Paolo M. Ruti, Alessandro Dell'Aquila

## La variabilità del Monsone Africano nel XX Secolo

L'articolo riporta la circolazione atmosferica dell'Africa occidentale così come riprodotta dai dati delle rianalisi globali NCEP-NCAR ed ERA40 relative al periodo 1961-2000, con particolare riferimento alla struttura della corrente a getto africana (African Easterly Jet) e delle onde (African Easterly Waves - AEW) che si sviluppano sui suoi fianchi e si propagano verso ovest.

Le AEW svolgono un ruolo rilevante nella determinazione della variabilità del monsone in questa regione, pertanto una rappresentazione realistica di tale dinamica si rivela fondamentale per una predizione climatica e previsioni stagionali corrette. Viene inoltre riportata l'analisi del ciclo stagionale delle precipitazioni sull'Africa occidentale

### Introduction

During summer, the atmospheric circulation over West Africa exhibits a strong monsoon flow, with moist-air from the Gulf of Guinea towards the interior of the continent. Such a highly nonlinear circulation is driven by the meridional gradient of the boundary layer temperature which develops across the Gulf of Guinea and the Western African continent (Elthair and Gong,

1996). The West African Monsoon (WAM) is characterized by a mid-tropospheric zonal wind maximum (the African Easterly Jet - AEJ), peaking at 600-700 hPa and flanked by synoptic systems (African Easterly Waves, AEW) which develop on its sides and determine a consistent amount of the total precipitation in the area. The AEJ is confined to a width of 5°-10° of latitude, with the jet core placed approximately at 15°N on the west coast and over the Atlantic ocean, and maximum easterly velocities of about 10-11 m/s. It is sustained by lower tropospheric dry convection in the Sahara and deep moist convection in the intertropical con-

■ Paolo M. Ruti, Alessandro Dell'Aquila

ENEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale

vergence zone (ITCZ) (Thorncroft and Blackburn, 1999).

The synoptic systems growing on the AEJ flanks have been argued to result from the interaction of barotropic and baroclinic instabilities of the AEJ (Hall et al, 2006; Kiladis et al, 2006; Chen 2006; Hsieh and Cook, 2007). AEWs are the primary synoptic-scale disturbances affecting tropical northern Africa climate during the rainy summer season, and are connected to the occurrence of Atlantic hurricanes and of rainfall events over Africa (e.g., Burpee 1974; Reed et al. 1977; Thompson, et al. 1979). These disturbances typically show periods of 3-5 days, wavelengths of about 2000-4000 km, and westward mean propagation speed of about  $6^{\circ}\text{--}7^{\circ}\text{ day}^{-1}$  ( $7\text{--}9\text{ m s}^{-1}$ ), being located at a mean latitude of  $11^{\circ}\text{N}$  over land and of  $12^{\circ}\text{N}$  over the ocean (e.g., Reed et al.1977). The AEWs propagating at the northern flank of AEJ are thought to be generated by baroclinic instability of the lower troposphere. The track of these disturbances lies primarily over the land, where the baroclinic processes and the diabatic interactions with the surface and in particular with the Sahara desert environment seem to be dominant (Thorncroft and Hoskins 1994, Chang 1993). On the contrary, the AEWs propagating on the southern flank of the jet are liable to be a result of barotropic-baroclinic instability mechanisms such as the Charney-Stern process (Charney and Stern, 1962) at the jet core level, induced by cumulus moist convection within the ITCZ (Thompson et al 1979; Hsieh and Cook 2007). However, there is still an ongoing debate about both the location of the source region of the aAEWs and the mechanisms of their genesis (Mekonnen et al 2006), prompted by the necessity of a proper treatment of such processes in Climate Models. As a matter of fact, being usually associated with rainfall, they play a relevant role in determining precipitation variability over the affected region, and their improper representation would impose a severe constraint on the feasibility of climate prediction and seasonal forecast in this area (Fyfe, 1999).

Although the time scales characterizing the variability of such phenomena range from intra-seasonal to inter-decadal, we mainly focus on the mean state of the AEJ

during the summer season, and on its relation with the intra-seasonal variability of the AEWs and of the associated rainfalls. Our analysis covers 40 years, from 1961 to 2000.

In next section, the NCEP-NCAR and ERA40 re-analysis datasets. Results from two global reanalyses NCEP-NCAR and ERA40 are reported in section 3. Summary and conclusions are drawn in section 4.

## Datasets

The NCEP reanalyses are produced with the T62 version of the operational T126 model, attaining a horizontal resolution of about 200 km. Vertical resolution is variable, as 28 levels are unevenly distributed from the surface to 3 hPa. The ERA40 reanalyses have a finer resolution, deriving from the T159 spectral truncation and the higher number of vertical levels (60), with the upper boundary at 0.1 hPa. We also examine the precipitation climatology provided by the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). The GPCC provides a global dataset of monthly gridded precipitation data derived from station observations (Beck et al 2005).

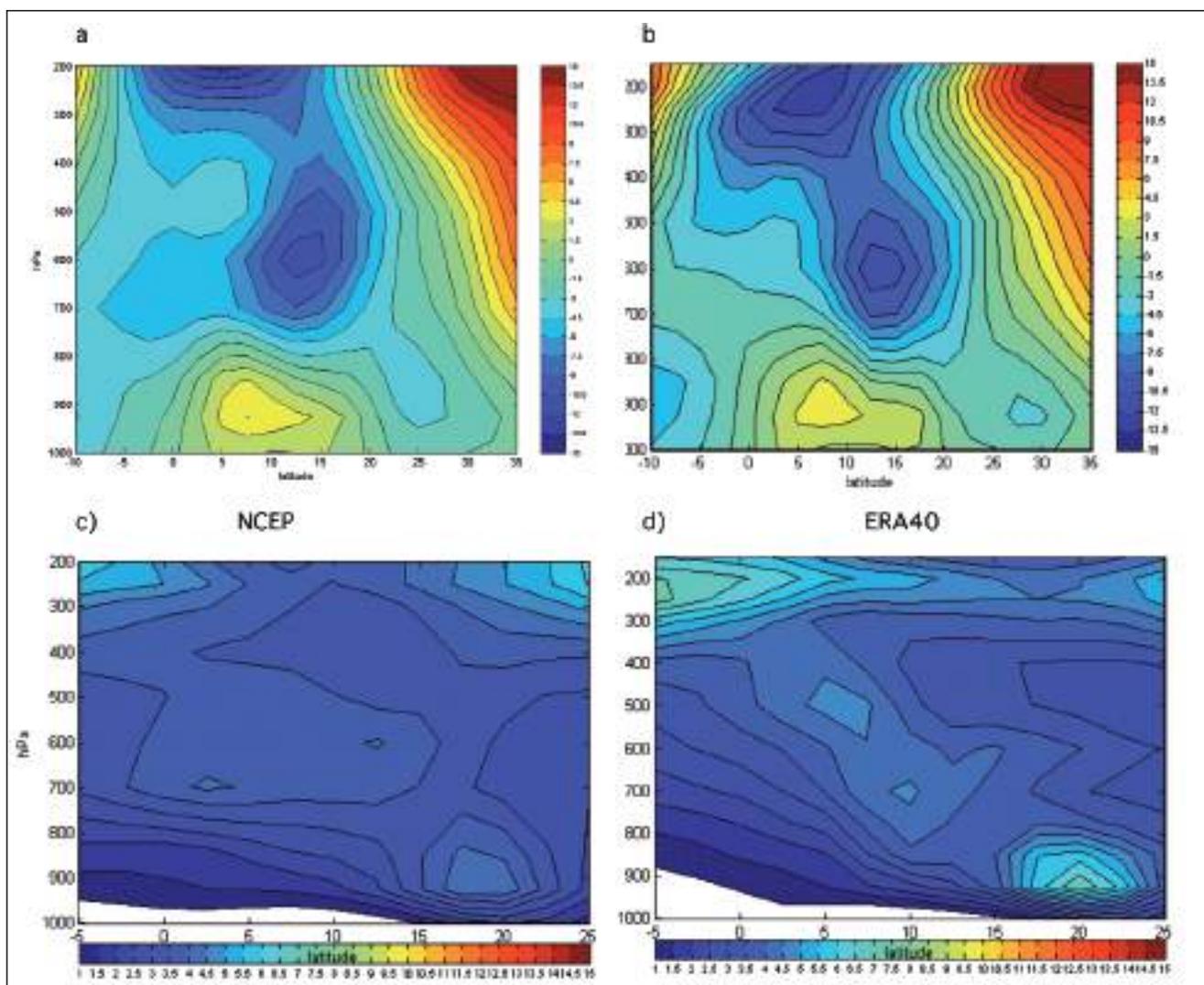
## Background: AEJ and AEWs as simulated by the NCEP-NCAR and ERA40 assimilation systems

In order to characterize the climatology of the zonal wind in the area of interest, we averaged the summer mean (JJAS) of the  $u$  component over the longitudinal belt comprised between  $15^{\circ}\text{W}$  and  $10^{\circ}\text{E}$  and over the whole period 1961-2000, and analysed the resulting meridional cross-section for each of the two Reanalyses. Important circulation features are apparent in the zonal wind cross sections shown in panels *a* and *b* of Fig. 1, derived from NCEP and ERA40, respectively. The low-level monsoon flow onto the Guinean coast is revealed by the low-level westerly zonal wind maximum confined below 800 hPa between latitudes  $5^{\circ}\text{S}$ – $20^{\circ}\text{N}$ , characterized by a maximum velocity of about 3–4.5 m/s, penetrating well onto the continent. Most of the onshore monsoon flow is located in the deep convection area of the ITCZ between  $5^{\circ}\text{N}$  and  $10^{\circ}\text{N}$ . The

easterlies exhibit two well defined maxima: the AEJ, located at 600hPa between 10°N-15°N, and the Tropical Easterly Jet (TEJ) at 200 hPa and further southward. The surface easterlies which prevail north of the thermal low are associated with the monsoon flow and give rise to the Harmattan winds. The main discrepancy between the two reanalyses appears on the southern flank of the AEJ, where NCEP-NCAR produces a

stronger easterly pattern, which seems to emanate from the AEJ and to penetrate into the Southern Hemisphere, a feature that is clearly weaker in the ERA40 dataset.

