



Non siamo soliti parlare di noi. Lasciamo che gli articoli che pubblichiamo dei nostri colleghi illustrino le varie linee di ricerca portate avanti in ENEA.

Questa volta vogliamo fare un'eccezione, presentando sinteticamente i risultati di "e2 – Eccellenze Enea 2008". Si tratta di una nuova iniziativa avviata dall'Ente che intende attribuire dei riconoscimenti ai migliori risultati di ricerca conseguiti nei vari centri ENEA, nel quadro di un costante impegno di monitoraggio e valutazione delle attività scientifiche svolte. La prima edizione dell'iniziativa ha preso in considerazione quei progetti che, dal settembre 2007 al settembre 2008, hanno ottenuto importanti premi, riconoscimenti internazionali, sono stati pubblicati su riviste con elevato impact factor o hanno portato a dei brevetti. Su oltre cento candidature sono stati premiati, o hanno ricevuto una menzione speciale, dodici progetti riguardanti i seguenti macrosettori: Agrobiotecnologie, Idrogeno, Laser, Metrologia, Nanotecnologie (2 progetti), Paleoclima, Radiobiologia, Salute dell'uomo, Sicurezza Nucleare, Tecnologie per la Fusione Nucleare, Trattamento dei rifiuti. Sono esempi della grande vitalità scientifica e della capacità di produrre innovazione da parte dell'Ente. Vale la pena sottolineare che uno dei progetti riguarda un sistema innovativo che consente la taratura degli accelerometri e dei sismometri utilizzati per misurare vibrazioni a bassa frequenza di tipo sismico. È questo un esempio delle ricerche svolte in ENEA nel campo della sismologia, che oggi tornano nuovamente alla ribalta dopo i gravi eventi sismici verificatisi in Abruzzo. Proprio al tema delle ricerche e delle tecnologie connesse con i terremoti dedicheremo parte del prossimo numero della nostra Rivista.

Nel numero presente focalizziamo l'attenzione sull'energia eolica. Tra le fonti di energia rinnovabile l'eolico ha registrato negli ultimi anni in Italia un forte incremento. Dal 2001 al 2007 la potenza installata è passata da 690 a 3.763 MW con un aumento, nel solo 2008, di 1.000 MW. Nello stesso anno il contributo dell'eolico alla produzione di energia elettrica è aumentato di circa il 60% rispetto al 2007. Ci è sembrato dunque opportuno mettere a confronto diverse posizioni sullo stato dell'arte e sulle prospettive di questa fonte di energia che tenessero conto degli aspetti tecnologici, ambientali, ma anche di quelli normativi e sociali. L'articolo di Pirazzi, dell'ENEA, fornisce il quadro dello sviluppo di questa fonte a livello internazionale e nazionale. Il contributo di Togni, Segretario Generale dell'ANEV, mette in risalto le grandi potenzialità dell'eolico in Italia e le positive ricadute occupazionali, ma sottolinea anche i problemi presentati dalle connessioni alla rete elettrica e dall'immissione in rete dell'elettricità prodotta. Bollino, Presidente del GSE, enfatizza il ruolo del Gestore nel promuovere le fonti rinnovabili attraverso le incentivazioni: Certificati Verdi, tariffa onnicomprensiva e Conto Energia. Infine Varriale, del WWF, pone l'accento sulla necessità di una rigorosa valutazione degli impatti ambientali degli impianti eolici (Valutazione di Impatto Ambientale e Valutazione Ambientale Strategica) e illustra brevemente le linee guida "Eolico e Biodiversità" elaborate dall'Associazione.

Vorrei terminare questo editoriale con un saluto. Il primo maggio Alida La Croce lascia l'ENEA. Per circa trenta anni ha coordinato l'attività redazionale della nostra Rivista, al punto quasi da "identificarsi" con essa, garantendone la continuità anche nelle varie fasi di transizione dell'Ente. Con la sua capacità professionale e la sua forte carica di umanità ha rappresentato il punto di riferimento fondamentale per tutti coloro, colleghi e non, che nel corso degli anni hanno collaborato alla Rivista. La redazione di *Energia, Ambiente e Innovazione* vuole esprimere ad Alida il suo più vivo ringraziamento per il lavoro svolto, unitamente agli auguri per un futuro ricco di soddisfazioni.

Il Direttore Responsabile
Flavio Giovanni Conti

primo piano

8

e² – ECCELLENZE ENEA 2008

e² – ENEA RESEARCH EXCELLENCE 2008

riflettore su

40

**IL RUOLO DELLA RICERCA NELLA DIFFUSIONE
DELLA TECNOLOGIA EOLICA**

THE ROLE OF RESEARCH IN THE DIFFUSION OF WIND TECHNOLOGY

Luciano Pirazzi

50

L'INCENTIVAZIONE DELL'EOLICO: IL RUOLO DEL GSE

INCENTIVES FOR WIND ENERGY: THE ROLE OF GSE

Carlo Andrea Bollino

58

**STATO DELL'ARTE E PROSPETTIVE DELL'ENERGIA EOLICA
IN ITALIA**

WIND ENERGY IN ITALY: STATE OF THE ART AND PROSPECTS

Simone Togni

65

L'ENERGIA EOLICA PER IL WWF

WWF POSITION ON WIND ENERGY

Massimiliano Varriale



studi & ricerche

74

SISTEMI COMPLESSI SIMULATI ATTRAVERSO LA MODELLAZIONE AD AGENTI: I FLUSSI PEDONALI NELLE STAZIONI DELLA METROPOLITANA

*COMPLEX SYSTEMS SIMULATION THROUGH AGENT BASED
MODELLING: PEDESTRIAN FLOWS IN UNDERGROUND STATIONS*

Alessandro Pannicelli, Carlo Liberto

appunti di

86

TERMODINAMICA

A cura di Emilio Santoro

cronache

88

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

- | | |
|---------------------|--|
| dal Mondo | <ul style="list-style-type: none">• Cambiamenti climatici a Copenaghen 88 |
| dall'Unione Europea | <ul style="list-style-type: none">• Impedire la fuga dei cervelli 89• Rafforzate le misure contro il buco nell'ozono 89 |
| dall'Italia | <ul style="list-style-type: none">• Comuni Rinnovabili 2009 90• SPARC supermicroscopio laser 90 |
| dall'ENEA | <ul style="list-style-type: none">• Il questionario on-line per
<i>Energia, Ambiente e Innovazione</i> 92 |
| Eventi | <ul style="list-style-type: none">• Nuova Delhi: "Renewable Energy Asia" 93• Donne di scienza tra passato e futuro 93 |
| Letture | <ul style="list-style-type: none">• Adapting to climate change: Towards a European
framework for action 94 |

Bimestrale dell'ENEA
Anno 55, marzo-aprile 2009

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

Direttore responsabile

Flavio Giovanni Conti

Comitato tecnico-scientifico

Osvaldo Aronica, Paola Batistoni, Vincenzo Di Majo,
Stefano Giannartini, Massimo Maffucci, Emilio Santoro

Responsabile editoriale

Diana Savelli

Coordinamento editoriale

Alida La Croce

Collaboratori

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

Promozione

Paola Crocianielli

Traduzioni

Carla Costigliola

Progetto grafico

Bruno Giovannetti, Cristina Lanari



Lo staff della rivista

da sinistra: Bruno Giovannetti, Vincenzo Di Majo, Paola Molinas, Flavio G. Conti, Emilio Santoro, Paola Batistoni, Osvaldo Aronica, Stefano Giannartini, Diana Savelli, Massimo Maffucci, Alida La Croce
(foto di Roberta Francescone)

in copertina

Aerogeneratore Gamesa da 2 MW della centrale eolica E.ON Italia installata nel Comune di Brindisi di Montagna (Potenza)

Stampa

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

Registrazione

Tribunale Civile di Roma - Numero 6047 del 2 dicembre 1957 del Registro Stampa.
Modifiche in corso

Pubblicità

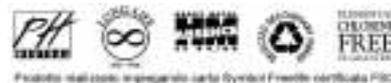
Fabiano Group srl, Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)
Tel. 0141 8278202 - Fax 0141 8278300 - e-mail: info@fabianogroup.com

Abbonamento annuale

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

Finito di stampare nel mese di aprile 2009

www.enea.it



Prodotto negli stabilimenti preparati per la Skylink Firenze certificata FSC

- > Progettazione
- > Costruzione
- > Gestione

Impianti tecnologici
per l'ottimizzazione
e la razionalizzazione
della **PRODUZIONE**
e dei **CONSUMI**
ENERGETICI



L'Energia
è un bene
indispensabile,
ma solo quella
che rispetta il domani
è la giusta Energia.

> un Nuovo modo di "Pensare" Energia



GAIA Energia & Servizi s.r.l.

06128 - Perugia
Via Angelo Morettini, 16

Tel. 075-5003101 - Fax 075-5003003
e-mail: info@gaiaspa.eu
<http://www.gaiaspa.eu>



Carlo Andrea Bollino

Presidente del GSE

pag. 50



Carlo Liberto

Consorzio TRAIN

pag. 74



Alessandro Pannicelli

ENEA, Dipartimento Tecnologie per l'Energia,
le Fonti Rinnovabili e il Risparmio Energetico

pag. 74



Luciano Pirazzi

ENEA, Dipartimento Ambiente,
Cambiamenti Globali e Sviluppo Sostenibile

pag. 40



Simone Togni

Segretario Generale ANEV

pag. 58



Massimiliano Varriale

WWF Italia

pag. 65

La conoscenza.



Energia, Ambiente e Innovazione

Uno strumento di informazione sui risultati del mondo scientifico internazionale, nazionale e dell'ENEA.

Un momento di incontro con esperti qualificati ed importanti personalità.

Un bimestrale ricco di contenuti: Primo piano, l'Intervista, Riflettore su, Studi e Ricerche.

Un punto di riferimento fondamentale nel panorama scientifico nazionale.

CEDOLA DI ABBONAMENTO

EAI 2-09

FABIANO GROUP srl - Regione S. Giovanni 40 - 14053 Canelli (AT) - Tel. 0141 8278234 - Fax 0141 8278300 - e-mail: ordini@fabianogroup.com - www.fabianogroup.com

Desidero sottoscrivere l'abbonamento alla rivista **ENEA "ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE"** (bimestrale - 6 numeri)

Abbonamento annuale Italia (anno 2009) € 21,00 + spese di spedizione (€ 8,00)

Riceverò in omaggio il seguente volume (barrare la voce prescelta)

- Fotovoltaico – Il processo evolutivo e le nuove frontiere
 Robotica – Lo scenario, le applicazioni, le nuove frontiere
 Nanoscienze e nanotecnologie – Dalla ricerca alle applicazioni

CONTRASSEGNO

Pagherò in contrassegno direttamente al postino al ricevimento del/i volume/i

ANTICIPATO

Allego copia dell'avvenuto pagamento con bollettino postale sul C.C.P. n.12439121 intestato alla FABIANO GROUP srl

Allego assegno bancario anticipato non trasferibile intestato alla FABIANO GROUP srl

Allego copia dell'avvenuto pagamento con bonifico bancario intestato alla FABIANO GROUP srl (UNICREDIT Ag. Asti - IBAN IT 81 A 03226 10300 000002155175)

con carta di credito



N°

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

Titolare della carta

data di nascita

Azienda

Cognome

Nome

Via

n°

C.A.P.

Città

Prov.

Tel.

Fax

e-mail

Codice Fiscale / Partita IVA (obbligatorio)

AREA DI INTERESSE

- | | | | | | | | |
|--|---|---|--|---|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> Ambiente | <input type="checkbox"/> Assicuraz. e bancario | <input type="checkbox"/> Autotrazione | <input type="checkbox"/> Carbone | <input type="checkbox"/> Cogenerazione | <input type="checkbox"/> Componentistica | <input type="checkbox"/> Effic. energetica | <input type="checkbox"/> Energia elettrica |
| <input type="checkbox"/> Energie rinnovab. | <input type="checkbox"/> Engineering | <input type="checkbox"/> Gas | <input type="checkbox"/> ICT | <input type="checkbox"/> Impiantistica | <input type="checkbox"/> Installatori | <input type="checkbox"/> Minerario | <input type="checkbox"/> Multiutility |
| <input type="checkbox"/> Petrolio | <input type="checkbox"/> Produttori apparecchi. | <input type="checkbox"/> Produzione energia | <input type="checkbox"/> Riscaldam. urbano | <input type="checkbox"/> Sistema idrico integr. | <input type="checkbox"/> Telecontrollo-Metering | <input type="checkbox"/> Waste | <input type="checkbox"/> Altro |

INFORMATIVA SUL TRATTAMENTO DEI DATI PERSONALI

I dati comunicati in questa sede verranno trattati in conformità alle modalità previste dal Dlgs 196/2003 con le seguenti finalità: • fornitura dei servizi e elaborazione delle risposte richieste • elaborazione di statistiche • invio di altre pubblicazioni di settore. I dati non saranno comunicati a terze parti, senza specifica autorizzazione. Titolare del trattamento è Fabiano Group Srl, Reg. San Giovanni 40, 14053 Canelli (AT), Tel. 0141 827801 - Fax 0141 8278300 - e-mail: info@fabianogroup.com. Incaricati del trattamento saranno i membri della direzione e amministrazione, dell'ufficio commerciale, dell'ufficio marketing e dell'ufficio relazioni pubbliche. Potrà richiedere verifica, modifica, cancellazione dei suoi dati dai nostri archivi o l'elenco aggiornato dei responsabili del trattamento contattando la segreteria Fabiano Group srl, ai recapiti indicati in questa informativa.