The AEJ structure is thought to be maintained by the diabatically forced meridional circulation associated with dry convection in the Saharan thermal low region, and by the meridional circulation induced by



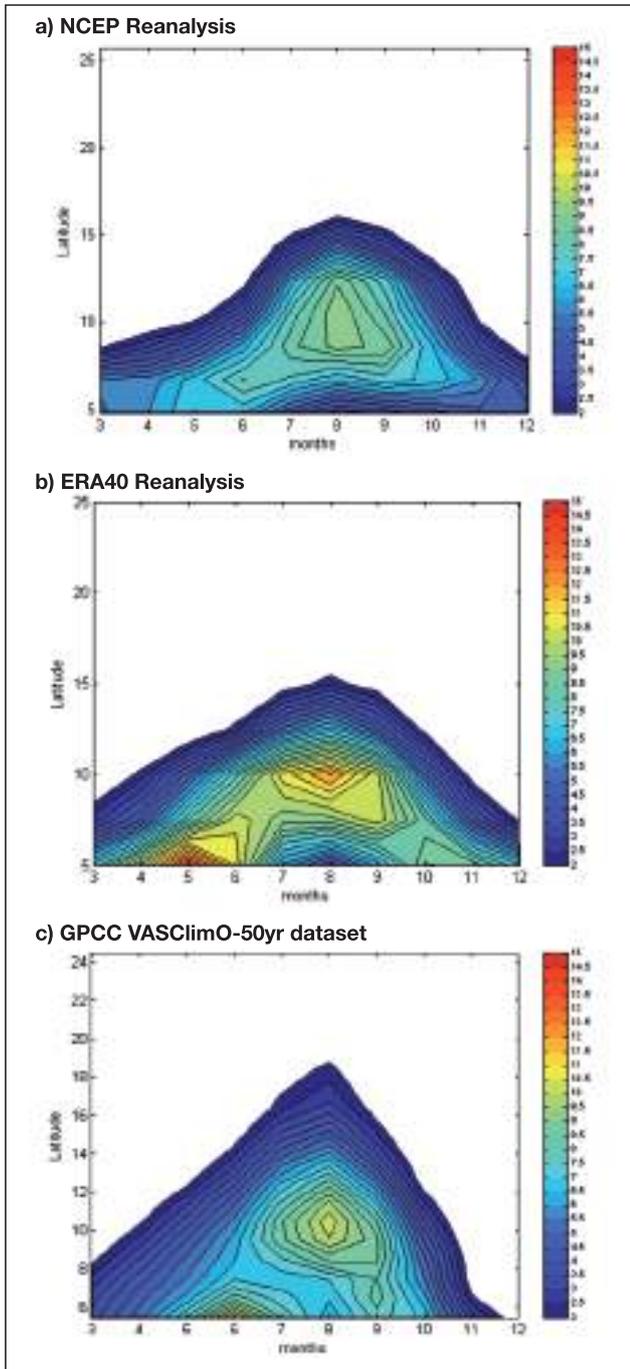
**FIGURE 1** a-b) Mean state for zonal wind for NCEP and ERA40, respectively. Unit: m/s  
c-d) Band-pass 2-6 days variance of meridional wind for NCEP and ERA40, respectively. The cross sections are obtained averaging the fields over the longitudinal bands 15W-10E. Unit: (m/s)<sup>2</sup>

deep moist convection in the ITCZ (Thorncroft and Blackburn 1999). The AEJ is characterised by vertical and meridional shears and it is dynamically unstable. Instabilities could arise at the flanks of the AEJ through barotropic and baroclinic energy conversions (Burpee 1972, Thorncroft and Hoskins 1994). In particular, it has been suggested that baroclinic processes are more important over the land while barotropic processes are dominant over the sea (Norquist et al 1977, Thorncroft and Hoskins 1994). The meridional structure of the zonal wind in Fig. 1a-b corresponds to a distribution of  $\bar{u}$  (not shown here) that satisfies the Charney-Stern instability criterion (Charney and Stern, 1962). As a matter of fact, the mean state is characterised by negative values of  $\bar{u}$  in correspondence of the jet core and by positive values of  $\bar{u}$  at the flanks (Thorncroft and Blackburn 1999). Therefore  $\bar{u}$  changes sign in the fluid interior, thus allowing the growth of unstable disturbances. Such reversal of the PV meridional gradient at the southern flank of the AEJ has been associated to convective heating in the ITCZ, suggesting that convection processes in the ITCZ play a relevant role in giving birth to unstable easterly waves in the West African region (Schubert et al 1991).

The spectra of the meridional wind variance over the West African region exhibit a peak for 2-6 day periods (Mekonnen et al 2006). In Fig. 1c-d we show the latitude-height cross-sections of the meridional wind variance (longitudinally averaged 15W-10E) after a 2-6 day band-pass filter has been applied, for NCEP-NCAR and ERA40 reanalyses respectively. In accordance with the results reported in Pytharoulis and Thorncroft (1999) and Chen (2006), we find two local maxima at both flanks of the AEJ (located at about 12N-600 hPa), in correspondence of positive  $\bar{u}$  gradients. Both reanalyses show a well defined maximum in the lower troposphere below 850 hPa at about 20°N, associated with anticyclonic-shear at the northern flank of the AEJ. This feature is in conjunction with clear sky conditions and large values of kinematic wave activity, as well as with vorticity anomalies (Thorncroft and Hoskins, 1994; Kiladis et al 2006). The second maximum is located at the southern flank of

the AEJ, but its location is different in the two reanalyses sets. In the NCEP-NCAR reanalysis the maximum is placed over the Gulf of Guinea and does not extend far below 700 hPa, while ERA40 sets it northward over the continent and describes it as a deeper tropospheric structure stretching from 800 hPa to 500 hPa. Some authors (Burpee 1974 among others) suggest that the mid-tropospheric instability south of the AEJ is generated by the Charney-Stern barotropic-baroclinic mechanism for energy conversion, which is thought to be directly linked to the dynamics of the ITCZ (Schubert et al 1991, Hsieh and Cook, 2007). Therefore, the different representation of the ITCZ structure and location in the two datasets (here not shown) is to be held responsible for a different structure of the  $\bar{u}$  field, thus justifying the dissimilarities of Figs. 1c and 1d. The NCEP-NCAR and the ERA40 reanalyses also differ as to the PV gradient distributions (figure not shown), which is again a consequence of the discrepancies in the representation of the ITCZ between the two datasets, probably due to distinct treatments of deep convection in the underlying models. Hereafter we fix our attention mainly on the representation of the southern lobe of the variance, intimately related to convection and rainfall over West Africa.

In order to further validate the representation of the mean circulation over West Africa given by the reanalyses, for both datasets we show the seasonal cycle of local precipitation averaged over longitudes comprised between 15 W and 10E as a function of latitude, and compare the results with those reported in the observational land-based dataset GPCC (Fig. 2). In the GPCC dataset the rainfall peak changes location during summer, moving from 5N (June) up to 10 N (July-August). Both reanalyses capture this behaviour, although precipitations appear to be concentrated over the coastal region and do not extend farther than 10N. Moreover, the early summer peak observed at 5N in June appears to be shifted in time in the ERA40 reanalyses, which anticipate it to May, while it is much weaker and shifted northward in the NCEP dataset. In addition, ERA40 generally overestimates summer rainfall while NCEP underestimates it.



**FIGURE 2** Season cycle for precipitation in mm/days over West Africa longitudinally averaged between 15W-10E for  
 a) NCEP Reanalysis  
 b) ERA40 Reanalysis  
 c) GPCC VASCLimO-50yr dataset

## Summary and discussion

The northern and the southern track of AEWs have been treated separately, in agreement with Reed et al. (1988), who analysed ECMWF data from 1985 onwards showing that the AEWs followed two different paths over the land (on either side of the jet), while over the ocean they merged and moved at a latitude of about 15°N. Particular attention is paid to the southern track of AEWs, as it is thought to be strictly linked to the occurrence of convection and rainfall over the Sahel region (Thorncroft and Hoskins 1994).