RICHIESTA DI CONSENSO - Secondo i termini indicati nell'informativa sopra riportata.

accenso al trattamento dei miei dati personali

non accenso al trattamento dei miei dati personali

Data

Firma

e²

Eccellenze ENEA 2008

L'iniziativa e² – Eccellenze ENEA nasce con l'obiettivo di premiare ed incentivare l'eccellenza scientifica prodotta in ENEA. In questa prima edizione sono state prese in considerazione le ricerche che, nel periodo settembre 2007-settembre 2008, hanno conseguito premi o riconoscimenti internazionali, sono state pubblicate su testate ad elevato "impact factor" o hanno portato a brevetti. Fra le oltre 100 candidature presentate, sono stati scelti 12 progetti, che hanno ottenuto 6 premi e 6 menzioni speciali. Essi vengono riportati nell'ordine alfabetico dei temi cui afferiscono

e² – ENEA Research Excellence 2008

The e² – ENEA Research Excellence initiative arises under the aim of awarding and incentivizing the scientific excellence produced within the Agency. In this first edition all research which in the September 2007-September 2008 period was internationally awarded or published in high-impact-factor newspapers, or led to the creation of patents has been examined. Only 12 out of 100 projects presented have been selected and gained 6 awards and 6 special mentions. All of them are hereby reported in alphabetical order based on the subject they are referred to



ECCELLENZE 2008

■ Agrobiotecnologie	<i>pag.</i>
Lotta ai geminivirus: sviluppo di una strategia molecolare per il potenziamento delle resistenze derivate dal patogeno	10
■ Idrogeno	
Sviluppo di processi di produzione di idrogeno dall'acqua mediante cicli termochimici alimentati da energia solare	13
■ Laser	
Sistema laser a colori RBG-ITR (Imaging Topological Radar) per la visione remota e non intrusiva ad altissima precisione	15
■ Metrologia	
Apparato per la taratura di accelerometri e sismometri	18
■ Nanotecnologie	
Apparato di litografia nell'estremo ultravioletto MET-EGERIA per applicazioni in microelettronica, nanobiologia, fotonica e anticontraffazione	20
■ Nanotecnologie	
Stazione sperimentale autonoma per il monitoraggio dell'aria con sensori miniaturizzati a nanotubi di carbonio – NASUS 1	22
■ Paleoclima	
Sistemi di perforazione profonda in ghiaccio e analisi delle carote prelevate in Antartide	25
■ Radiobiologia	
Dimostrazione <i>in vivo</i> del danno genetico da radiazioni ionizzanti su organi non direttamente esposti – "Effetto bystander"	28
■ Salute dell'uomo	
Medicamento "ALL IN ONE" per la risoluzione delle ferite esterne in medicina umana e veterinaria	31
■ Sicurezza nucleare	
Metodologie probabilistiche per l'analisi di affidabilità dei sistemi di sicurezza passivi di impianti nucleari	34
■ Tecnologie per la fusione nucleare	
Costruzione e qualificazione di componenti ad alto flusso termico per reattori a fusione	36
■ Trattamento dei rifiuti	
Sintesi di materiali ceramici ad alto valore aggiunto a partire da rifiuti	38

■ Agrobiotecnologie

premio

Lotta ai geminivirus: sviluppo di una strategia molecolare per il potenziamento delle resistenze derivate dal patogeno

Alessandra Luciola
David Emanuele Sallustio
Daniele Barboni
Alessandra Berardi
Velia Papacchioli
Raffaella Tavazza
Mario Tavazza

ENEA, Dipartimento Biotecnologie,
Agroindustria e Protezione
della Salute



Da sinistra:
D.E. Sallustio, A. Luciola, A. Berardi, D. Barboni, V. Papacchioli,
M. Tavazza, R. Tavazza

Per informazioni: mario.tavazza@enea.it

Risultati conseguiti

È stata ideata e messa a punto all'ENEA una strategia biotecnologica innovativa per combattere in maniera più efficace una famiglia di virus vegetali (geminivirus), responsabile di danni ingenti alla produzione agricola mondiale, in particolare alle colture di mais, manioca, cotone, pomodoro, fagiolo e peperone, nelle regioni subtropicali e tropicali del mondo (in Italia, le regioni maggiormente interessate sono la Sicilia e la Sardegna, sebbene infezioni da geminivirus siano state riscontrate anche in Calabria e Puglia).

Avvio e sviluppo della ricerca

L'ottenimento di piante resistenti alle malattie è uno degli obiettivi fondamentali per lo sviluppo di un'agricoltura ecosostenibile che sappia promuovere, attraverso una riduzione delle perdite, un più efficiente utilizzo del

suolo e dell'acqua, un impiego molto più limitato di fitofarmaci e quindi una minore presenza e diffusione di questi ultimi all'interno delle catene alimentari. Il contributo che le biotecnologie possono fornire in questo campo è estremamente importante, basti pensare alla possibilità di rendere una specie vegetale resistente ad una malattia anche in assenza del carattere di resistenza nel patrimonio genetico di quella specie.

I dati qui riassunti, pubblicati sulla rivista *Nature Biotechnology*¹, s'inseriscono nell'ambito delle biotecnologie per l'ottenimento di piante resistenti a virus con particolare riguardo allo studio dei meccanismi molecolari delle "resistenze derivate dal patogeno" (*Pathogen-Derived Resistance*, PDR). Il fondamento delle PDR è che l'espressione in pianta di opportune sequenze derivate dal patrimonio genetico di un virus è in grado di rendere la pianta resistente alla malattia provocata da

1. Luciola A., Sallustio D.E., Barboni D., Berardi A., Papacchioli V., Tavazza R. and Tavazza M. (2008). *Nature Biotechnology* 26: 617-619.

quel virus. Le PDR possono essere divise in due gruppi fondamentali, in funzione del meccanismo molecolare alla base della resistenza: PDR mediate da proteina e PDR mediate da silenziamento dell'RNA. La tecnologia PDR, applicata per la prima volta nel 1986², costituisce al momento la strategia più utilizzata per l'ottenimento di piante resistenti. Tuttavia, mentre questa tecnologia è matura ed estremamente efficace nei confronti di virus con genoma a RNA, ad oggi non altrettanto può dirsi nei confronti di quelli con genoma a DNA, tra cui i geminivirus, che come già detto causano danni ingentissimi all'agricoltura. Nel 2003, nella sola Sardegna, la perdita di produttività del pomodoro, dovuta all'infezione del geminivirus dell'accartocciamento fogliare giallo del pomodoro (TYLCSV), è stata superiore al 50% e il danno economico è stato parzialmente indennizzato dallo Stato Italiano con 10.000.000 di Euro (legge n° N 120/A/2004). Sebbene la scarsa efficacia delle PDR nei confronti dei geminivirus fosse ampiamente documentata nella letteratura scientifica, le sue cause non erano ancora state individuate. Dati del laboratorio ENEA suggerivano che il silenziamento genico indotto dal virus fosse il tallone d'Achille delle PDR mediate da proteina³. In particolare era stato elaborato il seguente modello: se il prodotto proteico derivato dal geminivirus non è in grado di bloccare completamente la replicazione del virus, allora quest'ultimo attiverà un meccanismo della pianta, il silenziamento dell'RNA, che porterà alla degradazione sequenza-specifica delle molecole di RNA omologhe al genoma virale, senza tuttavia bloccare in maniera efficace l'infezione⁴; come conseguenza, il silenziamento dell'RNA degraderà i trascritti del transgene di origine virale (silenziamento genico) provocando la mancata produzione della proteina interferente e quindi la perdita della resistenza³.

La verifica sperimentale di tale modello ha comportato lo sviluppo di una nuova strategia molecolare volta ad ottenere un transgene di origine virale che fosse un bersaglio inefficiente del silenziamento genico indotto dal virus¹. In particolare, questa nuova strategia si basa sull'espressione in pianta di un prodotto proteico che è codificato non dal gene virale tal quale, ma da un gene sintetizzato "ad hoc". Il gene sintetico è costruito introducendo nella sequenza virale mutazioni puntiformi silenziose, distribuite in maniera tale che l'omologia continua fra la nuova sequenza mutata e quella originale sia preferibilmente inferiore o uguale a cinque nucleotidi (figura 1). In questo modo, sfruttando la degenerazione del codice genetico, si ottiene una nuova sequenza genica la cui capacità codificante è uguale a quella della sequenza originaria, ma la cui sequenza risulta un bersaglio inefficiente del silenziamento genico indotto dal virus.

Il sistema sperimentale ha previsto l'espressione in piante di *Nicotiana benthamiana* di una forma interferente (*Rep130*) della pro-

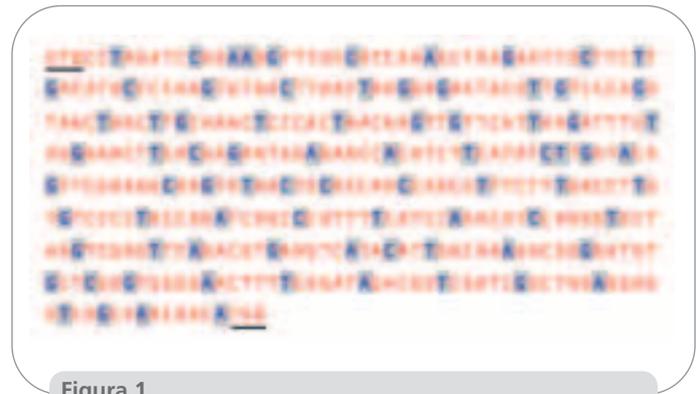


Figura 1
Sequenza nucleotidica del gene *Rep130syn*. In blu sono evidenziate le mutazioni silenziose introdotte; i codoni d'inizio e terminazione della traduzione sono sottolineati
Fonte: ENEA

2. Abel P.P., Nelson R.S., De B., Hoffmann N., Rogers, S.G., Fraley R.T and Beachy R.N. (1986). *Science* 232: 738-743.
3. Lucioli A., Noris E., Brunetti A., Tavazza R., Ruzza V., Castillo A.G., Bejarano E.R., Accotto G.P. and Tavazza M. (2003). *J. Virol.* 77: 6785-6798
4. Noris E., Lucioli A., Tavazza R., Caciagli P., Accotto G.P. and Tavazza M. (2004). *J. Gen. Virol.* 85: 1745-1749.

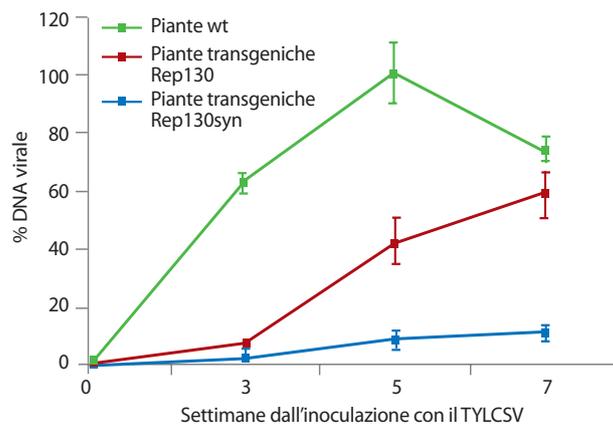


Figura 2
Analisi dell'accumulo del DNA virale in piante *wild type* (wt) e transgeniche inoculate con il TYLCSV

Fonte: ENEA

teina Rep del TYLCSV; la Rep è indispensabile per la replicazione del genoma virale. In *figura 2* è riportato il confronto della resistenza al TYLCSV di piante transgeniche esprimenti la proteina Rep130 attraverso la sequenza virale tal quale (*Rep130*) o mediante il gene sintetico (*Rep130syn*). Come si può vedere, solo il gene *Rep130syn* è in grado di contenere nel tempo l'accumulo del DNA virale. Questo fenomeno è la diretta conseguenza della capacità del gene sintetico di "sfuggire" al silenziamento genico indotto dall'infezione virale e conferma il modello proposto. La tecnologia anti-silenziamento genico sopra descritta è coperta da brevetto⁵ la cui estensione internazionale in Cina, Giappone, Brasile e Stati Uniti ha coinvolto come partner industriale ISAGRO Ricerche srl.

Prospettive e possibili applicazioni

L'aver compreso il punto debole delle PDR mediate da proteina per la lotta ai geminivirus ha permesso da un lato lo sviluppo di una strategia molecolare per combattere più efficacemente questa importante classe di patogeni e dall'altro una maggiore consapevolezza sui limiti che le PDR mediate da proteine possono presentare a lungo termine. In particolare, il quadro che è stato possibile delineare suggerisce, per il futuro, l'opportunità di procedere su due distinti filoni di ricerca per l'ottenimento di piante resistenti a un ampio spettro di geminivirus: a) indagare le cause della scarsa efficienza delle PDR mediate dal silenziamento dell'RNA; b) sviluppare strategie diverse dalle PDR per combattere i geminivirus.

5. Tavazza M., Noris E., Luciola A., Accotto G.P., Tavazza R., Brunetti A., Berardi A. PCT/IT2004/00287, WO2004101798.

■ Idrogeno

premio

Sviluppo di processi di produzione di idrogeno dall'acqua mediante cicli termochimici alimentati da energia solare

Vincenzo Barbarossa,
Giampaolo Caputo
Antonio Ceroli, Maurizio
Diamanti, Paolo Favuzza,
Claudio Felici, Alberto
Giaconia, Roberto Grena,
Michela Lanchi Raffaele
Liberatore, Alfonso Pozio,
Pier Paolo Prosini, Giovanni
Salvatore Sau, Annarita
Spadoni, Pietro Tarquini,
Silvano Tosti

*ENEA, Dipartimento Tecnologie
per l'Energia, le Fonti Rinnovabili
e il Risparmio Energetico*



Da sinistra:
G. Caputo, G.S. Sau, C. Felici, P. Tarquini, M. Diamanti, P. Favuzza,
A. Ceroli, P.P. Prosini

Per informazioni: pietro.tarquini@enea.it

Risultati conseguiti

Nei laboratori del Centro Ricerche ENEA della Casaccia è stato sperimentato con successo un processo di produzione di idrogeno dall'acqua mediante il ciclo termochimico zolfo-iodio alimentato da energia solare.