The two reanalyses show a similar mean circulation over West Africa, with minor discrepancies in the representation of the southern flank of the AEJ, but significant differences in the representation of the AEWs, especially as to the position of the major centre of variability. The NCEP reanalysis locates AEWs over the Gulf of Guinea and over the West African coast interested by monsoon circulation. On the other hand, in ERA40 a high variance pattern broadly extends over the African continent in the latitudinal band 5N-10N, in agreement with the analysis of the 2-6 day band pass variance of brightness temperature in this region carried out by Mekonnen et al (2006).

The differences between the two reanalyses appear to be robust features, which persist if our analysis is restricted to the time window 1979-2000 (figure not shown), over which better accordance is generally observed (Dell'Aquila et al. 2005). In spite of such discrepancies, the two reanalyses agree in their estimate of the percentage of total intra-seasonal variance over West Africa which is attributable to AEWs variability. The vertical structure of the perturbations (in particular the baroclinic tilt at lower levels) has been characterized by means of a PC analysis of the longitude-height cross-section of 2-6d band-pass filter meridional wind, revealing that the two datasets ascribe the generation of disturbances to the same dynamical processes, i.e. barotropic energy conversion at jet core level and baroclinic energy conversion in the lower tropospheric levels. However, comparison with an observational land-based dataset shows that ERA40 overestimates tropical rainfall in the area while NCEP underestimates it.

- [1] Burpee, R.W., 1972: *The origin and structure of easterly waves in the lower troposphere of North Africa*. J. Atmos. Sci., 29, 77-90.
- [2] Burpee, R.W., 1974: *Characteristics of north African easterly waves during the summer of 1968 and 1969*. J. Atmos. Sci., 31, 1556-1570.
- [3] Chang, C.B., 1993: *Impact of desert environment on the genesis of African wave disturbances*. J. Atmos. Sci., 50, 2137-2145.
- [4] Charney, J.G. and Stern, M. E. 1962. *On the stability of internal baroclinic jets in a rotating atmosphere*. J. Atmos. Sci. 19, 159-172.
- [5] Chen, T.C., 2006: *Characteristics of African Easterly Waves Depicted by ECMWF Reanalyses for 1991–2000*. Mon. Wea. Rev., 134, 3539-3566
- [6] Dell'Aquila, A., Lucarini, V., Ruti, P.M., and Calmanti, S. (2005) *Hayashi Spectra of the Northern Hemisphere Mid-latitude Atmospheric Variability in the NCEP-NCAR and ECMWF Reanalyses*. Climate Dynamics, DOI: 10.1007/s00382-005-0048-x.
- [7] Eltahir, E.A.B., and Gong, C., 1996: *Dynamics of Wet and Dry Years in West Africa*. J. Climate, 9, 1030-1042.
- [8] Fontaine, B. and Janicot, S., 1996: *Sea surface temperature fields associated with West African rainfall anomaly types*. J. Climate, 9, 2935-2940.
- [9] Fyfe, J.C., 1999: *Climate simulations of African Easterly Waves*. J. Climate, 12, 1747-1769.
- [10] Hall, N.M.J., Kiladis, G.N. and Thorncroft, C.D., 2006: *Three-Dimensional Structure and Dynamics of African Easterly Waves. Part II: Dynamical Modes*. J. Atmos. Sci., 63, 2231-2245.
- [11] Hsieh, J.S., and Cook, K.H., 2005: *Generation of African Easterly Wave Disturbances: Relationship to the African Easterly Jet*. Mon. Wea. Rev., 133, 1311-1327.
- [12] Hsieh, J.S., and Cook, K.H., 2007: *A Study of the Energetics of African Easterly Waves Using a Regional Climate Model*. J. Atmos. Sci., 64, 421-440.
- [13] Kiladis, G.N., Thorncroft, C.D., and Hall, N.M.J., 2006: *Three-Dimensional Structure and Dynamics of African Easterly Waves. Part I: Observations*. J. Atmos. Sci., 63, 2212-2230.
- [14] Mekonnen, A., Thorncroft, C.D., and Aiyyer, A.R., 2006: *Analysis of Convection and Its Association with African Easterly Waves*. J. Climate, 19, 5405-5421.
- [15] Norquist, D.C., Recker, E.E. and Reed, R.J., 1977: *The energetics of African wave disturbances as observed during Phase III of GATE*. Mon. Wea. Rev., 105, 334-342.
- [16] Parrish, D.F., and Derber, J.C., 1992: *The National Meteorological Center's spectral statistical interpolation analysis system*. Mon. Wea. Rev., 120, 1747-1763.
- [17] Pytharoulis, I. and Thorncroft, C.D., 1999: *The low-level structure of African easterly waves in 1995*. Mon. Wea. Rev., 127, 2266-2280.
- [18] Reed, R.J., Norquist, D.C., and Recker, E.E., 1977: *The structure and properties of African wave disturbances as observed during Phase III of GATE*. Mon. Wea. Rev., 105, 317-333.
- [19] Reed, R.J., Klinker, E. and Hollingsworth, A., 1988: *The structure and characteristics of African easterly wave disturbances determined from ECMWF operational analysis/ forecast system*. Meteorol. Atmos. Phys., 38, 22-33.
- [20] Schubert, W.H., Ciesielski, P.E., Stevens, D.E., and Kuo, H.C., 1991: *Potential vorticity modeling of the ITCZ and the Hadley circulation*. J. Atmos. Sci., 48, 1493-1509.
- [21] Sultan, B., Janicot, S., and Diedhiou, A., 2003: *The West African Monsoon Dynamics. Part I: Documentation of Intraseasonal Variability*. J. Climate, 16, 3389-3406.
- [22] Thompson, R.M., Jr., Payne, S.W., Recker, E.E., and Reed, R.J., 1979: *Structure and properties of synoptic scale wave disturbances in the intertropical convergence zone of the eastern Atlantic*. J. Atmos. Sci., 36, 53-72.
- [23] Thorncroft, C.D., 1995: *An idealized study of African easterly waves. Part III: More realistic basic states*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 121, 1589-1614.
- [24] ———, and Blackburn, M., 1999: *Maintenance of the African easterly jet*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 125, 763-786.
- [25] ———, and Hoskins B.J., 1994: *An idealized study of African easterly waves. Part I: A linear view*. Quart. J. Roy. Meteor.Soc., 120, 953-982.
- [26] ———, and Rowell D.P., 1998: *Interannual variability of African wave activity in a general circulation model*. Int J Climatol 18: 1305-1323.





# Basalt fibra: from earth an ancient material for innovative and modern application

This article focuses on some of the principal aspects of basalt fiber (the manufacturing techniques, the main products, a non-exhaustive overview of the main properties and characteristics, some remarks on the major environmental and energy aspects) and the related activities that ENEA is currently carrying out, mainly in the Trisaia research Centre. ENEA has signed a collaboration agreement with leading manufacturing companies worldwide for the study and development of basalt fiber applications. This gives the Agency the opportunity to focus its R&D activities on basalt fiber application areas more compatible with its own mission (new construction materials also in terms of energy efficiency, automotive solutions, etc.), making it one of the national reference entities as far as research on this material is concerned

■ Piero De Fazio

## La fibra di basalto: dalla terra un materiale antico per applicazioni innovative e moderne

L'articolo si sofferma su alcuni degli aspetti della fibra di basalto (la tecnica realizzativa, i principali prodotti realizzati, un panorama non esaustivo delle principali proprietà e caratteristiche, alcune considerazioni sui principali aspetti ambientali ed energetici) e sulle attività che ENEA sta attualmente svolgendo principalmente presso il C.R. Trisaia. Grazie ad un accordo di collaborazione per lo studio e lo sviluppo delle applicazioni della fibra di basalto con una delle principali società produttrici a livello mondiale, ENEA ha la possibilità di affrontare in maniera sistematica e completa le problematiche di ricerca e sviluppo legate a questo materiale, focalizzandole sui settori applicativi più compatibili con la mission dell'Agenzia (nuovi materiali nel settore costruttivo anche in chiave di efficienza energetica, auto motive ecc.), diventando così uno dei soggetti di riferimento nel panorama nazionale della ricerca sulle applicazioni di questo materiale

### Introduction

Basalt fiber (BF), known as “the green industrial material of the XXI-century”, combines ecological safety,

natural longevity and many other properties. It is not a new material, but its applications are surely innovative in many industrial and economic fields, from building and construction to energy efficiency, from automotive to aeronautic, thanks to its good mechanical and chemical performances. Hence basalt fiber has gained increasing attention as a reinforcing material

■ Piero De Fazio

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Trisaia, Laboratorio Tecnologia dei materiali e metrologia

especially compared to traditional glass and carbon fibers. In this context, several studies dealing with glass and carbon fiber reinforced composites consider the significance of basalt fiber as a new reinforcing material.

This article aims to provide a profile of basalt fiber material in particular with respect to its multiple characteristics and applications, illustrating also the activities that ENEA is carrying out in this particular research area.

## Basalt fiber

As it is well known, basalt is the name given to a variety of volcanic rock, known principally for its resistance to high temperatures, strength and durability, widely diffused all around the world, in which  $\text{SiO}_2$  accounts for the main part, followed by  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , then  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$  and  $\text{MgO}$ . For this reason, basalt rocks are classified according to the  $\text{SiO}_2$  content as alkaline (up to 42%  $\text{SiO}_2$ ), mildly acidic (43 to 46%  $\text{SiO}_2$ ) and acidic basalts (over 46%  $\text{SiO}_2$ ). Only acidic type basalts satisfy the conditions for fiber preparation.

Basalt applications are well known from roman age where this material was used in its natural form as a paving and building stone: actually basalt can also be formed into a continuous fiber having unique chemical and mechanical properties, so that it is ideally suited for demanding applications requiring resistance against high temperatures, insulation properties, acid and solvent resistance, durability, mechanical strength, low water absorption, etc.

Among others, two more characteristics must be highlighted:

- 1) basalt fiber can be suited for fire protective applications and so it can replace almost all applications of asbestos without any impact on human health, thanks to the fiber's size that make it non-breathable. In this regard, in 1998 an official list containing the names of the materials that can replace asbestos - *Decreto Ministero dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato 26.03.1998 - Elenco contenente i nomi delle imprese e dei materiali sostitutivi dell'amianto che hanno ottenuto l'omologazione* - was published in Italy and among those materials there is also the basalt fiber;
- 2) basalt fiber is an eco-compatibility material, char-

acterized from an easier recyclability if compared, for example, to glass fiber. Infact the principal problem in glass fibers recycling is that they melt during incineration, sticking to the inside of the incineration chamber. The result is a costly clean-up effort and significant downtime. Basalt, instead, has a melting point of about 1400 °C; this means that after some composite material containing basalt fibers is incinerated, the only product left is an unmolten, fully usable basalt that can be swept from the incineration. And this is naturally a considerable added value.

Basalt fibers are produced from basalt rock using single component raw material by drawing and winding fibers from the melt. Once the basalt fibers have been produced, they are converted into a suitable form for particular application, such as (figure 1):

- a) continuous fiber, made of a bundle of parallel strands without twisting; thickness of a fiber usually ranges from 7 to 24 microns. It is the basic material, directly produced by the melting process of volcanic rock, from which it is then possible to get any other products with different manufacturing methods;



1 - Continuous basalt fiber; 2 - Fabrics;  
3 - Basalt fiber panel; 4 - Chopper strands

**FIGURE 1** Some basalt fiber products  
Source: HG GBF



- b) chopper strands, produced by cutting continuous basalt fiber; it is used in reinforcing the cement and concrete;
- c) fabrics with different weights and weaving of various purpose: they can be used as external reinforcement for concrete in many structural systems, filtering, fire-proof, electrical, roofing, etc;
- d) basalt fiber composite rebar (BFRC), which has the potential to replace steel in reinforced concrete, structures exposed to salt water, etc. wherever the corrosion problem exists.

Just this last product is very interesting for potential research and application.

As well known, the steel tends to corrode if not protected adequately. There are many ways to limit the oxidation: adding an extra layer of concrete to increase the distance of the inner steel from the outer surface, using stainless steel - more expensive solution than simple steel - or bars obtained from glass fibre pultrusion. However this last solution is limited because of the lower resistance of the glass fibre in the alkaline environment associated with concrete. Using pultruded bars made with basalt fibres may be a right solution for this problem, given that basalt fibers are more resistant than glass fibres in the alkaline environment and, moreover, cannot corrode. Therefore, pultruded bare made with basalt fibres should insure good durability to the reinforced concrete, because they do not react in alkaline environments and with corrosive elements. As a result, it could be possible to have a lighter building, because of a lower weight of the reinforcement (a pultruded bar weighs about 1/3 of a steel bar having the same dimensions), and, wherever it could be acceptable, a reduction in the concrete thickness.

Some more consideration may be made about advantages by using this material, particularly in terms of primary energy consumption. If we still consider the potential use of basalt fiber rebar in construction sector in place of traditional steel reinforcing bars - in respect of which they have comparable mechanical properties - it is possible to calculate that this replacement leads to an energy savings of about 9,12 kWh/kg of basalt used. Infact the total energy required for the production of basalt fiber is 4,96 kWh/kg while the

production of a similar amount of steel, taking into account different density (each kg of basalt corresponds to 2,91 kg of steel), requires a power consumption of 14,08 kWh. Assuming the use of basalt in the order of 5% of the steel used in construction sector in Italy, it is rather easy to calculate an energy savings of about 3.920.000 MWh /year. A similar value is made from a 500 MW electric power station working 8.000 h/year. Reducing energy demand also induces lower emissions of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. In the same assumption made earlier, CO<sub>2</sub> emissions in the atmosphere would be to drop by about 775.000 tons/year.

### A short history

The French Paul Dhé was the first with the idea to extrude fibers from basalt; he was granted a U.S. patent in 1923.

Around 1960, both the U.S. and the Soviet Union (USSR) began to investigate basalt fiber applications, particularly in military field. In 1970 U.S. glass companies imposed a research strategies that favoured glass fiber than basalt fiber, while in Eastern Europe research was nationalized by the USSR's Defense Ministry.

After the breakup of the Soviet Union in 1991, the results of Soviet research were declassified and made available for civilian applications.

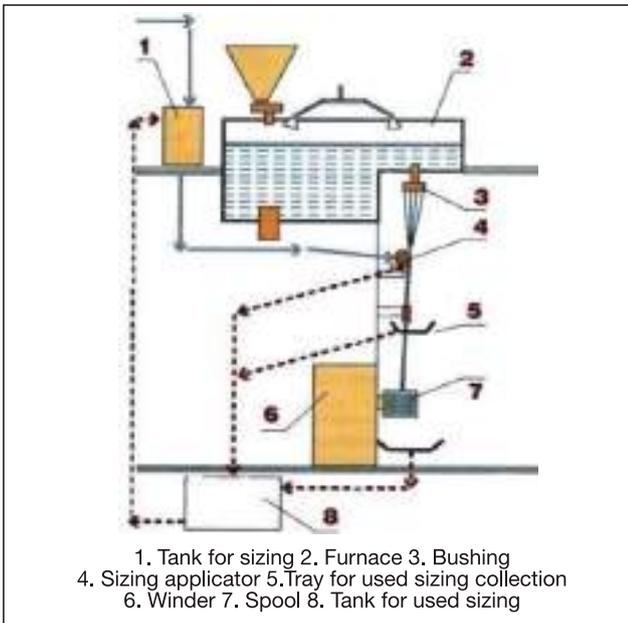
Today, basalt fiber research, production and most marketing efforts are principally based in some of countries once part of the Soviet Union (Georgia, Ukraine, the same Russia) and in China.

### Production process

In many ways, basalt fiber technology production is similar to glass fiber one, but it requires less energy. This aspect, together with an easy availability of raw material all over the world, justifies the lower cost of basalt fibers compared to glass fibers.

BF are extruded from basalt rocks through a melting process without the application of additives. The manufacturing process can be summarized as shown in figure 2.

Quarried basalt rock is first crushed, then washed and moved into melting baths in gas-heated furnaces. under temperature of 1,460-1,500 °C. Here, the process is simpler than glass fiber processing be-



**FIGURE 2** Basalt fiber production: general scheme  
Source: *Composite market web portal*

cause the basalt fiber has a less complex composition.

Molten basalt flows from furnace through a platinum-rhodium bushing with 200, 400, 800 or more holes and the fibers can be drawn from the melt under hydrostatic pressure. Then a sizing is applied to the surface of the fibers by a sizing applicator to impart strand integrity, lubricity, and resin compatibility. Finally, a winder allows to realize some large spools of continuous basalt filament.

The production process, particularly temperature levels in the furnace, is of considerable importance in relation to final mechanical properties of basalt fibrous materials (rovings, etc). Infact it has been reliably determined that low variations in chemical composition of basalt rocks have a minor effect on the level of mechanical of continuous basalt fibers while the greatest effect comes from direct molding conditions of the fibers (drawing temperature and the period of melt homogenization).

For example, for the same basalt chemical composition, a fiber drawing temperature increase of 160 °C (from 1.220 °C to 1.380 °C) increased their strength

from 1.3 to 2.23 GPa and modulus of elasticity from 78 to 90GPa.

Great importance on final properties has also the fiber dimension: as the filament diameter increases of 3-4 m, the strength value decreases from 2.8 to 1.8 GPa.

### Chemical and mechanical properties

Basalt fibers are characterized by a good resistance against low and high temperatures and are superior to other fibers in terms of thermal stability, heat and sound insulation properties, ablation resistance, vibration resistance and durability.

Basalt fiber is raised, from a performance standpoint, between the carbon fiber and the glass fiber, even if among others, it has a great advantage: it is well-compatible with carbon fiber. The consequence is that high efficient hybrid materials can be manufactured by adding small (pre-determined) amount of carbon fibers to basalt fibers. The obtained thread, differing insignificantly in cost (owing to small content of expensive carbon fiber) will demonstrate considerably better elastic properties compared with basalt fiber (notice that elastic modulus of basalt fiber is around 11.000 kg/mm<sup>2</sup>, whereas that of carbon fiber is 22.000-56.000 kg/mm<sup>2</sup>).

However, from a properties point of view, glass fiber, in its various form and chemical composition, can be considered as the reference material for a better understanding of basalt fiber properties.

Both are inorganic but they are manufactured by different processes.

Glass fibers are produced from melted charge (composed of quartz sand, soda, limestone, fluxing agents, etc.) to obtain glass, from which fibers are obtained by blow with steam, air or at centrifuge.