L'attività di ricerca e sviluppo ha obiettivi di medio e lungo termine, ma ha consentito di individuare due possibili applicazioni molto più ravvicinate nel tempo: con la prima, l'idrogeno viene prodotto utilizzando in parte una fonte solare e in parte una fonte fossile; la seconda applicazione riguarda invece lo sviluppo di un processo di desolfurazione messo a punto modificando il ciclo zolfo-iodio, in grado di produrre idrogeno e acido solforico concentrato.

Avvio e sviluppo della ricerca

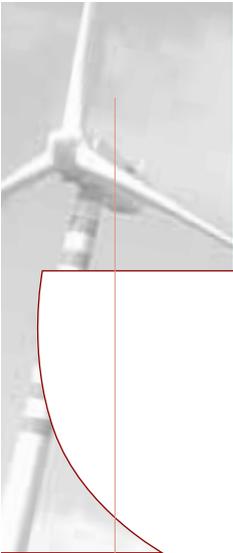
La ricerca è stata avviata nell'ambito della linea di attività n. 1 "Produzione di Idrogeno da Cicli Termochimici alimentati da energia solare" del progetto TEPSI (Tecnologie e pro-

cessi innovativi per affrontare la transizione e preparare il futuro del sistema idrogeno) finanziato dal FISR – Fondo Integrativo Speciale per la Ricerca, nel quale l'ENEA si propone di realizzare, per la prima volta in Europa, due impianti completi in scala da laboratorio per la dimostrazione della fattibilità scientifica dei cicli termochimici. Il progetto consta di tre linee di attività:

1. cicli termochimici solari;
2. accumulo di idrogeno;
3. idrogassificazione del carbone (processo ZECOMIX).

La ricerca oggetto del Premio riguarda la linea 1, e in particolare il ciclo termochimico zolfo-iodio, che si compone principalmente di tre reazioni dalla cui somma si ottiene, come bilancio netto, la scissione dell'acqua in ossigeno e idrogeno, che è di fatto l'unico reagente introdotto nel processo, mentre le altre sostanze rappresentano dei prodotti intermedi.

I cicli termochimici che utilizzano ossidi metallici per la scissione dell'acqua sono in linea



di principio estremamente semplici, prevedendo una fase gassosa reagente con una o più fasi solide; pertanto, il ciclo può essere realizzato con la sola movimentazione di fasi gassose. Il punto debole di questi cicli è dato dalle elevate temperature (1100-1600 °C): l'attività ENEA ha permesso di sviluppare, in questo caso, materiali compositi costituiti da ferriti di manganese nanoparticellate e carbonato di sodio che hanno mostrato reattività chimica a 750 °C, valore di temperatura estremamente interessante perché permette l'utilizzo di materiali convenzionali per l'impiantistica.

Nel corso delle attività di ricerca e sviluppo tipicamente a medio-lungo termine sui cicli termochimici, sono state finora individuate due possibili applicazioni, con ricadute a breve termine sul sistema industriale.

La prima riguarda processi per la produzione di idrogeni ibridi – solare fossile – che sono in grado di utilizzare la tecnologia solare sviluppata dall'ENEA a collettori parabolici lineari con fluido vettore ed accumulo a Sali fusi, che ha portato alla realizzazione di due brevetti e di tre articoli. In questo caso, l'idrogeno viene prodotto utilizzando in parte la fonte solare ed in parte una fonte fossile, ottenendo così già un sostanziale risparmio di quest'ultima, variabile dal 30 al 70%, secondo, le configurazioni dell'impianto.

La seconda ricaduta ha riguardato lo sviluppo di un processo di desolforazione che produce idrogeno e acido solforico concentrato. Si è arrivati allo sviluppo del processo, già brevettato, modificando in alcune parti il ciclo zolfo-iodio oggetto principale delle attività di ricerca. Il nuovo processo è applicabile sia alla desolforazione di gas naturale e prodotti petroliferi, sia a fumi di combustione di centrali termoelettriche.

L'attività di sperimentazione è coperta da quattro brevetti ed è stata oggetto di articoli pubblicati su prestigiose riviste italiane e straniere.

Prospettive e possibili applicazioni

Per quanto riguarda lo sviluppo futuro dei cicli termochimici c'è da distinguere tra le applicazioni a breve e quelle a lungo termine. Per le prime (impianti di desolforazione e idrogeno da reforming solare) l'interesse già manifestato da varie imprese industriali renderebbe possibile una implementazione della tecnologia ad una fase di impianto pilota o dimostrativo, per poi passare ad un successivo livello preindustriale con finanziamenti in parte privati e in parte regionali e/o comunitari.

Le attività di ricerca e sviluppo di lungo periodo sono legate sia allo sviluppo dei cicli termochimici stessi, che allo sviluppo degli impianti solari (concentratori, reattori solari, accumuli termici ecc.) ovvero allo sviluppo di reattori nucleari ad alta temperatura di IV generazione. In questo caso la partecipazione a programmi di ricerca internazionali dovrebbe rappresentare una delle principali fonti di finanziamento.

Collaborazioni

Sono state coinvolte nell'attività di R&S come partner: l'Università di Roma "La Sapienza", il Politecnico di Milano, l'Università di Cagliari, l'Università di Roma 3 e l'Università di Trento.

A livello internazionale sono stati attivati contatti e collaborazioni con i principali enti di ricerca coinvolti nello stesso settore di attività, quali CEA (F), CIEMAT (E), DLR (D), ETH (CH), CSIRO(AUS), e società industriali, quali General Atomics e Westinghouse (US) nell'ambito del VI e VII Programma Quadro con i progetti INNOHYP (*Innovative high temperature routes for hydrogen production*) e HYCYCLES (*Materials and components for Hydrogen production by sulphur based thermochemical cycles*) e con la partecipazione all'Annex 25 (*High Temperature Processes for Hydrogen Production*) dell'International Energy Agency.

■ **Laser**

premio

**Sistema laser a colori RBG-ITR (Imaging Topological Radar)
per la visione remota e non intrusiva ad altissima precisione**

Giorgio Fornetti
Mario Ferri De Collibus
Massimiliano Guarneri
Massimo Francucci
Roberto Ricci
Emiliano Paglia
Marcello Nuvoli

*ENEA, Dipartimento Tecnologie
fisiche e nuovi materiali*



Da sinistra:
G. Fornetti, R. Ricci, M. Ferri De Collibus, E. Paglia, M. Guarneri,
M. Francucci, L. De Dominicis

Per informazioni: giorgio.fornetti@enea.it

Risultati conseguiti

Presso i Laboratori di Visione Artificiale della Divisione Tecnologie Fisiche Avanzate del Centro ENEA di Frascati è stato progettato e sviluppato un prototipo di sistema RBG-ITR (Imaging Topological Radar), sistema per la visione laser remota e non intrusiva a colori 3D.

Si tratta di un apparato unico in ambito internazionale per le sue prestazioni in termini di accuratezza e precisione. Questa tecnologia, nata per controllare lo stato delle strutture all'interno dei reattori nucleari a fusione, cioè in ambienti fortemente ostili in cui l'uomo non può accedere, trova applicazione – combinata con un sofisticato software per la raccolta e l'analisi dei dati – nelle procedure diagnostiche prepedeutiche al restauro nel campo della conservazione, valorizzazione e fruizione dei Beni Artistici e culturali sia di superficie che sommersi (archeologia sottomarina).

Il Radar ottico funziona usando la luce anziché le onde radio come un radar normale ed emettendo un raggio laser che è la sommatoria di tre fasci di lunghezze d'onda corrispondenti ai

tre colori primari: rosso, blu e verde. Facendo muovere il fascio, modulato ad altissima frequenza, con un sistema di scansione meccanica a grande angolo si cattura la superficie che si intende analizzare praticamente su tutta la sfera visiva; i dati raccolti vengono trasferiti al computer per l'elaborazione e la riproduzione virtuale. Data la grande sensibilità del sistema, è possibile "leggere" ad esempio un'opera d'arte fin nella sua più minuziosa composizione dei colori, mentre il software può ricostruire l'immagine a tre dimensioni, ingrandendola come un microscopio.

Avvio e sviluppo della ricerca

La ricerca ha avuto inizio nel 2000 ed è nata da una commessa EURATOM affidata all'ENEA per la progettazione di un nuovo sistema che permettesse la visione all'interno della macchina JET (Joint European Torus) allo scopo di monitorare le conseguenze meccaniche provocate dalle scariche di plasma innescate all'interno della macchina.



Figura 1

Sistema ITR in versione da campo durante una campagna di misura nella chiesa di Hrastovljie in Slovenia. Si notano la testa ottica su treppiede e il sistema elettronico di controllo e acquisizione collegati da fibre ottiche

La particolare architettura del sistema di visione nata da questa esigenza è stata poi adattata per impieghi nel campo della conservazione dei Beni Artistici con risultati molto significativi in diverse campagne avvenute nell'ambito di collaborazioni scientifiche nazionali e internazionali che hanno riguardato:

- Mappamondo del Danti (Firenze) – ITR, ottobre 2003
- Chiesa rupestre SS. Stefani – Poggiardo (Lecce) – ITR, dicembre 2003
- Croce di Rosano (Firenze) – ITR, marzo 2004
- Cappella B4 – Monastero rupestre di Basarabi (Romania) – ITR, aprile 2004
- Cripta Bizantina – Tomis (Romania) - ITR e LIF, aprile 2004
- Grotta dei Cervi – Porto Badisco (Lecce) – ITR, settembre 2004
- Chiesa Paleocristiana S. Maria Antiqua (Roma) – ITR, dicembre 2004, marzo 2005
- Tomba dei Demoni Blu (Tarquinia) – ITR, dicembre 2005, aprile 2006
- Villa di Oplonti (Pompei) – ITR, giugno 2006

- Monastero di Sucevita (Romania) ITR e LIF, luglio 2006
- Cappella Carafa nella chiesa di Santa Maria sopra Minerva a Roma, febbraio 2008.

L'avvento dei radar ottici ITR introduce, nel vasto settore dei dispositivi convenzionali usati nel campo delle belle arti, alcune nuove ed esclusive proprietà delle immagini legate ai seguenti fattori:

- *Assenza di aberrazioni su tutto il campo visivo.* I dispositivi convenzionali sono affetti dalle aberrazioni di sfericità e di croma che sono tradizionalmente minimizzate su tutto il campo visivo ricorrendo a obiettivi costosi che comunque non offrono come i radar ITR prestazioni ai limiti dell'ottica.
- *Campo di vista illimitato,* determinato dai valori dagli angoli di scansione scelti e non legato ai parametri delle ottiche.
- *Risoluzione non legata alle dimensioni del sensore.* Analogamente alla risoluzione di un'immagine ottenuta coi dispositivi convenzionali, la risoluzione di un'immagine da ITR può essere espressa attraverso il numero di elementi da essa risolti (pixel). Mentre il numero di pixel nei primi è legato al numero di elementi sensibili del rivelatore a disposizione (CCD, CMOS ecc.), il numero di pixel nell'immagine da ITR è scelto dall'operatore in funzione della qualità dell'immagine voluta e dal tempo di ripresa a disposizione.
- *Accuratezza massima consentita dalle leggi dell'ottica.* Le leggi dell'ottica prevedono un limite alla risoluzione ottenibile che si esprime ad esempio con il diametro dell'immagine di un punto, che è sempre maggior di zero per motivi legati alla diffrazione. A causa delle aberrazioni le risoluzioni accennate non sono raggiungibili dai dispositivi convenzionali. L'impiego di fasci laser coerenti permette invece all'ITR di ottenere immagini con questo limite.
- *Canali RGB indipendenti.* L'ITR impiega tre

sorgenti coerenti (laser a diodo unimodali) per sondare la scena. I tre segnali ottici retrodiffusi dal bersaglio sono raccolti su tre fibre ottiche e indirizzati su tre rivelatori distinti. Ciò favorisce il controllo accurato separato dei colori e la restituzione corretta della cromia della scena mediante l'impiego del profilo di colore prescelto per la ripresa.

- *Misure di range ad altissima risoluzione.* L'accuratezza con cui possono essere registrati e misurati i livelli di dettaglio tridimensionale raggiungibile su una scena reale (monumento, chiesa, cattedrale ecc.) è di 10^{-5} (da confrontare col valore di 10^{-2} per ottiche da 50 mm di focale convenzionali). Questo significa che su particolari in rilievo su una volta di una cattedrale alta 20–30 metri sono possibili misure di dislivelli dell'ordine di alcune centinaia di micron (metrologia remota). Queste risoluzioni sarebbero possibili con strumenti convenzionali solo con l'allestimento di ponteggi che permettano l'ispezione dei particolari a distanza ravvicinata.

In sintesi, con questo speciale radar a colori è possibile ottenere riproduzioni fedelissime delle immagini raccolte con risoluzioni molto superiori rispetto a quelle permesse dai dispositivi convenzionali conosciuti e in grado di trasmettere agli esperti del settore una messe di informazioni importantissima.

Con esso è possibile monitorare le opere d'arte ed intervenire con tempestività sui danni del tempo e dell'inquinamento come, per esempio, i rigonfiamenti sub-millimetrici dovuti ad infiltrazioni di umidità o le lente migrazioni di colore su punti particolari della superficie affrescata.

La tecnologia si sta rivelando importante anche per la fruizione dei beni culturali, perché avvicina lo spettatore all'opera d'arte permet-

tendone una osservazione accurata e la sua valorizzazione.

Prospettive e possibili applicazioni

La versione di superficie ITRC (ITR a colori) è completata prototipalmente e funzionante.