Basalt fiber is obtained, as already shown, from melted of basalt rocks without any additives.

Table 1 shows the average values of some principal indicators of basalt fiber and glass fiber.

From the table 1 it is possible to observe that:

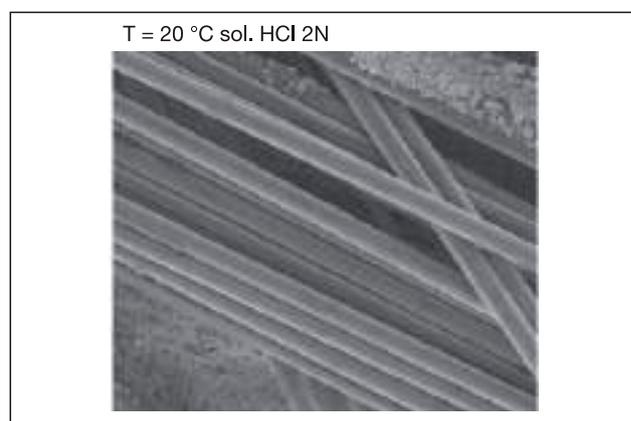
- the modulus of elasticity of basalt fibers is higher at least 18% than that of glass fibers, particularly E-glass fiber, and, as known from literature, very closely approximates the modulus of elasticity of high-modulus and high-strength fibers made of magnesium - aluminosilicate glass (S-glass rovings).

- The application temperature of basalt fibers products are markedly higher (from -260 °C to 700 °C) compared to glass (-60 °C to 250 °C).
- Vibration-resistance of basalt fiber is also much higher than that of glass fiber. That is why BF finds widest application in wide range of constructions, subjected to heavy vibration and acoustic loads: transport vehicles (notice that initially basalt fibers were applied in aerospace military industry and shipbuilding), engineering, etc. Besides, basalt fiber articles serve as effective sound-insulator, which is not broken itself under effect of acoustic vibrations that owes, for instance, their exclusives application as insulation in aircrafts.

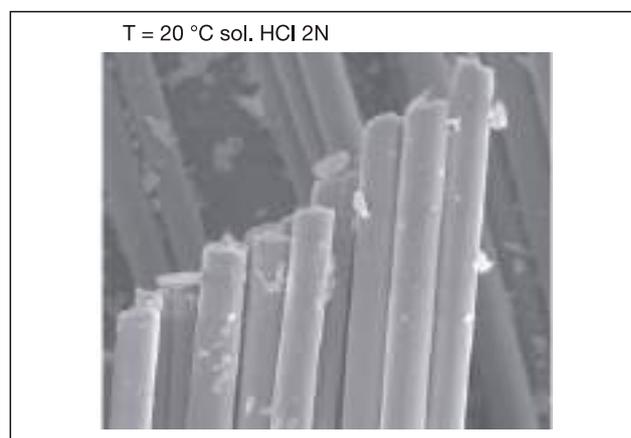
	Basalt fiber		Glass Fiber	
Thermo-physical properties working temperature ( °C)	-260 °C ~ 700 °C		-60 °C ~ 250 °C	
Caking temperature (°C)	1100 °C		600 °C	
Thermal Conductivity	0.031~0.038 w/m.*K		0.038~0.042 w/m.*K	
Physical properties filament diameter (µm)	7 ~ 15		6 ~ 17	
density (kg/m <sup>3</sup> )	2560		2500 ~ 2600	
elastic modulus (kg/mm <sup>2</sup> )	10000 ~ 11000		Up to 7200	
Tensile strength MPa	4150 ~ 4800		4150 ~ 4800	
Residual Tensile strength under heat treatment (%)	20°	100	20°	100
	200°	95	200°	92
	400°	82	400°	52
	600°	76	600°	caking
Chemical resistance (loss of weight) (%)	2N HCl	2.2	2N HCl	38.9
	2N NaOH	6.0	2N NaOH	2.75
	H <sub>2</sub> O	0.2	H <sub>2</sub> O	6.2
Water absorption for 24 hours (%)	0.02		1.7	
Vibro resistance (loss of weight) (%)				
	At temperature 200°C	0	12	
	450°C	0.01	41	
900°C	0.35	100		
Acoustic characteristics Sound absorption coefficient	0.95~0.99		0.8~0.92	

**TABLE 1** Comparative characteristics of fiber  
Source: ENEA

Among these various properties and characteristics, basalt fiber resistance in acidic and basic environments should be highlighted especially if compared with glass fiber, for the implications that this has in common applications of this material, such as concrete reinforcement in form of chopped or bars. Obviously, chemical resistance of basalt fibers principally depends upon their chemical composition even if it is very important to evaluate the fiber surface condition, especially in the case of surface-active media (alkali, some salt solutions, and so on); the ratio of silicon, aluminium, calcium, magnesium, and iron oxides is of great importance. For instance, the presence of iron oxides imparts to basalt fibers higher chemical



**FIGURE 3** Basalt fiber production after 32 days  
Source: UNICAL



**FIGURE 4** Glass fiber after 32 days  
Source: UNICAL

and heat resistance as compared with glass fibers. In particular BF have high acid resistance, which is greater than the resistance of E-glass and S-glass fibers, but is somewhat less than the resistance of specific chemically resistant zirconium glasses.

At short-term exposure in strong mineral acid solutions, no fiber strength was observed while a long-term (more than 100 h) impact of hydrochloric acid solutions can cause strength reductions of 15%-20%. This reduction proceeds more slowly for basalt rovings with smaller filament diameter than for glass rovings, as shown in figures 3 and 4.

Regarding the resistance of basalt fibers to the influence of various alkali media, it has been considered for different times and at different levels in many researches. Alkali resistances of basalt fibers and glass fibers having different chemical composition, in various model alkali media (alkali, alkali-free, quartz, and zirconium), were compared qualitatively. Analysis of the strength decrease enables to arrange the glass and basalt fibers studied, in the following descending sequence by alkali resistance: zirconium > basalt > quartz > alkali > alkali-free. As may be inferred from this sequence, expensive zirconium-containing glass fibers are followed by relatively cheap basalt fibers having higher mechanical properties. Therefore, basalt fibers demonstrates a higher alkali resistance if compared with the majority of glass fibers. This is the reason why basalt fibers have been used as reinforcement of in Portland cement concrete, which is an alkaline medium, attracting the attention of researchers and users of these fibers.

## ENEA and basalt fiber

The interest of ENEA in basalt fiber research dates back to the project called "basalt fibers and their composites to reinforce cementitious-based materials", funded in 2008 under the program *Industry 2015*, technological area *materials to high efficiency for building and bioclimatic architecture*.

It was a research program in collaboration with 8 SMEs and 2 other Italian public research organization, in addition to ENEA Trisaia Research Centre. One of the project targets was the possibility of producing, firstly on a smaller scale, basalt fibers of acceptable quality at competitive costs, through which to obtain all the final

products, such as nets, chopper, rebar, fabrics, etc.

In March 2010 ENEA signed an agreement with HG-GBF, a Chinese company world leader in basalt fiber manufacturing. Main targets of this agreement are to deepen and enhance the research and development related to innovative industrial applications of basalt fiber and to implement research and innovation programs about BF application.

Among all basalt fiber application areas, ENEA, according to its mission, has focused its interest mainly on the aspects of materials related to energy efficiency, construction, boating and automotive sectors.

The *UTTTRI-TEM* (Metrology and Material Technology Laboratory) of ENEA Trisaia Research Centre has engaged part of its staff resources to basalt fiber R&D especially within non-destructive controls and durability, to test and qualify BF, in coordination with the *ENEA UTT MATERIALI* and in collaboration with both the operational resources available in other ENEA research centers particularly active in materials sector - Brindisi Research Centre - and some Italian public Universities, localized in the southern part of Italy, such as Palermo University and Calabria University.

More in detail, the *UTTMATB-COMP* of ENEA Brindisi Research Centre is researching on the application of short basalt fibers as reinforcement for concrete and for thermoplastic and thermosetting polymer matrices. Palermo University is involved with basalt fiber reinforced composites particularly targeted to the boating sector. Calabria University is researching with ENEA Trisaia on an eco-cement mortar reinforced with short basalt fiber.

Hg GBF has provided all the needed material required by ENEA to execute tests, in particular, given the basalt fiber application areas consistent with ENEA policy purposes: fabrics with different weave, nets, basalt fiber rebar from 8 to 16, chopped fiber of different length, continuous basalt fiber.

Tests are carried out by ENEA primarily to understand and research on the properties of a material - basalt fiber - that is not widely used and known in the Western world. In many cases research is in progress and yet still limited to few applications. The agreement with HG GBF allows ENEA to exploit Chinese knowhow and materials, learning more about the basalt fiber potential in all its forms and applications, making it the reference point in a virtuous cycle link-



ing producers to end-users through validation and research performed by an independent organization. Particularly, the following tests are carried out in the laboratories of the Technical Unit for Technology Transfer of Trisaia Research Centre: mechanical characterization of basalt fiber rebar and durability tests; characterization of BF insulating panels (thermal conductivity); durability and destructive tests on basalt fabric for structural applications; and, more generally, study of material durability.

Some of these tests are still in progress because they need long time – as in the case of durability tests– or in planning stage, such as BF rebars characterization; others have already been performed.