La versione subacquea del radar ottico per archeologia sommersa è in corso di realizzazione nell'ambito del PON FESR BLU-ARCHEOSYS; il suo completamento è previsto in circa due anni.

Sono in corso anche studi di modellazione avanzata nel campo delle free form a partire da modelli reali e metodi di integrazione multisensoriale con dati provenienti da altri sistemi sensoriali come vibrometri, tecniche spettroscopiche LIF e LIBS diagnostiche nell'infrarosso.

Nel mese di dicembre 2008, in collaborazione con il Dipartimento FPN, la tecnologia è risultata vincitrice della gara internazionale del comitato F4E (Fusion for ENERGY) per la realizzazione dell'In Vessel Viewing System (IVVS) della futura macchina a fusione ITER.

Collaborazioni

Oltre alle intendenze delle Belle Arti di Firenze, Roma e Tarquinia con le quali sono già state effettuate campagne di misura, è in corso di perfezionamento la formalizzazione di una collaborazione scientifica con il Governatorato dello Stato del Vaticano per una serie di azioni nelle quali l'ENEA figura come partner scientifico negli interventi di restauro e nella messa a punto di sistemi di fruizione degli affreschi delle Cappelle e Palazzi Vaticani.

La prima azione è prevista nel mese di maggio 2009 e consiste nella scansione e riproduzione ad altissima definizione degli ultimi due affreschi di Michelangelo, Crocifissione di San Pietro e Conversione di San Paolo, siti nella Cappella Paolina.

■ **Metrologia**

menzione

Apparato per la taratura di accelerometri e sismometri



Aldo Renato Terrusi
ENEA, Dipartimento Tecnologie
Fisiche e Nuovi Materiali

Terrusi e l'apparecchiatura STASI

Per informazioni: aldo.terrusi@enea.it

Risultati conseguiti

È stato realizzato uno strumento che consente la taratura degli accelerometri e dei sismometri utilizzati per misurare vibrazioni a bassa frequenza di tipo sismico (frequenze comprese tra 0,01 e 10 Hz ad una accelerazione di 1 g (*g* è l'unità di misura dell'accelerazione di gravità)). Allo stesso campo di misura sono interessati anche accelerometri per sistemi nautici, aeronautici e più in generale quelli usati nel settore dell'automazione.

Lo strumento, denominato STASI (Sistema per la Taratura di Accelerometri e Sismometri), è innovativo in quanto utilizza un sistema di eccitazione basato sulla rotazione anziché sullo spostamento alternato utilizzato usualmente per la taratura di trasduttori accelerometrici. Questo permette di ottenere eccellenti prestazioni con costi e dimensioni contenuti. Il sistema, inoltre, è in grado di emettere un certificato di taratura automaticamente ed in tempo reale.

Avvio e sviluppo della ricerca

Nei laboratori ENEA della Casaccia sono installati impianti per la simulazione sismica. I laboratori dispongono di due tavole vibranti a 6 gradi di libertà (in grado di cioè di muoversi in diverse

le direzioni) tra le più grandi d'Europa, con cui è possibile effettuare prove sismiche di manufatti civili, industriali e storico/monumentali. Queste tavole sono controllate mediante l'uso di sensori di spostamento ed accelerometri ed hanno un campo di prestazioni compreso tra 0,1 e 100 Hz con accelerazioni che vanno da 0,1 a 5 g. Vari laboratori sparsi per il mondo, richiesti di certificare alcuni accelerometri, hanno risposto che non possono garantire la riferibilità della misura al di sotto dei 5 Hz ad 1 g di accelerazione. Come tarare quegli accelerometri? Era sufficiente il certificato rilasciato dalla casa costruttrice all'atto dell'acquisto? Era comunque necessaria una certificazione o quantomeno una verifica dei sensori dopo qualche tempo d'uso. In laboratorio, in modo empirico, certi accelerometri possono essere verificati (staticamente) semplicemente capovolgendoli (± 1 g), altri per loro costituzione rispondono solo dinamicamente. Quindi, non sarebbe stato comunque possibile fare una taratura completa e corretta.

Perché non provare a far ruotare i trasduttori su se stessi a diverse velocità in modo da simulare le diverse frequenze? Da questa ipotesi è partita l'idea della taratura mediante la rotazione, quindi il progetto ed immediatamente dopo il brevetto. Dopo l'idea e la conseguente progettazione che aveva portato al brevetto, era

comunque necessario constatare sperimentalmente ciò che sulla carta poteva essere una buona idea ma che nella realtà si sarebbe potuta rivelare di difficile realizzazione. È stato quindi necessario riunire una serie di competenze di alto profilo in meccanica, elettronica, elettrotecnica ed informatica per poter constatare quanto ipotizzato. Un'azienda di Milano, la BPS che già collaborava con ENEA, si è proposta per la realizzazione del prototipo.

La sperimentazione e l'analisi del principio di funzionamento del Sistema è stata eseguita presso il *Laboratorio di Metrologia Centro SIT N° 10 dell'ENEA Casaccia*, responsabile Renzo Romagnoli. In tale ambito è stato possibile apportare diverse modifiche necessarie per rendere lo strumento efficiente ed affidabile. Si è quindi proceduto alla verifica teorica e alla sperimentazione dello STASI con Roberto Silvestro e Domenico Ianiello, dello stesso SIT, concludendo che il progetto, così come era stato pensato, aveva una reale applicabilità. Altre modifiche al prototipo sono state apportate successivamente tenendo conto delle osservazioni dell'Istituto Primario INRIM (Istituto Nazionale per la Ricerca Metrologica) a cui era stata richiesta una consulenza. Ulteriori verifiche incrociate, tra il Centro SIT e la BPS, hanno poi portato alla industrializzazione finale dell'apparato.

Il metodo della rotazione, adottato dallo STASI, gli permette di ottenere prestazioni uniche a livello mondiale, impossibili con la strumentazione tradizionale. È l'unico strumento, a livello internazionale, di dimensioni e costi notevolmente contenuti, in grado di tarare accelerometri su tre decadi di frequenza (0,01-10 Hz) ad una accelerazione di 10 ms^{-2} avendo oltretutto come riferimento diretto un'unità di riferimento primaria come l'accelerazione di gravità e come riferimento secondario un inclinometro con un'incertezza di 0,01 gradi. Tutti gli altri sistemi di taratura, non avendo le specifiche tecniche dello STASI, hanno la necessità di un confronto o con un accelerometro campione o con l'interferometria Laser. Lo STASI si integra bene anche con la strumentazione già esistente in quanto amplia la possibilità di tarare trasduttori a frequenze più basse con l'accelerazione di 1 g. Uno strumento del genere potrebbe anche essere adottato, con le migliorie e i necessari approfondimenti, come Riferimento Primario.

Prospettive e possibili applicazioni

Le applicazioni sono possibili in tutti i campi in cui è necessario tarare trasduttori accelerometrici, in particolare i sismometri. Naturalmente STASI, essendo un'apparecchiatura adibita alla taratura di altri strumenti di misura, deve presentare caratteristiche tecniche ineccepibili che richiedono particolare cura nella costruzione e nella messa a punto. È un prodotto di nicchia, utile soprattutto a Istituti di Metrologia o Laboratori di taratura. Non è pertanto ipotizzabile una grande diffusione ed è prevedibile la vendita di pochi esemplari, almeno in Italia.

Collaborazioni

Alla luce dei primi dati positivi, sia sperimentali che teorici, la BPS ha acquistato dall'ENEA la licenza per la produzione e la vendita del Sistema. Successivamente, a sperimentazione avvenuta, è stata presentata una memoria sul prototipo dello STASI al V Congresso di Metrologia & Qualità di Torino e sono stati pubblicati alcuni articoli su riviste nazionali ed internazionali. Al momento sembrano interessati all'acquisto sia l'INRIM sia il Politecnico di Torino oltre ad alcuni Laboratori nazionali. Attualmente è stata accettata una memoria al VI Congresso di Metrologia & Qualità di Torino sulla industrializzazione dello STASI; gli ideatori saranno presenti al prossimo Congresso Internazionale di Metrologia di Parigi.

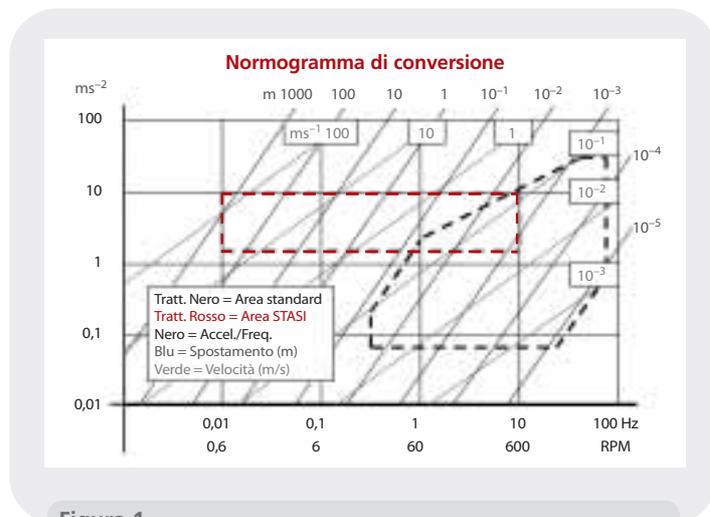


Figura 1

Campo di lavoro del sistema STASI (linee tratteggiate in rosso) rispetto ai normali sistemi standard di taratura (linee tratteggiate in nero)

Fonte: ENEA

■ Nanotecnologie

menzione

Apparato di litografia nell'estremo ultravioletto MET-EGERIA per applicazioni in microelettronica, nanobiologia, fotonica e anticontraffazione

Sarah Bollanti
Paolo Di Lazzaro
Francesco Flora
Luca Mezi
Daniele Murra
Raffaele Scafè
Amalia Torre

ENEA, Dipartimento Tecnologie
Fisiche e Nuovi Materiali



Da sinistra:
S. Bollanti, D. Murra, P. Di Lazzaro, A. Torre, L. Mezi, F. Flora

Per informazioni: paolo.dilazzaro@enea.it

Risultati conseguiti

Presso il Laboratorio Eccimeri del Centro Ricerche ENEA di Frascati è stato realizzato un apparato di litografia nell'estremo ultravioletto (EUV) denominato Micro Exposure Tool (MET) EGERIA. È il primo apparato italiano di litografia nell'estremo ultravioletto (EUV) e uno dei pochissimi sistemi laboratory-scale (compatti e a basso costo) a livello internazionale in grado di riprodurre un disegno arbitrario su supporto plastico o luminescente tramite un sistema di proiezione/riduzione ad elevatissima risoluzione spaziale. In particolare, il MET-EGERIA ha realizzato disegni litografici con 90 nanometri di risoluzione spaziale. Si tratta di un risultato di assoluta rilevanza internazionale, che supera i risultati ottenuti dal Fraunhofer Institut di Jena (Germania) e dal CEA-LETI a Grenoble (Francia).

Avvio e sviluppo della ricerca

Il lavoro di ricerca su sorgenti di radiazione EUV e raggi X basate su plasma prodotto da Laser ad eccimeri risale all'inizio degli anni '90. Già nel 1994 era operativa nel Laboratorio Eccimeri la sorgente EGERIA (Extreme ultraviolet-ra-

diation Generation for Experimental Research and Industrial Applications). Dopo numerosi esperimenti e applicazioni in campo biologico (*imaging* di batteri e micro-organismi in vivo, *DNA repair*, micro-radiografie), ci siamo resi conto che l'elevata efficienza della sorgente nell'EUV ben si accoppiava con il crescente interesse scientifico ed industriale per la litografia di nuova generazione nell'ambito della microelettronica, in grado di superare i limiti di risoluzione della litografia ottica.

Nel 2001 un bando di finanziamento nel campo delle nanotecnologie del Ministero dell'Università e della Ricerca ha consentito di riunire in un unico progetto nazionale FIRB le competenze sviluppate in ENEA con quelle presenti in Università, altri Centri di ricerca e industrie italiane: Università de L'Aquila, Università di Padova, Laboratori INFN di Legnaro, El.En. SpA di Firenze, Media Lario srl di Lecco. L'obiettivo principale del progetto è stato raggiunto nel dicembre 2007 con la messa in opera del primo apparato italiano per litografia nell'estremo ultravioletto denominato MET-EGERIA. Parallelamente, le competenze e la visibilità acquisite hanno consentito all'ENEA di partecipare ad un progetto

integrato europeo nell'ambito del VI Programma Quadro, coordinato dalla ditta ASML, leader mondiale di impianti per microlitografia, avente come obiettivo lo sviluppo di un apparato industriale di litografia nell'EUV atto a produrre microchips per l'elettronica di consumo. Al termine del progetto FIRB è nata l'idea di unire la litografia EUV con le tecniche *watermarking* per sviluppare un metodo originale di scrittura invisibile tramite litografia su film luminescenti, da utilizzarsi nel campo dell'anticontraffazione, e il metodo è stato sottoposto ad esame brevettuale con estensione internazionale.

Prospettive e possibili applicazioni

Il MET-EGERIA è completo, operativo e funzionante. Si prevedono a breve termine ulteriori miglioramenti per alcune parti dell'apparato: il perfezionamento del sistema di mitigazione dei detriti applicando un brevetto ENEA e un nuovo obiettivo ottico per migliorare la risoluzione spaziale del pattern stampato. Sarà inoltre attivata una linea dimostrativa di produzione di etichette anticontraffazione e relativi sistemi di lettura. L'apparato trova applicazione in diversi ambiti strategici nel campo delle nanotecnologie, come la litografia di prossima generazione per l'elettronica, la fotonica, le nano-biotecnologie e, non ultima, l'anticontraffazione tramite una tecnica di marchiatura invisibile di tipo *watermarking*.

Il MET-EGERIA può, infatti, imprimere su un film un disegno invisibile, leggibile solo tramite uno speciale apparecchio portatile. Un tale dispositivo, applicato alla marchiatura anticontraffazione, ha un impatto potenzialmente importante in campo industriale e della sicurezza. I prodotti contraffatti rappresentano un'ampia fascia di mercato che include, per esempio, prodotti farmaceutici, gioielli, opere d'arte, parti di ricambio di veicoli, carte di pagamento e documenti riservati. Le etichette anticontraffazione prodotte con la tecnica brevettata dall'ENEA possono essere applicate a tutti gli oggetti che necessitano di essere tracciati o protetti dal mercato parallelo degli oggetti contraffatti.

La versatilità della tecnologia ENEA consente anche di tracciare sostanze pericolose come i rifiuti radioattivi nelle discariche, onde contrastare lo smaltimento non autorizzato e/o non conforme alla legge di tali sostanze: è stato, in-

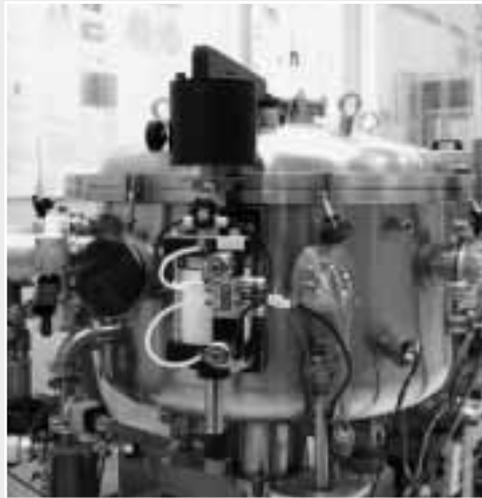


Figura 1
Camera di proiezione del Micro Exposure Tool EGERIA

fatti, provato sperimentalmente che le etichette anticontraffazione prodotte con il metodo brevettato resistono a dosi massicce di irraggiamento radioattivo.

Collaborazioni

Nell'ambito del progetto nazionale FIRB: Università de L'Aquila, Università di Padova, Laboratori INFN di Legnaro, El.En. SpA di Firenze, Media Lario srl di Lecco, Università di Roma Tor Vergata, CNR IFN di Roma. Nell'ambito del progetto integrato europeo del VI Programma Quadro: ASML, leader mondiale di impianti per microlitografia, Phystex, Zeiss, AMTC, Philips, XTREME technologies, Schott Lithotec, Sagem Defense Securite e altri 18 partners.

Si sono dichiarati interessati all'apparecchiatura:

- Institute of Applied Physics, Johannes-Kepler-University, Linz (Austria) per utilizzarla in irraggiamenti ed esperimenti nel campo delle nano-biotecnologie (interazione tra strutture periodiche nanometriche e crescita cellulare);
- Brigham Young University, Provo, Utah (USA), per applicazioni nel campo della spettroscopia nell'estremo ultravioletto (test di ottiche, filtri e nuovi fotoresist).

Sono, inoltre, in corso contatti con Ditte internazionali leader nel campo di sistemi anticontraffazione.

■ Nanotecnologie

menzione

Stazione sperimentale autonoma per il monitoraggio dell'aria con sensori miniaturizzati a nanotubi di carbonio – NASUS 1

Michele Penza
Riccardo Rossi
Marco Alvisi
Domenico Suriano
Emanuele Serra
Valerio Pfister
Maria Assunta Signore
Gennaro Cassano
Patrizia Aversa
Rocco Pentassuglia
Mimmo Dimaio

ENEA, Dipartimento Tecnologie
Fisiche e Nuovi Materiali



Da sinistra:

E. Serra, M. Alvisi, M. Penza, P. Aversa, D. Suriano, R. Rossi, D. Dimaio,
V. Pfister, R. Pentassuglia, G. Cassano

Per informazioni: michele.penza@enea.it

Risultati conseguiti

È stata progettata, realizzata ed assemblata la stazione autonoma sperimentale - NASUS 1 - per il monitoraggio ambientale dell'aria. Il prototipo-dimostratore è capace di operare in maniera autonoma e programmata per la misurazione di inquinanti atmosferici dispersi nell'aria (ossidi di azoto e di zolfo, monossido di carbonio, ozono, composti organici volatili ecc.), e di gas serra come l'anidride carbonica e con funzionalità avanzate di acquisizione dati, trasmissione wireless GPRS dei dati verso una stazione-base, controllo remoto, algoritmi di reti neurali e *pattern recognition*, operazioni intelligenti basate su microcontrollore.

Avvio e sviluppo della ricerca

La possibilità di avere una rete di monitoraggio ambientale di emissioni inquinanti e gas serra, che in tempo reale possa con la dovuta accuratezza fornire il valore delle concentrazioni di inquinanti in aria e l'indi-

viduazione delle sorgenti di emissione degli inquinanti stessi, diviene un'importante strumento per pianificare controlli e migliorare la qualità dell'aria, a supporto dei decisori politici.

La tecnologia esistente consente di monitorare la qualità dell'aria mediante apparecchiature molto costose quali spettrometri di massa, gas-cromatografi, analizzatori ottici, che rendono economicamente insostenibile la realizzazione di una rete di monitoraggio ambientale capillarmente diffusa su un territorio ampio.

Si può infatti affermare che il singolo nodo basato su strumentazione analitica di una rete di monitoraggio della qualità dell'aria abbia oggi un costo tra i 150.000 ed i 250.000 euro a seconda del numero di inquinanti che si intendono monitorare.

Per superare la criticità del costo viene proposto lo sviluppo di tecnologie basate su sensori a stato solido che possano ridurre il costo del singolo nodo alle decine di migliaia

di euro consentendo quindi la realizzazione di una rete fissa e mobile di monitoraggio della qualità dell'aria con costi contenuti e compatibili rispetto ai bilanci di una pubblica amministrazione.

Nel maggio 2007, nell'ambito di una Call for Proposals ICT del 7° Programma Quadro, è stata presentata una proposta per la realizzazione di una rete di sensori wireless per il monitoraggio ambientale con l'uso di sensori innovativi a base di nanotubi di carbonio e trasduttori ibridi multipli.

L'iniziativa era coordinata da ENEA, con un Consortium europeo costituito da 13 partner, provenienti da 8 diversi Paesi europei (Austria, Spagna, Gran Bretagna, Grecia, Svizzera, Francia, Bulgaria, Italia), di cui 5 università, 4 centri di ricerca, 4 imprese, di cui 2 italiane, 1 francese ed 1 svizzera.

Il progetto non era finanziato dalla Commissione Europea, ma gli obiettivi del progetto, condivisi dal partenariato europeo accademico ed industriale, sono stati considerati interessanti per uno sviluppo in autofinanziamento del dimostratore progettato.



Figura 1
NASUS 1 in campo

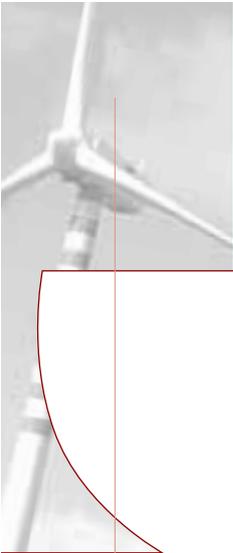
Nel settembre 2007 il Gruppo Sensori ENEA Brindisi valutava positivamente il progetto da portare avanti in autofinanziamento e dava inizio alla progettazione e realizzazione della stazione.

Nel febbraio 2008 è stata depositata domanda di brevetto italiano per i sensori chimici a nanotubi di carbonio e nel marzo successivo viene coinvolta l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Puglia (ARPA-Puglia), per validare sul campo la stazione. Il Gruppo Sensori ENEA Brindisi viene coinvolto come partner in studi e progetti per realizzare dimostratori per la misurazione di inquinanti e biogas e invitato a convegni internazionali su sensori a stato solido e nanomateriali per sensori di gas.

La stazione sperimentale NASUS 1, realizzata nella sua proto-versione, è stata presentata il 3-5 dicembre 2008 al Festival dell'Innovazione, tenutosi alla Fiera del Levante di Bari.

La stazione sperimentale NASUS 1 può essere considerata come il nodo di una rete di sensori chimici a basso costo, delocalizzati in aree urbane e/o industriali, al fine di valutare la qualità dell'aria e mappare determinate aree di interesse con elevata densità di punti-sensori di osservazione e monitoraggio, e determinare le sorgenti emmissive degli inquinanti atmosferici. Una stazione-base può funzionare da coordinatore dei vari nodi-sensori della rete con multi-funzionalità, tra l'altro come banca-dati ed archivio storico dell'inquinamento atmosferico misurato dai sensori chimici.

Il cuore della stazione sperimentale è costituito da una matrice composta sia da sensori miniaturizzati a stato solido, di tipo commerciale, specifici per la rilevazione di un dato inquinante atmosferico, sia da sensori innovativi basati su nanomateriali e nanostrutture a base di carbonio quali i nanotubi di carbonio, sintetizzati presso i laboratori ENEA di Brindisi, da utilizzare come interfacce chimicamente avanzate per l'assorbimento di un gas inquinante.



La selezione dei dispositivi commerciali, la realizzazione dei sensori innovativi basati su nanotubi di carbonio, la progettazione elettronica delle interfacce e dei microcircuiti, dell'elettronica di condizionamento dei segnali dei sensori, la messa in opera, l'assemblaggio, la caratterizzazione funzionale e la calibrazione è interamente *made in ENEA*.

Un importante aspetto innovativo contenuto dai sensori miniaturizzati a stato solido basati su nanotubi di carbonio (CNT) consiste nelle funzionalizzazioni della superficie dei CNT con nanocluster metallici di metalli nobili (Au, Pt, Pd, Ag, Ru ecc.) per aumentare le prestazioni funzionali di sensibilità e tempi di risposta del sensore CNT al fine di rivelare concentrazioni bassissime in tracce fino a qualche decina di parti per miliardo (ppb) di un dato inquinante atmosferico disperso nell'aria.

La stazione NASUS 1 è stata testata presso i laboratori del Gruppo Sensori di Brindisi ma occorrerà testarla in un ambiente reale. A tale scopo è stata avviata una collaborazione tecnico-scientifica con l'ARPA-Puglia.

Prospettive e possibili applicazioni

Le potenzialità dei sensori a base di nanotubi di carbonio per le loro caratteristiche di miniaturizzazione, integrazione con i dispositivi microelettronici, ed interfacciabilità potranno essere utilizzati, oltre al monitoraggio ambientale, anche in altri settori quali la domotica, robotica, automazione, settore aeronautico, produzione di energia, controllo di processi industriali per aumentare l'effi-

cienza energetica e a sostegno della competitività.

Collaborazioni

Il Gruppo Sensori ENEA di Brindisi è partner di vari Progetti di Ricerca, alcuni dei quali recentemente finanziati:

- Sens&Micro Lab progetto finanziato dalla Regione Puglia nell'ambito delle Reti di Laboratori Pubblici di Ricerca per il settore aeronautico, in collaborazione con CNR (CNR-IMM, Lecce, Capofila), Università di Bari, Università del Salento;
- Elettrodomestici ad Alta Efficienza Energetica, progetto finanziato dal MSE nell'ambito di Industria 2015 e coordinato da Indesit Company SpA.

Un altro progetto, NANOSUPER, è in attesa di finanziamento, attualmente è stato selezionato ed incluso nella short-list del MIUR per il FIRB Italia-Cina, al fine di sviluppare nanotecnologie per il monitoraggio ambientale in collaborazione con Università di Brescia (Capofila), Università del Sannio, Benevento, CNR-IDAC, Roma, Università di Roma Tor Vergata.

Altre proposte di progetti nell'ambito dei bandi PRIN 2008 in collaborazione con partner accademici (Università di Messina, Università di Roma Tor Vergata, Università de L'Aquila, Università del Sannio, Università Parthenope) e dei bandi per il sostegno alla ricerca ed innovazione per le PMI pugliesi sono in fase avanzata di definizione in collaborazione con vari partner industriali operanti nel territorio pugliese.

■ Paleoclima

premio

Sistemi di perforazione profonda in ghiaccio e analisi delle carote prelevate in Antartide

Maurizio Armeni
Gianluca Benamati
Luciano Degli Esposti
Stefano Fabbri
Fabrizio Frascati
Massimo Frezzotti
Nicola La Notte
Massimo Muzzarelli
Biancamaria Narcisi
Sergio Nucci
Saverio Panichi
Marco Proposito
Messerio Querci

ENEA, Dipartimento Ambiente,
Cambiamenti Globali
e Sviluppo Sostenibile



Da sinistra:
M. Proposito, M. Frezzotti, B. Narcisi, M. Armeni, S. Panichi, F. Frascati

Per informazioni: massimo.frezzotti@enea.it

Risultati conseguiti

Nell'ambito del Progetto europeo TALDICE (TALos Dome ICE core project) coordinato dall'ENEA il 24 dicembre 2007, con una perforazione presso il sito di Talos Dome (Est Antartide), è stata raggiunta da un'equipe internazionale di 10 persone (6 italiani, di cui 4 dell'ENEA, 3 francesi, 1 tedesco) la profondità di 1.620 m. I ricercatori italiani ed europei dispongono ora di una "carota" con alta risoluzione temporale che contiene una registrazione dettagliata e continua della storia della calotta di ghiaccio, del clima e dell'atmosfera terrestre e delle due ultime glaciazioni.

Avvio e sviluppo della ricerca

Le perforazioni profonde in ghiaccio hanno rappresentato una sfida tecnologica per la comunità scientifica internazionale. Le località più idonee per ottenere sequenze stratigrafiche indisturbate sono ubicate

alla sommità delle calotte polari, nei luoghi più remoti ed ostili del nostro pianeta.