It is the case of experimental tests for measuring the thermal conductivity of a thermal insulation basalt fiber panel.

Given that the energy efficiency of the building depends primarily on the efficiency of the insulating material, the determination of its thermal characteristics is the first step towards the definition of a more efficient technological system.

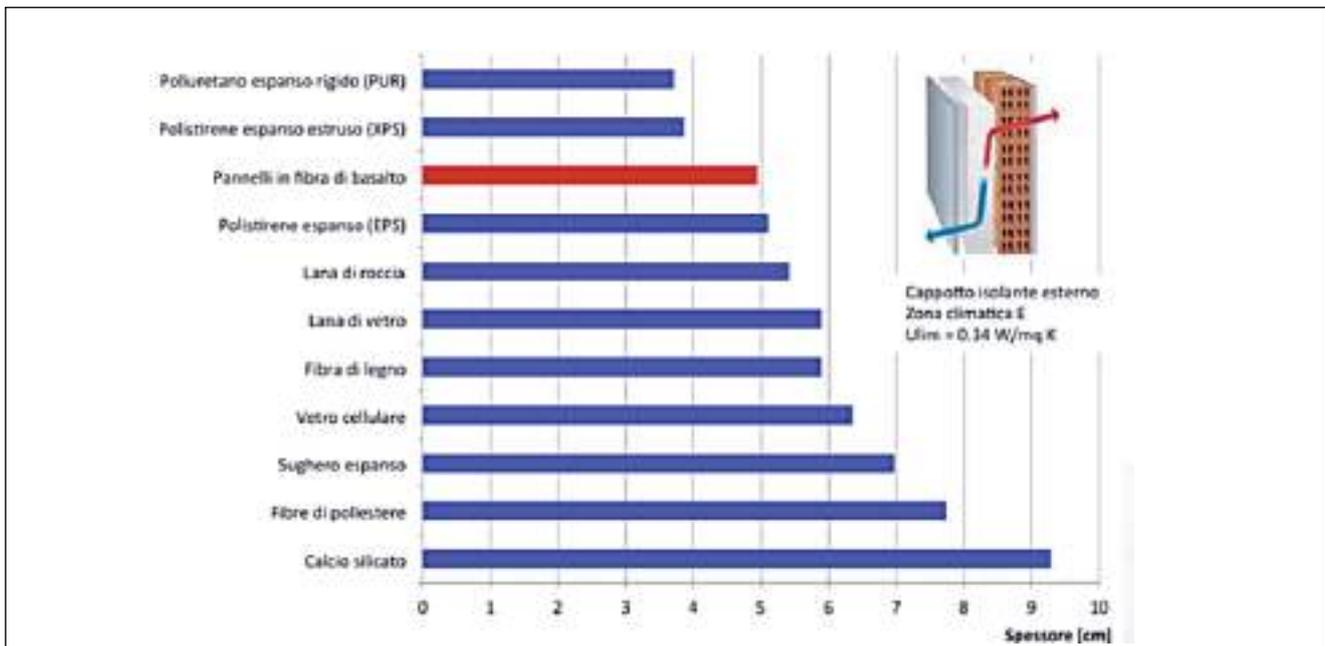
The experimental measurements were made by using

the method of heat flow with the NETZSCH apparatus (Model HFM 436/0) according to the standard procedure defined in compliance with UNI EN 12667. They showed that the basalt fiber panel tested – with a density of 240 kg/mc - has a thermal conductivity of 0.032 W/m K at the stated temperature of 10 °C, strictly comparable to that of traditional insulation materials such as fiberglass and rock wool having a much lower density.

The test results also showed the increase in thermal conductivity with temperature. Figure 5 shows a benchmarking depending on the thickness required for the same conductivity of a basalt fiber panel (red block) in a ranking of the most common materials used for insulation.

If compared to other materials, probably cheaper, the added value of the basalt fiber insulating panel can be the fire resistance.

Test results will be soon published in an ENEA internal report. Moreover, comparative tests with other materials used as insulation panels for energy efficiency will be published on a specialized national magazine. At the Materials Laboratory of Trisaia research Centre some more tests were performed on fabrics, normally



**FIGURE 5** Benchmarking of basalt fiber panel  
Source: ENEA



**FIGURE 6** Test preparation  
Source: ENEA

	<i>fca</i> [Mpa]	<i>a</i>	<i>fc/fc0</i>
<b>Unconfined</b>	27,1	0,0041	1
<b>GFRP</b>	37,3	0,010	1,38
<b>BFRP</b>	51,5	0,016	1,90

**TABLE 2** Test results  
Source: ENEA

used as external reinforcement for concrete in many structural systems (figure 6). Main objective of the experimental activity was to investigate on the effectiveness of confinement based on basalt fibers pre-impregnated in epoxy resin (BFRP), and to compare the performance (in terms of peak strength and ultimate axial strain gains) of different confinement materials, in particular glass fiber reinforcement laminates jacketing (GFRP). The investigation was carried out on 18 concrete cylindrical specimens with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm - 8 unconfined, 5 confined with uniaxial basalt laminates with unit weight of 200 g/m<sup>2</sup>, 5 confined with uniaxial glass laminates with unit weight of 250 g/m<sup>2</sup>.

A low compressive resistance concrete was reproduced to simulate many deficient existing structures; the specimens were wrapped by using a commercial epoxy resin, and tested 90 days from casting in compression through monotonically applied loading in force control, according to UNI EN 12390-3.

Test results are shown in table 2 and will be soon published in an internal ENEA report.

It is important to emphasize the good behavior of basalt fiber fabric reinforcement. In this case the added value can be eco-compatibility of this material, its easier recyclability if compared to other material with similar mechanical characteristics.

### Conclusions

As a result of its characteristics and properties, basalt fiber can be really considered as the material of our future for a green and sustainable development. If we consider the environmental impact of the whole complex of technological processes on obtaining an exploitation of basalt fibers, it is much lower than that of glass, carbon or mineral fiber material in general.

In this context, along with the development of the basalt fiber industry and applications, more and more researchers begin to research on the basalt fiber. An indicator of this particular situation can be the increasing number of the published papers about basalt fibers, especially from 2004. The pre-published papers are mainly overview articles about the basic properties of basalt fiber and its manufacture. As the development of basalt fiber applications increased, these published papers began to focus on the related basalt fiber reinforcement sectors: civil engineering, transportation infrastructures, research and development on resin-based composite material. There are also ever more applications for basalt patents.

However there can be a great risk: in many cases the applications of basalt fiber precede basic research. Conversely, in order to have a better and more scientific application of basalt fibers, it is necessary to strengthen a qualifying and analysis system of static, dynamic, extreme environments (high temperature, low temperature, chemical corrosion, freezing and thawing, etc.) properties of basalt fiber. Only in that way, theoretical model and design methods can guide the practical application. This can be the rule of ENEA which could also contribute to fill the basalt fiber gap, closely connected to the condition that the international engineering code authorities have not provided specific design guidance for its use.



dal  
**Mondo**

In sede internazionale prevalgono dibattiti e incontri in materia di crescita verde e sviluppo, in vista della Conferenza Rio+20 che si terrà nel 2012. Nella riunione ad Abu Dhabi di **IPCC (WG-III)** del 5-8 maggio è stato presentato il Rapporto Speciale sulle "Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation" (SRREN) secondo il quale, con efficaci politiche energetiche nazionali e internazionali, circa l'80% dei bisogni energetici mondiali al 2050 potrebbe essere soddisfatto dalle energie rinnovabili, evitando emissioni di anidride carbonica comprese tra 220 e 550 miliardi di tonnellate.

La 19ª sessione annuale della **Commissione per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (UN-CSD)**,

che si è svolta dal 2 al 14 maggio, si è conclusa senza un accordo rispetto ai temi in agenda. In tale occasione, però, è stato presentato il Rapporto del Comitato di esperti dell'**UNEP** dal titolo *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*, che sottolinea la necessità di disaccoppiare la crescita economica da quella dei consumi delle risorse naturali. Entro il 2050 il consumo delle risorse naturali (minerali, metalli, combustibili fossili e biomasse) potrebbe arrivare a 140 miliardi di tonnellate l'anno.

Il **Gruppo degli Otto - G8**, il Forum dei governi degli otto principali paesi industrializzati del mondo, si è riunito a Deauville, in Francia, dal 26 al 27 maggio ed ha concluso i suoi lavori con l'adozione della **Dichiarazione del G8 di Deauville** (vedasi sezione *World view*). Nel frattempo l'**OCSE** ha presentato, a fine maggio, il rapporto **Verso una crescita verde** che propone un quadro operativo di politiche idonee per le diverse situazioni nazionali e per i diversi livelli di sviluppo, come contributo alla Conferenza di Rio+20.

L'**Assemblea Generale delle Nazioni Unite** ha svolto il 2 giugno a New York un dibattito sulla **Green Economy**. Il principale messaggio emerso è un appello alla volontà politica di impostare e intraprendere uno sviluppo economico mondiale basato sulla *green economy*.