Le condizioni ambientali in cui deve operare il sistema di perforazione sono molto severe: per esempio la temperatura nel foro può variare da -55 °C ai valori di fusione del ghiaccio, con pressioni di oltre 450 bar.

Nel 1996 la comunità scientifica europea varò il Progetto EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica): al programma pluriennale, sotto l'egida dell'European Science Foundation, partecipano 10 nazioni europee con finanziamenti nazionali (nel caso dell'Italia, il Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA)) e della Comunità Europea.

Scopo dell'iniziativa era quello di recuperare e studiare due carote di ghiaccio profonde nella calotta antartica, la prima a Dome C (presso la stazione italo-francese di Concordia), nel settore della calotta rivolto verso l'Oceano Pacifico, la seconda a Dronning Maud Land (presso la Stazione tedesca di

primo piano

Kohnen), nel settore prospiciente l'Atlantico. La perforazione EPICA nel sito di Dome C è iniziata nel dicembre 1996 ed è terminata nel dicembre 2004 alla profondità di 3.260 m, ove è stato raccolto il ghiaccio più antico mai recuperato in sondaggio (circa 820 mila anni).

L'Italia, prima di allora, non aveva acquisito alcuna esperienza nei sistemi di perforazione in ghiaccio. L'Ing. Mario Zucchelli, allora responsabile del Progetto Antartide dell'ENEA, ebbe l'idea di sfruttare le competenze impiantistiche e strumentali presenti nei laboratori ENEA del C.R. Brasimone per contribuire alla realizzazione del carotiere di EPICA.

I tecnici ENEA hanno realizzato il sistema elettronico di comando/controllo che ha rappresentato uno dei componenti più innovativi nel campo delle perforazioni profonde. I carotieri precedenti a quello di EPICA non presentavano un vero e proprio sistema di controllo e di trasmissione dei dati dal carotiere alla superficie.

Dal dicembre 2004 la comunità scientifica del PNRA ha promosso lo sviluppo di un proprio sistema di perforazione profonda in ghiaccio da utilizzare nel Progetto TALDICE, a cui partecipano 5 nazioni europee con finanziamenti nazionali. Il nuovo sistema denominato IDRA (*Italian Drill for Research in Antarctica*) rappresenta l'evoluzione del sistema di EPICA ed è stato progettato e costruito presso i laboratori ENEA del Brasimone.

Le attività sono terminate nel 2007 quando, alla profondità di 1620 m., è stato raccolto il ghiaccio più antico mai recuperato in sondaggio in un'area costiera (circa 250 mila anni).

È da menzionare anche il programma ITASE, iniziato nel 1993, al quale partecipano, oltre all'Italia, 20 nazioni. Le attività scientifiche si svolgono lungo transetti che congiungono le basi costiere con i siti più remoti dell'interno del continente, sede anche



Figura 1
La macchina di Perforazione IDRA nella trincea della perforazione TALDICE

delle perforazioni profonde (EPICA Dome C e Dronning Maud Land, Vostok, Dome Fuji ecc.).

L'impegno nelle spedizioni in Antartide ha consentito all'Ente di affermarsi come attore di primo piano nell'evoluzione tecnologica, da applicare ai sistemi di perforazione profonda in ghiaccio, a quelli di superficie, alle sonde di temperatura e ai sistemi per le analisi delle caratteristiche delle carote di ghiaccio.

Prospettive e possibili applicazioni

I ghiacci polari costituiscono l'archivio naturale più dettagliato e completo della storia del clima e dell'atmosfera terrestre nelle ultime decine-centinaia di migliaia di anni, e rappresentano una risorsa di fondamentale importanza per gli studi sul global change.

In particolare, le bolle d'aria racchiuse negli strati di ghiaccio dell'Antartide rappresentano l'unica testimonianza disponibile della concentrazione dei gas serra nei periodi precedenti alla metà del XX secolo, e permettono di individuare il brusco aumento di gas ad "effetto serra" nell'atmosfera associato alle attività umane (utilizzo di combustibili fossili, variazioni dell'uso del suolo ecc.).

Il loro studio fornisce rilevanti e dettagliate informazioni sull'andamento del clima e della composizione dell'atmosfera del passato, aiutando gli scienziati a comprendere la natura e l'entità dei cambiamenti in atto e le tendenze future.

La ricerca scientifica nelle aree polari ha assunto un valore strategico nei paesi più industrializzati che da anni impegnano risorse umane, intellettuali e finanziarie per l'esplorazione di queste regioni impervie del pianeta.

Collaborazioni

Le perforazioni in ghiaccio hanno richiesto lo sviluppo di tecnologie altamente specializzate messe a punto grazie ad una stretta collaborazione fra tecnici dell'ENEA del Centro Ricerche del Brasimone ed i colleghi del LGGE (*Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement*) di Grenoble (Francia).

Riconoscimenti ottenuti

Nel marzo 2008 la Commissione Europea ha assegnato il prestigioso Premio Cartesio 2007 (*European Science Awards, Descartes Prize for Collaborative, Transnational Research*) per l'eccellenza scientifica al Progetto Europeo di perforazione in ghiaccio in Antartide "EPICA".

Il Premio Cartesio dell'UE, varato nel 2000, è un riconoscimento per importanti ricerche svolte in campo scientifico e tecnologico grazie a collaborazioni e partnership in tutta Europa.

Nel 2007 e nel 2008 sono apparsi su riviste ad alto *Impact Factor* numerosi articoli di ricercatori dell'ENEA sugli studi delle carote di ghiaccio. In particolare un articolo di Biancamaria Narcisi, riguardante il primo ritrovamento di eventi meteoritici ben datati nel ghiaccio profondo dell'Antartide, nella carota di ghiaccio di EPICA-Dome C è stato pubblicato sulla prestigiosa rivista dell'American Geophysical Union "*Geophysical Research Letter*". Data la rilevanza della scoperta e le potenziali implicazioni, l'articolo è stato oggetto di un commento editoriale pubblicato nel sito web della rivista.

Nel 2008 Massimo Frezzotti è stato nominato nello *Scientific Council* della Stazione Scientifica Italo-Francese di Concordia e nel *Council* dell'*International Glaciological Society*.

■ Radiobiologia

menzione

Dimostrazione *in vivo* del danno genetico da radiazioni ionizzanti su organi non direttamente esposti – “Effetto bystander”

Mariateresa Mancuso
Emanuela Pasquali
Simona Leonardi
Mirella Tanori
Simonetta Rebessi
Vincenzo Di Majo
Simonetta Pazzaglia
Maria Pia Toni
Maria Pimpinella
Vincenzo Covelli
Anna Saran

ENEA, Dipartimento
Biotecnologie, Agroindustria e
Protezione della Salute



Da sinistra:
M.P. Toni, S. Leonardi, M. Pimpinella, S. Rebessi, M. Mancuso, M. Tanori,
A. Saran, M. Pasquali, S. Pazzaglia

Per informazioni: anna.saran@enea.it – mariateresa.mancuso@enea.it

Risultati conseguiti

La ricerca ha dimostrato, per la prima volta *in vivo*, che il danno genetico da radiazioni può essere trasmesso a organi distanti da quelli direttamente esposti, suggerendo che un numero molto maggiore di cellule viene danneggiato dalle radiazioni rispetto a quanto atteso in base alle dimensioni del campo irraggiato.

Avvio e sviluppo della ricerca

Da sempre, il danno biologico e cancerogeno indotto dalle radiazioni è stato attribuito agli effetti diretti che le radiazioni ionizzanti esercitano sul DNA cellulare delle cellule direttamente colpite. Nell'ultimo decennio studi sperimentali condotti su colture di cellule hanno evidenziato che il danno da radiazioni può manifestarsi anche mediante un meccanismo noto come effetto “bystander”. Questo termine indica che le radiazioni sono in grado di indurre effetti biologici rilevanti,

comprese alterazioni cromosomiche e mutazioni geniche, anche a livello delle cellule non direttamente attraversate dall'energia radiante (figura 1A, B). In organismi viventi l'esistenza, il significato biologico e le possibili conseguenze dell'effetto “bystander” sono stati a lungo dibattuti. In particolare, nessuno studio aveva finora collegato tale fenomeno al motivo principale di preoccupazione, cioè che i danni causati dall'effetto “bystander” possano essere responsabili dello sviluppo di tumori.

Nello studio condotto dai ricercatori dell'ENEA l'effetto “bystander” delle radiazioni è stato collegato per la prima volta allo sviluppo di tumori nel topo.

In un modello di topo suscettibile alle radiazioni e in condizioni sperimentali strettamente controllate e ripetibili, sono stati indotti tumori cerebrali in animali irraggiati con il capo schermato da cappucci di piombo dello spessore di 4 mm.

Nello studio, lo sviluppo di questi tumori, che

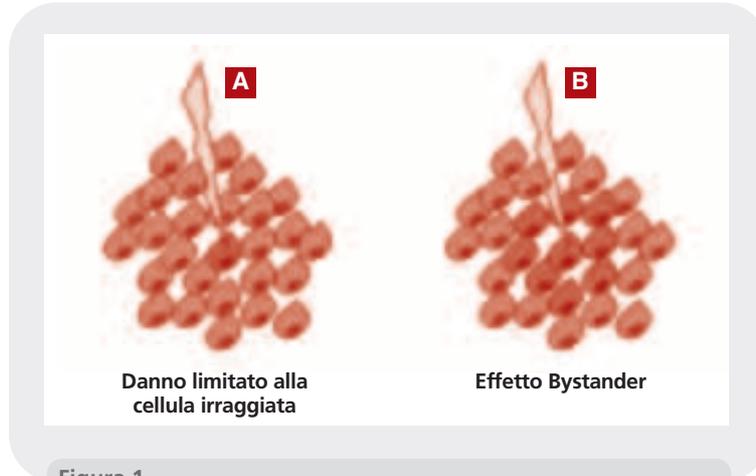


Figura 1
A. Secondo la teoria classica il danno da radiazioni è circoscritto alla cellula direttamente colpita
B. Mediante l'effetto "bystander" il danno viene trasmesso dalla cellula direttamente colpita a quelle adiacenti
 Fonte: ENEA

avviene dopo circa 20 settimane dall'irraggiamento, è stato chiaramente correlato alla trasmissione di danno genetico immediato (da 3 a 72 ore) dai tessuti irraggiati al cervelloletto schermato.

Come controllo interno, un gruppo di animali è stato inoltre irraggiato a corpo intero con la dose *scatter* (3,6 cGy) ricevuta dal cervel-

letto schermato in seguito all'esposizione del corpo a 3 Gy di raggi X, la dose utilizzata nell'esperimento iniziale. In questo gruppo non si sono osservati tumori (*figura 2A-D*).

Mentre l'induzione di tumori nel cervelloletto dei topi schermati è avvenuta solo nel ceppo radiosensibile, gli effetti a breve termine, e dunque la trasmissione del danno genetico a

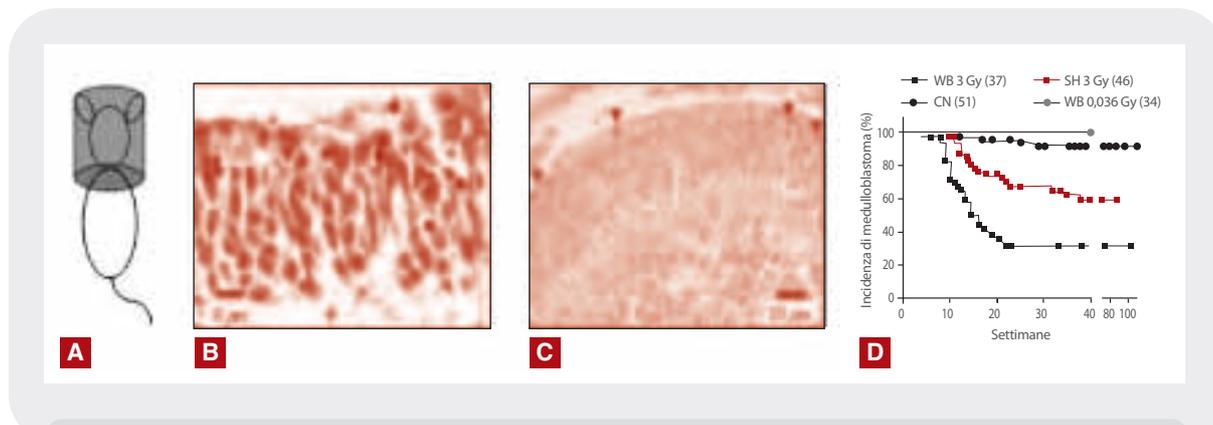


Figura 2
A. Schema rappresentativo delle condizioni di irraggiamento
B,C. Presenza di apoptosi (**B**) e doppie rotture al DNA (**C**) nel cervelloletto dei topi irraggiati con il capo schermato
D. Cinetica di induzione del medulloblastoma nei diversi gruppi sperimentali
 Fonte: ENEA

distanza, sono stati riprodotti anche in altri ceppi di topi. Questo suggerisce che tale trasmissione potrebbe verificarsi anche in altre specie.

Due principali meccanismi sono stati ipotizzati come mediatori del processo: il contatto fisico attraverso comunicazioni intercellulari specializzate, o *gap junctions*, tra cellule irraggiate e non irraggiate, o il rilascio di fattori solubili da parte delle cellule esposte. I ricercatori dell'ENEA hanno messo in evidenza che nella trasmissione del danno genetico nel tessuto nervoso del topo sono implicate le *gap junctions*. Infatti, l'utilizzo di una sostanza chimica che inibisce tali comunicazioni è in grado di ridurre la trasmissione del danno negli organi schermati.

Prospettive e possibili applicazioni

Il problema investe decisamente il campo della terapia e della diagnostica con impiego di radiazioni ionizzanti. Premesso che nella radioterapia la valutazione del rapporto rischio-beneficio è nettamente a favore dell'utilizzo, questo non è sempre vero nel campo della diagnostica. Il problema degli esami radiologici superflui (il 25% secondo stime recenti), e dell'impiego sempre crescente della TAC (tomografia assiale computerizzata) – un esame che prevede una dose circa 50 volte più alta rispetto a una radiografia convenzionale – dovrebbe essere riproposto e discusso.

Per quanto riguarda il rischio di cancro nell'uomo, occorre tenere conto che in questo studio è stata impiegata una dose alta di raggi X (3 Gy), mentre le esposizioni per motivi ambientali, occupazionali e diagnostici av-

vengono quasi sempre a dosi di radiazioni basse o bassissime.

Sarà quindi necessario confermare il potenziale oncogenico dell'effetto "bystander" dopo esposizione a basse dosi.

Oltre agli importanti aspetti meccanicistici, le conclusioni del lavoro hanno potenziali ricadute in radioprotezione, per esposizioni professionali, ambientali, e mediche.

I risultati della ricerca sono stati recentemente pubblicati sulla rivista *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.080418610)*.

L'articolo è stato selezionato per l'inserimento sulla copertina del fascicolo perché ritenuto di particolare interesse, ed è stato segnalato dalla rivista stessa alla stampa internazionale per la divulgazione sui *media*.

L'articolo è stato commentato e recensito da numerose importanti testate della stampa mondiale (Le Monde, Frankfurter Allgemeine, ScienceNOW, Stuttgarter Zeitung online, Kennislink.nl, The Hindu, La Repubblica ecc.). La notizia è stata inoltre riportata sul Tg La7 del 02/10/2008. Intervista su "The Radiation Research Podcast - Broadcasting research in the radiation sciences, by the Radiation Research Society".

Vista la forte risonanza che i risultati di questo studio hanno avuto sulla stampa internazionale, l'ENEA ha organizzato un Workshop dal titolo "Radiazioni ionizzanti: nuovi modelli per la stima del rischio", con l'obiettivo di aprire un confronto fra Enti di Ricerca, Associazioni Scientifiche e Istituzioni sullo stato della ricerca radiobiologica in Italia.

■ Salute dell'uomo

premio

Medicamento "ALL IN ONE" per la risoluzione delle ferite esterne in medicina umana e veterinaria

Fiorella Carnevali,
Stephen Andrew van der Esch,
inventori del brevetto

Con loro hanno lavorato i tecnici di laboratorio Enzo Stella, Arianna da Ros e Tiziana Cocchioletti, i ricercatori Marco Antonini, Valerio Abbadessa, Anna Rosa Sprocati, Flavia Tasso, Chiara Alisi, Massimo Cristofaro, Antonio Afenio, Oliviero Maccioni, il Responsabile della Sezione BAS-BIOTECAGRO Roberto Balducchi

ENEA, Dipartimento Biotecnologie,
Agroindustria e Protezione
della Salute



Da sinistra:

R. Balducchi, F. Tasso, A. da Ros, C. Alisi, F. Carnevali, S.A. van der Esch,
T. Cocchioletti, A. Sprocati, V. Abbadessa, E. Stella

Per informazioni: fiorella.carnevali@enea.it – stephen.vanderesch@enea.it

Risultati conseguiti

I due ricercatori hanno messo a punto un "dispositivo medico" a base di estratti vegetali efficace per la terapia delle lesioni esterne, di qualunque estensione e natura, acute e croniche, utilizzabile in medicina umana e veterinaria. L'utilizzo dell'invenzione ha mostrato un evidente vantaggio terapeutico in confronto alle terapie tradizionali, che si associa ad un abbattimento dei tempi di risoluzione del danno e delle sue eventuali recidive e ad una rapida e persistente scomparsa del dolore spontaneo o indotto dalla medicazione.

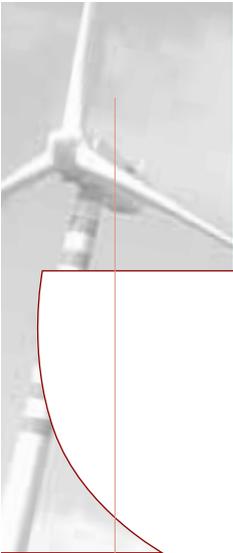
Avvio e sviluppo della ricerca

Il brevetto arriva da lontano, quasi per "serendipity". Le sue radici sono "duplici" e distanti tra loro: da una parte vi è lo studio della produzione di metaboliti secondari da piante di interesse industriale con metodi biotecnologici (*green chemistry*), iniziato già nella seconda metà degli anni '80, dall'altra la ricerca su-

gli animali da fibra pregiata (Capre Angora, Cashemere ed Alpaca) avviata agli inizi degli anni '90. Le due linee di ricerca, obbligatoriamente ridimensionate per mancanza di fondi, avevano maturato, comunque, un sapere complesso: ciò ha costituito le basi che hanno permesso di cogliere connessioni interdisciplinari inesplorate. Da una parte, gli studi sulle sostanze naturali avevano messo in luce l'albero del Neem (*Azadirachta indica*), quale produttore di principi biologicamente attivi di estremo interesse (azadiractina, gedunina ecc.) per l'agricoltura (fonte di biopesticidi), per la medicina in generale e per la salute pubblica (controllo dei vettori biologici responsabili di malattie socialmente problematiche: malaria, *blue tongue* ecc.).

Dall'altra parte, nell'ambito della ricerca veterinaria, mirata a favorire uno sviluppo sostenibile nel settore, si eseguivano ricerche su nuove metodologie di controllo delle principali malattie infettive e parassitarie degli animali, a bassissimo impatto ambientale, da ado-

primo piano



perarsi in sostituzione o integrazione di molecole di sintesi a maggiore tossicità.

Durante la sperimentazione sull'impiego terapeutico di sostanze naturali ad attività antiparassitaria nei confronti di alcune ectoparassitosi (quali la pediculosi, le infestazioni da larve di ditteri ecc.) negli animali da fibra, è stata formulata una miscela di estratti naturali, priva di effetti collaterali, che ha rivelato proprietà repellenti e cicatrizzanti. Colta l'efficacia della preparazione, la sperimentazione, in regime di compassione, è stata estesa ad altre specie animali (cavalli, animali da affezione, animali da produzione ecc.), nonostante le difficoltà per assenza di finanziamenti *ad hoc*. Questo studio ha portato alla risoluzione di oltre 300 casi di lesioni accidentali di diversa gravità e tipo di complicazione. La casistica, per quanto riguarda i cavalli, è stata raccolta principalmente in collaborazione con le istituzioni sanitarie veterinarie dell'Esercito e dell'Arma dei Carabinieri. Per quanto riguarda le altre specie animali (cavalli di proprietà, bestiame e animali da affezione), ci si è avvalsi della collaborazione di istituzioni universitarie e di liberi professionisti. Gli inequivocabili ed innovativi risultati in campo veterinario hanno stimolato l'estensione della sperimentazione alla specie umana.

A differenza della medicina veterinaria, in cui la natura delle lesioni è prevalentemente acuta, in medicina umana le lesioni esterne, più problematiche sia dal punto di vista dei costi che della gestione medica, sono le lesioni croniche o legate a diverse invalidità temporanee o permanenti. La sperimentazione in campo umano è stata inizialmente condotta sulle lesioni che non hanno protocollo terapeutico "efficace" e per le quali il regime di compassione, in associazione al consenso informato, è ammesso dalla legislazione vigente (ad esempio le piaghe da decubito). Grazie ai risultati di efficacia ottenuti su alcune piaghe da decubito ed in presenza di una elevata qualità della cicatrice, senza riscontro di effetti col-

lateralmente, la sperimentazione è stata estesa anche alle ulcere vascolari, ischemiche o da stasi, persistenti, recidivanti e non responsive alle terapie avanzate, compresi i trapianti autologhi di cute. Lo studio clinico, *in progress*, ha collezionato una casistica omogenea di circa 50 casi problematici, tutti ad esito positivo. L'utilizzo dell'invenzione ha mostrato un indiscutibile vantaggio terapeutico in confronto alle terapie tradizionali, anche alle più avanzate, insieme ad una rapida e persistente scomparsa del dolore di fondo e di quello legato alla medicazione, con un abbattimento dei tempi di risoluzione (vi sono casi di ulcere persistenti da oltre 21-40 mesi guarite in tre mesi circa) e delle recidive (nessun caso ha mostrato recidive al terzo mese dalla guarigione). L'efficacia sorprendente mostrata suggerisce che l'invenzione agisca su meccanismi di controllo biologici fondamentali, molto conservati nella scala evolutiva: questa ipotesi apre quindi prospettive di ricerca innovative per patologie o per fenomeni degenerativi legati ai processi di invecchiamento (sindromi metaboliche, malattie autoimmuni e degenerative, patologie oncologiche ecc).

Anche riguardo alle lesioni acute più drammatiche, come le ustioni di grande estensione, il medicamento potrebbe rivelarsi altamente efficace ed innovativo al punto da prefigurarsi come "salvavita" per i grandi ustionati. A tale riguardo è da segnalare che da recenti contatti con medici del Reparto Grandi Traumi e Grandi Ustionati dell'ospedale CTO di Torino, è stato chiesto di avviare una collaborazione con l'ENEA per la sperimentazione sulle ustioni.

Il brevetto di proprietà dell'ENEA è stato licenziato nel dicembre del 2005 ad una azienda del Consorzio Medico di Mirandola (Ri.Mos. s.r.l) che, insieme agli inventori, ha sviluppato l'industrializzazione della produzione del medicamento. Infatti, contemporaneamente alla sperimentazione medico-clinica, i ricercatori si sono impegnati nello sviluppo del proces-

so industriale per la produzione del dispositivo medico: dal prototipo sperimentato in Casaccia all'impianto pilota realizzato in azienda. Si è passati così dalla produzione con metodi erboristici (estrazione spagirica stagionale a basso rendimento) alla produzione industriale a ciclo continuo ad alto rendimento estrattivo. L'insieme di queste attività è stata determinante per il processo di registrazione, indispensabile alla commercializzazione del prodotto, la cui concessione è stata ottenuta dalla Ri.Mos. nel dicembre 2008.

Nel frattempo, il 27 novembre 2007 il brevetto "*Composizione fitoterapica con proprietà cicatrizzanti, repellenti e biocida per la risoluzione delle lesioni esterne*" ha ottenuto la concessione europea ed il 26 marzo 2008, con il N° 48211 BE 2008, ha concluso la fase nazionale, per cui il contratto con la Ri.Mos. è stato riformulato includendo nella licenza anche il brevetto europeo per il territorio nazionale.

La commercializzazione sul territorio nazionale è prevista a partire dal 2009-2010.

Per ragioni di riservatezza, sia brevettuale che industriale, i risultati ottenuti dal 2004 ad oggi non sono stati finora pubblicati, ma saranno oggetto di prossime pubblicazioni su riviste specializzate.

Prospettive e possibili applicazioni

L'efficacia e la facilità d'uso di questo preparato prefigurano un'alternativa più efficace rispetto agli altri metodi di medicazione, attualmente in uso. Si tratta di uno dei primi preparati a base vegetale, non basato su molecola singola, veramente efficace (*evidence-based*) e registrabile come medicamento con caratteristiche di "ALL-IN-ONE" (l'invenzione, da sola, permette la risoluzione di tutte

le ferite ed è applicabile in qualunque stadio della lesione, a differenza degli attuali protocolli di trattamento, che prevedono l'utilizzo contemporaneo o in successione di diversi prodotti).

La scelta delle specie vegetali – insieme allo sviluppo di metodologie industriali specifiche – garantisce una produzione adeguata alle esigenze del mercato, a prezzo competitivo. Il suo utilizzo (ospedaliero e per automedicazione) prospetta un notevole sgravio dei costi medico-sanitari e sociali. L'invenzione favorisce, infatti, un netto miglioramento della qualità della vita per l'importante riduzione del dolore, dei tempi di risoluzione delle lesioni e delle recidive.

Nelle situazioni di emergenza (catastrofi naturali, conflitti armati ecc.) permette una facile gestione delle lesioni, in attesa di adeguati interventi professionali. Analogamente, l'invenzione consente di ridurre le complicazioni, infettive ed infestive (batteriche e da larve), legate alle scarse condizioni igienico-ambientali, in particolare dei paesi in via di sviluppo.

Collaborazioni

Rimos s.r.l., Infermeria Quadrupedi dell'Arma dei Carabinieri a Cavallo, Infermeria Reggimento Corazzieri del Quirinale, Unità Cinofili di Osteria Nuova (Roma), Ospedale Veterinario di Montelibretti e Infermeria dei Lancieri di Montebello dell'Esercito, Reparto di Vulnologia dell'Ospedale Militare del Celio di Roma, Clinica Barbantini di Lucca, Dipartimento di Chimica Farmaceutica dell'Università di Firenze, Facoltà di Medicina Veterinaria dell'Università di Bari, Camerino e Perugia, Facoltà di Agraria dell'Università di Viterbo, veterinari e medici liberi professionisti.

■ Sicurezza nucleare

premio

Metodologie probabilistiche per l'analisi di affidabilità dei sistemi di sicurezza passivi di impianti nucleari



Luciano Burgazzi

ENEA, Dipartimento Fusione,
Tecnologie e Presidio Nucleari

L. Burgazzi

Per informazioni: luciano.burgazzi@enea.it

Risultati conseguiti

Gli studi condotti da Luciano Burgazzi hanno portato alla definizione di metodologie per la valutazione della affidabilità dei sistemi di sicurezza passivi introdotti nei progetti degli impianti nucleari innovativi con riferimento, in particolare, ai sistemi termoidraulici che basano il loro funzionamento su principi fisici quali la circolazione naturale e la gravità.