Come ogni anno, il 5 giugno si è celebrata la **Giornata Mondiale dell'Ambiente**. Il tema scelto per il 2011, anno internazionale delle foreste, è stato "Foreste: la natura al vostro servizio", per mettere in risalto il valore essenziale ricoperto dalle foreste per il sostentamento della vita e il legame esistente tra la qualità della vita umana e la salute dell'ecosistema forestale. L'**UNEP** ha presentato in questa occasione il rapporto *Foreste in una Green Economy: una sintesi*, secondo il quale investire ulteriori 40 miliardi di US \$ l'anno nel settore forestale potrebbe dimezzare i tassi di deforestazione entro il 2030, incrementare la forestazione di circa il 140% entro il 2050 e favorire la creazione di milioni di nuovi posti di lavoro.

Inoltre, un ulteriore 28% di carbonio dall'atmosfera potrebbe essere rimosso per una più efficace lotta al cambiamento climatico.

A Bonn, in Germania, è stato avviato, il 6 giugno, il secondo turno di negoziati sui cambiamenti climatici dell'**UNFCCC**, con il compito principale di elaborare una piattaforma condivisa in vista del vertice mondiale di Durban, **17ª Conferenza delle Parti**, che si svolgerà in Sud Africa nel dicembre 2011. Ancora a Bonn dal 3 al 5 giugno ha avuto luogo il Congresso Mondiale *Resilient Cities 2011 - 2nd World Congress on Cities and Adaptation to Climate Change*. Il Congresso è stato incentrato sull'adattamento ai cambiamenti climatici in ambiente urbano, con particolare enfasi alle questioni del finanziamento degli interventi di adattamento e alle questioni di una pianificazione territoriale adeguata alle esigenze di resilienza delle città.

Si è svolta a Vienna dal 20 al 24 giugno la **Conferenza annuale sulla sicurezza nucleare** dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica, che ha ribadito la necessità di rafforzare le misure nazionali e internazionali di sicurezza nucleare. In questa sede è stata espressa anche la necessità di avere una valutazione esaustiva dell'incidente di Fukushima perché, sulla base della lezione ricevuta, si possano rivedere gli standard di sicurezza.

Passando alle politiche energetiche, secondo il rapporto dell'**IEA** (Agenzia Internazionale per l'Energia) *Climate & Electricity Annual 2011: Data and Analyses*, le emissioni di CO<sub>2</sub> legate alla produzione di energia hanno raggiunto nel 2010 il livello più alto di sempre (vedasi la sezione *World view*).

Infine, un altro rapporto **IEA**, della serie *Technology roadmaps*, dedicato all'efficienza energetica negli edifici, dimostra che, applicando in modo intelligente le tecnologie di riscaldamento e raffreddamento degli edifici, si potrebbero risparmiare 2 miliardi di tonnellate di emissioni di anidride carbonica entro il 2050, vale a dire circa il 25% delle emissioni globali provenienti dal settore residenziale.

(Paola Cicchetti)



dall'  
**Unione Europea**

Nel periodo maggio-giugno 2011, La Commissione Europea ha svolto un intenso lavoro soprattutto sul tema dell'innovazione e dell'ambiente.

Le principali **iniziative** riguardano:

■ **La Nuova Strategia sulla biodiversità** (presentata il 3 maggio): la strategia, che vincola le principali politiche settoriali a tener conto anche della protezione della biodiversità, si basa su sei obiettivi che dovranno portare entro il 2020 a ridurre la pressione delle attività umane sugli ecosistemi naturali e sullo sfruttamento dei servizi ecosistemici;

La Comunicazione del 1 giugno su **Una visione strategica per le norme europee**, nell'ambito della strategia Europa 2020 per la crescita e l'occupazione. Tra le misure sono comprese le azioni europee e le raccomandazioni rivolte ad altri attori del sistema di normalizzazione europea (CEN, CENELEC, ETSI). Il finanziamento per le attività di normalizzazione europea dovrà promuovere il sostegno delle politiche industriali e dell'innovazione.

Tra le **azioni** svolte dalla Commissione, vanno evidenziate:

L'adozione, il 24 maggio, di una strategia globale di innovazione del quadro giuridico dei **diritti di proprietà intellettuale (DPI)** a sostegno di creatività e innovazione, con l'obiettivo di consentire ad inventori, autori, utenti e consumatori di adeguarsi alle nuove circostanze e di aumentare le opportunità commerciali. La strategia prevede una serie di interventi strategici in diversi ambiti, tra cui brevetti, marchi, indicazioni geografiche (IG), licenze di copyright multi-territoriali, biblioteche digitali e violazioni dei DPI.

La presentazione, il 9 giugno, da parte della Commissione europea della nuova **Relazione 2011 sulla competitività dell'Unione dell'innovazione** che verifica – ogni due

anni – i progressi della ricerca ed innovazione della UE e fornisce al contempo un'analisi statistica ed economica della stessa. La relazione sottolinea che occorre investire di più ed in maniera più intelligente sia nel pubblico che nel privato in modo da stimolare la crescita nel medio termine, ma che occorre anche una maggiore cooperazione in Europa e a livello internazionale. La relazione analizza i punti di forza e le carenze dei sistemi nazionali di ricerca e innovazione e fornisce elementi concreti su cui fondare le scelte politiche nazionali.

Il **Rapporto sulle acque di balneazione (Bathing Water Report)** pubblicato il 16 giugno dalla Commissione Europea e dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA), nel quale viene descritta in modo dettagliato la qualità delle acque di oltre 21.000 zone di balneazione, sia costiere che interne, in tutta l'UE-27 nel corso della stagione balneare 2010.

La presentazione, il 17 giugno, da parte dell'Istituto Europeo per l'Innovazione e la Tecnologia (European Institute for Innovation and Technology - EIT) dell'**Agenda Strategica per l'Innovazione (Strategic Innovation Agenda, SIA)** **"Investire in innovazione oltre il 2014"**, in cui sono riportate le linee guida EIT per l'investimento in innovazione, e la strategia EIT per contribuire alla crescita della capacità di innovazione e competitività dell'Europa.

La Comunicazione **Rio+20-Verso un'economia verde e una migliore governance a livello mondiale** adottata il 20 giugno, che costituirà il fondamento per la posizione dell'UE alla conferenza delle Nazioni Unite sullo sviluppo sostenibile (Rio+20), con particolare riferimento ai due temi della conferenza: facilitare il passaggio a un'economia verde e assicurare una migliore **governance** in materia di sviluppo sostenibile. Sulla base della comunicazione, la Commissione, il Consiglio e il Parlamento definiranno congiuntamente la posizione ufficiale dell'UE.

Tra le **consultazioni pubbliche** avviate nell'ultimo periodo, la Commissione Europea ha lanciato il 15 giugno una consultazione sui fondi di **venture capital** a sostegno delle PMI che incontrano difficoltà ad accedere a prestiti bancari o di quotazione in borsa. Il documento di consultazione indica le possibili linee generali di un "passaporto europeo" a disposizione dei fondi di **venture capital**, valido per tutta l'Europa. I risultati della consultazione che termina il 10 agosto, serviranno per avviare la normativa europea per il capitale di rischio. Il 21 giugno, a seguito di una consultazione e votazione online, la Commissione Europea ha annunciato il nuovo nome del futuro Programma dell'Unione europea di ricerca e innovazione, denominato **Horizon 2020**, che cercherà di unificare il ruolo svolto dal Programma Quadro per la ricerca e lo sviluppo, con il ruolo del programma quadro per la Concorrenza e l'Innovazione (CIP) e dall'Istituto Europeo per l'Innovazione e la Tecnologia (EIT).

(Valerio Abbadessa)



dalle  
**Istituzioni nazionali**

### Ambiente

La Camera ha approvato a giugno la proposta di legge "Sistema casa qualità. Disposizioni concernenti la valutazione e la certificazione della qualità dell'edilizia residenziale", che istituisce un sistema unico per la qualità dell'edilizia residenziale al fine di armonizzare i parametri per la valutazione dei requisiti delle costruzioni ed assicurare sostenibilità ambientale, contenimento energetico e benessere dei fruitori. La definizione dei metodi di verifica e di calcolo è affidata al Ministero dell'Ambiente di concerto con il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti. L'attività di vigilanza e certificazione è invece compito di Regioni, Province e Comuni che possono avvalersi del supporto di altri enti, tra cui l'ENEA, per la for-

mazione. Il provvedimento istituisce poi un Osservatorio per monitorare l'applicazione del sistema «casa qualità». In fase di approvazione alla Camera, il Governo si è impegnato a individuare risorse finanziarie aggiuntive alla detrazione del 55%. Il provvedimento è stato trasmesso al Senato per l'esame e l'approvazione.

### Energia

Con la conversione in legge del DL 31 marzo 2011, n. 34, avvenuta lo scorso 25 maggio, il Governo ha bloccato il programma nucleare, abrogando le norme emanate. A seguito degli esiti del referendum del 12-13 giugno, esponenti di Governo hanno dichiarato che ci sarà un forte impegno dell'Italia per le fonti rinnovabili. Pertanto, assume molta importanza l'indagine conoscitiva della Commissione Ambiente della Camera dei Deputati sulle politiche ambientali in relazione allo sviluppo delle fonti rinnovabili. Sono state fino ad ora svolte le audizioni di operatori del settore (tra cui GSE, GME, Terna Spa) e di associazioni ambientaliste (tra cui Legambiente, Amici della Terra, Kyoto club) e sono previste a breve le audizioni di istituzioni ed enti competenti in materia di energia e fonti rinnovabili. Altri provvedimenti sono stati approvati in via definitiva dal Consiglio dei Ministri a fine maggio. In particolare: il decreto legislativo che recepisce le direttive 2009/72, 2009/73 e 2008/92, in materia di mercato interno del gas naturale e trasparenza dei prezzi al consumatore finale di gas e di energia elettrica; il decreto legislativo che modifica la disciplina della direttiva 2006/117 EURATOM sulla sorveglianza e il controllo delle spedizioni di rifiuti radioattivi e di combustibile nucleare esaurito.

### Sviluppo economico

Lo scorso 5 maggio, il Consiglio dei Ministri ha approvato il DL 70/2011 "Semestre Europeo - Prime disposizioni urgenti per l'economia", pubblicato in GU il 13 maggio. Il decreto istituisce un credito d'imposta, per gli anni 2011 e 2012, a favore delle imprese che finanziano progetti di ri-

cerca in Università o Enti pubblici di ricerca. Il credito d'imposta è pari al 90% della spesa incrementale di investimento, rispetto alla media di investimenti in ricerca effettuati nel triennio 2008-2010. Il provvedimento introduce, poi, nuove forme di contratti di programma per la ricerca, disciplina l'istituzione di una Fondazione per il merito e detta disposizioni in materia di personale scolastico. Altre materie disciplinate dal decreto sono: il riconoscimento di incentivi per l'assunzione di lavoratori svantaggiati nel Mezzogiorno; l'istituzione nei territori costieri dei distretti turistico-alberghieri; semplificazioni procedurali per la realizzazione delle opere pubbliche; interventi per il rilancio dell'edilizia privata con un nuovo "piano casa"; riduzione di oneri burocratici; interventi di semplificazione fiscale; rilancio delle attività imprenditoriali; istituzione dell'Agenzia nazionale per la regolazione e la vigilanza in materia di acqua; misure per l'operatività dei Vigili del fuoco. Il provvedimento è stato approvato alla Camera dei Deputati all'interno di un maxiemendamento del Governo e passa ora all'esame del Senato.

(Laura Migliorini)



dai  
Giornali

### Nucleare

Nei mesi di maggio e giugno sulla stampa si parla ancora molto delle conseguenze dell'incidente nucleare di Fukushima e si cerca di quantificare l'esatta entità del danno. La TEPCO (gestore dell'impianto) ammette che l'incidente è stato più grave di quanto dichiarato inizialmente. Grande spazio anche ai referendum. Il decreto governativo (omnibus) di abolizione del nucleare in Italia è interpretato polemicamente come manovra per evitare il referendum, ma non l'opzione nucleare. Ampi spazi sono dati alle proteste dei promotori del referen-

dum e delle varie associazioni ambientaliste. Dopo la sentenza della Corte di Cassazione (1 giugno) sulla legittimità del referendum sul nucleare, i giornali dedicano molta informazione anche sui rimanenti 3 quesiti referendari: due sull'acqua pubblica, uno sul legittimo impedimento. Infine, dopo l'esito del referendum, l'attenzione si sposta alle interpretazioni dei risultati. Largo rilievo è dato anche alle decisioni in campo nucleare adottate dagli altri paesi, in particolar modo Germania e Svizzera, che hanno dichiarato la loro uscita dal nucleare, ma anche Giappone e Francia, che si presume possano dichiararlo in un prossimo futuro. La stampa segue anche il dibattito su metodologie e criteri relativi agli *stress test* che la Commissione Europea intende adottare su 143 impianti nucleari europei e da completare entro aprile 2012. Infine, sui giornali viene ampiamente riportata la presumibile guerra aperta tra la lobby europea del gas e quella delle rinnovabili, che si contenderebbero lo spazio energetico lasciato vacante dalla crisi del nucleare.

### Rinnovabili

La stampa si sofferma molto sul possibile forte impulso alle rinnovabili dopo l'incidente di Fukushima. Viene citato più volte il rapporto dell'IPCC (il gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico) secondo cui è possibile che l'80% delle esigenze energetiche mondiali possano essere coperte dalle rinnovabili entro il 2050. A partire dal 5 maggio, giorno in cui è stato firmato il decreto ministeriale che definisce la nuova disciplina sulle incentivazioni degli impianti fotovoltaici (quarto "conto energia"), la stampa si occupa molto delle sue controverse interpretazioni, sviscerandone lati negativi e positivi, reazioni critiche ed apprezzamenti. Gli strascichi sulla stampa sono proseguiti anche nel mese di giugno.

### Ricerca

La stampa ha posto maggiormente in evidenza due aspetti della ricerca: da una parte, le motivazioni di scienziati e ricercatori che sono scesi in campo

sulle questioni del voto referendario, dall'altra parte le prospettive dello sviluppo tecnologico futuribile, riportando, in particolare, le 10 scoperte, che secondo il MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) potrebbero, in futuro, rivoluzionare lo scenario delle biotecnologie, delle telecomunicazioni, della produzione energetica ecc.

### Ambiente

Grande risalto è stato dato alle valutazioni dell'IPCC di un collegamento tra i cambiamenti climatici e l'aumento delle catastrofi naturali e ai risultati del Rapporto annuale sull'ambiente di ISPRA, che offre una panoramica approfondita sulle condizioni ambientali dell'Italia, con molti dati su: cambiamenti climatici, dissesto idrogeologico, sismicità, franosità, desertificazione, qualità dell'aria e dell'acqua ecc. Scarso risalto è stato dato, invece, ai negoziati internazionali sul clima che si sono tenuti a Bonn dal 6 al 17 giugno e all'allarme lanciato dall'Agenzia Internazionale dell'Energia (AIE) circa il fatto che le emissioni di gas serra nel 2010 hanno raggiunto il più alto livello storico. Più enfasi è stata riservata ad un altro allarme, quello della IARC, l'Istituto dell'OMS specializzato nella ricerca sul cancro, che ha classificato il cellulare come "possibile agente cancerogeno".

(Laura Di Pietro)

1 2 3 4  
5 6 7 8  
9 10 11

## Calendario eventi

### ■ SECOND WORLD BIODIVERSITY CONGRESS

Il Congresso tratterà tra l'altro di: utilizzazione sostenibile della biodiversità; protezione delle risorse naturali, brevetti e risorse genetiche, agrobiodiversità, biotecnologie.

**8-12 settembre, Kuching, Sarawak (Malaysia)**

<http://www.worldbiodiversity2011.com/>

### ■ ICLEI EUROPEAN CONVENTION 2011

La Convenzione 2011, dedicata a *Cities in Europe 2020 - Enhance sustainability now!*, discuterà dell'attuazione delle strategie sulle città sostenibili e di iniziative pilota nell'ambito della strategia europea al 2020.

**12-14 settembre, Bruxelles (Belgio)**

<http://convention2011.iclei-europe.org/home/>

### ■ QUANTIFYING AND MANAGING LAND USE IMPACTS OF BIOENERGY

La Conferenza, organizzata da IEA Bioenergy, discuterà l'impatto dei cambiamenti di uso del suolo per la produzione di bioenergia e le strategie per ridurre tale impatto.

**19-21 settembre, University of Campinas (Sao Paulo, Brazil)**

<http://www.bioenergytrade.org/downloads/firstannouncementt384043workshop-brazil.pdf>

### ■ UNCCD COP 10

Decima sessione della Conferenza delle Parti (COP 10) della Convenzione delle Nazioni Unite contro la siccità e la desertificazione (UNCCD).

**10-21 ottobre, Changwon City (Corea del Sud)**

<http://www.unccd.int/>

### ■ Conference on the Green Economy and Sustainable Development

La Conferenza, organizzata da UNRISD, in preparazione di Rio+20, discuterà della dimensione sociale della *green economy* anche con riferimento agli "obiettivi del millennio".

**10-11 ottobre, Ginevra (Svizzera)**

<http://www.unrisd.org/80256B3C005BD6AB/%28httpEvents%29/D567>

### ■ WCRP Open Science Conference

La Conferenza è prevalentemente scientifica, dedicata alla scienza del clima, alle analisi del sistema climatico ed alla prevedibilità della evoluzione del clima globale.

**24-28 ottobre, Denver (Colorado, USA)**

[http://wcrp.wmo.int/documents/WCRP\\_first\\_v1\\_lowres.pdf](http://wcrp.wmo.int/documents/WCRP_first_v1_lowres.pdf)

### ■ Montreal Protocol MOP 23

Si tratta della periodica Conferenza delle Parti che presiede la gestione e l'attuazione del Protocollo di Montreal per la protezione dello strato d'ozono stratosferico.

**14-18 novembre, Bali (Indonesia)**

<http://ozone.unep.org>

### ■ UNFCCC Climate Conference COP17-CMP7

Si tratta della Conferenza delle Parti della UNFCCC che dovrà discutere sul futuro del Protocollo di Kyoto che scade nel 2012 e decidere sulle azioni future per combattere i cambiamenti climatici.

**28 novembre - 9 dicembre, Durban (Sudafrica)**

<http://www.cop17durban.com/Pages/default.aspx>

**energia  
ambiente  
e innovazione**

bimestrale dell'ENEA  
anno 57  
maggio - giugno 2011