Mediante tali metodologie è possibile verificare, già in fase progettuale, il grado di sicurezza che tali sistemi possono garantire, anche nelle più severe condizioni incidentali.

Avvio e sviluppo della ricerca

Nel mondo sono attualmente in esercizio reattori di seconda generazione con qualche esemplare di terza generazione (es. ABWR), ma sono già allo stadio industriale impianti di terza generazione avanzata (ad esempio EPR ed AP1000), molto più efficienti dei precedenti, poiché sfruttano meglio il combustibile, sono dotati di una vita più lunga (fino a 60 anni) e, soprattutto, utilizzano nuovi sistemi di "sicurezza intrinseca" o "sistemi passivi". Tali sistemi non richiedono l'intervento dell'uomo in quanto, in caso di malfun-

zionamenti, si attivano in modo automatico sulla base di leggi fisiche come la gravità, lo scambio di calore tramite convezione e conduzione, la circolazione naturale dei fluidi. La loro affidabilità risulta pertanto superiore rispetto ai "sistemi attivi" impiegati nei precedenti reattori, i quali necessitano per essere avviati di energia (che può venir meno) e dell'intervento degli operatori (che può essere errato o non sufficientemente tempestivo). I sistemi di sicurezza passivi vengono adottati in particolare per il raffreddamento di emergenza del "nocciolo" (la parte del reattore dove brucia il combustibile) e per la rimozione del calore residuo prodotto.

Nel 2000, un gruppo di paesi (Argentina, Brasile, Canada, Francia, Giappone, Sud Africa, Corea del Sud, Stati Uniti, Gran Bretagna e Svizzera, a cui si è aggiunta in seguito l'Unione Europea) ha dato vita al IV Generation Forum, un comitato di esperti incaricati di individuare le tecnologie per i reattori di quarta generazione, con i seguenti requisiti: semplicità ed economia di gestione, elevata sicurezza, produzione di una minima quantità di scorie, elevata resistenza alla proliferazione e possibilità di essere impiegati non solo per generare energia elettrica, ma anche per produrre acqua dolce dall'acqua del mare e per estrarre idrogeno dall'acqua, processi che richiedono tempe-

rature più elevate rispetto a quelle raggiunte dagli attuali reattori. Anche queste tipologie di reattori prevedono l'implementazione dei sistemi passivi al fine della semplificazione del progetto e del miglioramento delle prestazioni, nonché dell'incremento della sicurezza. L'inclusione dei sistemi passivi nei progetti dei reattori di recente concezione ha richiesto che la loro valutazione in termini di affidabilità avvenisse nell'ambito di studi di sicurezza, prima dell'avvio del processo di industrializzazione. Questo aspetto, unito alla mancanza di dati sperimentali e/o di esercizio relativi alle prestazioni di tali sistemi, soprattutto se si tratta di sistemi a circolazione naturale, ha stimolato la crescita di un nuovo filone di ricerca a livello internazionale, in cui enti di ricerca, università, organismi di controllo ed organizzazioni internazionali sono impegnati nello sviluppo di metodologie per l'analisi preventiva del grado di affidabilità dei sistemi di sicurezza passivi.

Gli studi di Luciano Burgazzi si sono concentrati proprio sull'analisi di affidabilità di tali sistemi e hanno condotto alla messa a punto di metodologie in grado di verificare, già in fase progettuale, il grado di sicurezza che essi possono garantire, anche nelle più severe condizioni incidentali. Tali metodologie sono state sviluppate soprattutto con riferimento ai sistemi passivi basati sulla circolazione naturale, come l'*isolation condenser* per lo smaltimento del calore residuo nei reattori BWR avanzati. I punti di maggiore rilevanza attraverso i quali le metodologie sono state implementate riguardano soprattutto:

1. la identificazione dei parametri critici e delle incertezze relativi al processo basato sulla convezione naturale. La indisponibilità del sistema viene valutata come la probabilità di diversi modi di guasto, considerati indipendenti e tali che l'occorrenza di ognuno di essi possa causare il fallimento del sistema passivo, come per un insieme di tanti componenti in serie;
2. la semplificazione nel modello di sistema passivo considerando solamente i modi di guasto dei componenti meccanici (come lo scambiatore di calore) del sistema, che possono degradare la prestazione del sistema e quindi associare la loro probabilità di fallimento all'affidabilità del sistema passivo stesso;
3. l'ideazione del concetto di "affidabilità funzionale", sulla base del quale il sistema fallisce qualora il parametro caratteristico del si-

stema oltrepassa una certa soglia di sicurezza. Nel caso dei sistemi a circolazione naturale la grandezza fisica caratterizzante il sistema è identificata, per esempio, nella portata di fluido refrigerante attraverso il circuito;

4. la modellazione, sulla base del concetto sopra esposto, del sistema passivo attraverso funzioni di distribuzioni probabilistiche per la valutazione della relativa affidabilità e disponibilità;
5. l'introduzione della affidabilità di un sistema passivo in una sequenza incidentale.

Le metodologie, concepite e sviluppate in maniera completamente autonoma, hanno avuto ampi riconoscimenti a livello internazionale e sono state oggetto di numerose pubblicazioni su autorevoli riviste internazionali del settore. Grazie ad esse, l'ENEA è diventato un punto di riferimento per quanto riguarda l'analisi di affidabilità dei sistemi passivi.

Prospettive e possibili applicazioni

Le attività di ricerca attualmente in corso sono finalizzate principalmente all'ulteriore perfezionamento e implementazione delle metodologie proposte, anche al fine di accrescere il consenso nell'interazione con le comunità scientifiche nazionale ed internazionale impegnate sulle medesime tematiche. Le metodologie messe a punto sono destinate ad essere utilizzate per progettare e realizzare sistemi di sicurezza passivi sempre più affidabili.

Collaborazioni

Sono stati elementi indispensabili per il conseguimento dei risultati:

- la partecipazione a diversi progetti ed iniziative internazionali, fra cui i più rilevanti sono il Progetto europeo RMPS (*Reliability Methods for Passive Systems*) nell'ambito del V Programma Quadro dell'Unione Europea (2001-2004) e il Coordinated Research Project coordinato da IAEA "Natural Circulation Phenomena, Modelling and Reliability of Passive Systems that Utilize the Natural Circulation" (2004-2008), oltre che in ambito OECD;
- l'interazione continua e lo scambio di conoscenze con la comunità scientifica nazionale e internazionale impegnata su queste tematiche: Centri di ricerca italiani, Università di Pisa e Politecnico di Milano, CEA, MIT, gruppi di lavoro internazionali di organismi come OECD, IAEA e UE.

■ Tecnologie per la fusione nucleare

menzione

Costruzione e qualificazione di componenti ad alto flusso termico per reattori a fusione

Eliseo Visca
Stefano Libera
Andrea Mancini
Selanna Roccella
Luigi Verdini

ENEA, Dipartimento Fusione,
Tecnologie e Presidio Nucleari



In senso orario da sinistra:

E. Visca, A. Mancini, S. Libera, L. Verdini, E. Cacciotti, S. Roccella, G. Giacomi

Per informazioni: eliseo.visca@enea.it

Risultati conseguiti

Presso il Laboratorio Tecnologie speciali e sviluppo materiali del Centro ENEA di Frascati è stata messa a punto una serie di processi tecnologici innovativi per la costruzione e la qualificazione di prototipi significativi di componenti del divertore di ITER.

In particolare, il Laboratorio si è concentrato su due aspetti:

- la giunzione tra tubo refrigerante e materiale di protezione;
- semplificazione ed economicizzazione dell'intero processo.

Avvio e sviluppo della ricerca

Il progetto internazionale ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) rappresenta il nuovo passo nello sviluppo dell'energia da fusione termonucleare. ITER, reattore sperimentale di grandi dimensioni, che sarà costruito a Cadarache, nel sud della Francia, sarà il primo impianto a fusione di dimensioni paragonabili a quelle di una centrale elettrica convenzionale. La sua costruzione rappresenta una delle più grandi imprese scientifiche e tecnologiche dei prossimi decenni; vi sono coinvolti ricercatori,

tecnologi e industrie di Europa, Giappone, Cina, India, Corea del Sud, Russia e Stati Uniti. Anche l'Italia partecipa attivamente all'attività internazionale di ricerca e sviluppo di ITER attraverso l'ENEA, coinvolto su vari aspetti. In particolare, l'Ente è in grado di affiancare l'industria italiana nell'attuale fase dei *procurement*, cioè di fornitura dei componenti del reattore, ai quali potranno accedere solo industrie qualificate.

Si colloca in questo contesto l'attività di ricerca e sviluppo in questione. L'esperienza acquisita dal Laboratorio del Centro ENEA di Frascati nel campo delle giunzioni fra materiali ceramici e materiali metallici, della tecnologia del vuoto e della tecnologia delle alte pressioni, destinata inizialmente alla realizzazione di componenti speciali per le diagnostiche e i sistemi ausiliari delle macchine Tokamak sperimentali per lo studio della fusione termonucleare controllata, è stata estesa con successo alle problematiche inerenti il funzionamento di un reattore a fusione e in particolare alla costruzione dei componenti affacciati al plasma di ITER, che devono sostenere carichi termici elevatissimi. Tali componenti sono essenzialmente degli scambiatori di calore che devono trasferire il calore del plasma ad un fluido refrigerante. La zona in cui sono situati i

componenti sviluppati dal Laboratorio prende il nome di "divertore" ed è la parte della camera in cui i carichi termici sono massimi: in uno spessore dell'ordine della decina di mm si possono avere, in condizioni estreme di funzionamento, differenze di temperatura di 2000 °C. Inoltre, le particelle del plasma che incidono sul divertore hanno un'energia tale da indurre fenomeni erosivi. Per proteggere i tubi del divertore, al cui interno passa acqua pressurizzata a 120 °C, sono stati scelti materiali particolarmente resistenti alle alte temperature, come il tungsteno (W), che fonde a 3370 °C, e il CFC, un composito di fibra di carbonio in matrice di carbonio, che è stabile fino a 3650 °C. La scelta di questi materiali ha introdotto difficili problemi tecnologici le cui soluzioni devono, oltretutto, sottostare a specifiche progettuali molto stringenti, che riguardano la sicurezza degli impianti.

Il Laboratorio ENEA si è concentrato su due aspetti:

- la giunzione tra il tubo refrigerante e il materiale di protezione;
- semplificazione ed economicizzazione dell'intero processo.

Il Laboratorio ENEA ha risolto il problema dell'accoppiamento tubo-materiale di protezione, depositando alcuni brevetti che coprono la proprietà intellettuale delle metodologie utilizzate. Il risultato è che oggi, in Europa, solo l'ENEA e la Plansee, un'industria austriaca, possiedono una tecnologia affidabile per realizzare questo tipo di giunzioni. Con lo scopo di mettere a punto un sistema di semplificazione ed economicizzazione dell'intero processo, il Laboratorio ha costruito numerosi campioni dimostrativi in piccola scala che hanno raggiunto altissime prestazioni, riconosciute a livello internazionale e, successivamente, un prototipo, di dimensioni ridotte ma significative, della parte verticale del divertore di ITER (la più sollecitata), che è stato collaudato con successo in Francia. Il prototipo ha infatti resistito a 2000 cicli di carico a 15 MW/m² di flusso di calore attraverso la superficie del rivestimento in W e a 2000 cicli a 20 MW/m² per la parte in CFC, ottenendo le prestazioni richieste dalle specifiche costruttive di ITER. Lo stesso prototipo è stato anche provato per determinare il flusso termico massimo che fosse in grado di sopportare: 35 MW/m² è stato il risultato ottenuto. Un record assoluto per le condizioni di prova previste, che ha



Figura 1
Prototipo di dimensioni ridotte del 'Vertical Target' del divertore di ITER costruito presso ENEA in collaborazione con Ansaldo Ricerche

confermato l'affidabilità della tecnologia costruttiva ENEA e attirato l'interesse dell'industria. Un accordo di collaborazione tra ENEA e Ansaldo Ricerche ha consentito l'acquisizione di numerose commesse europee e permette all'industria italiana di partecipare con un elevato grado di competitività alla fase di qualifica in cui l'Europa si candida come fornitore del divertore di ITER. L'importo previsto per questo componente si aggira intorno ai 130 milioni di Euro.

Prospettive e possibili applicazioni

L'obiettivo futuro è rendere il sistema industriale italiano in grado di competere con il resto d'Europa nel fornire i componenti ad alto contenuto tecnologico per ITER e sviluppare le tecnologie più direttamente rilevanti per il reattore vero e proprio (DEMO).

Collaborazioni

I partner che finora hanno partecipato alla fase di qualificazione sono l'Ansaldo Ricerche (GE), il CSM (RM), la FN (AL), oltre ad altri laboratori ENEA tra cui il laboratorio di Controlli Non Distruttivi (Centro Ricerche Casaccia).

L'acquisizione delle commesse internazionali per la costruzione dei componenti per ITER comporta un impegno tecnologico a cui deve seguire quello industriale. Per questo motivo è stato già formalizzato un accordo tra ENEA, Ansaldo Ricerche ed FN che permette in prima battuta di partecipare alla gara internazionale per la costruzione di questi componenti. In caso di acquisizione è prevista la costituzione di una società partecipata (ENEA, Ansaldo Ricerche e FN) a cui verrà trasferita la tecnologia sviluppata e che avrà le caratteristiche industriali necessarie per portare a termine questo arduo obiettivo.

■ *Trattamento dei rifiuti*

menzione

Sintesi di materiali ceramici ad alto valore aggiunto a partire da rifiuti

Sergio Galvagno
Giacinto Cornacchia
Sabrina Portofino
Stefania Casu
Giampaolo Casciari
Maria Martino
Antonio Russo
Giovanni Bezzi

*ENEA, Dipartimento Ambiente,
Cambiamenti Globali
e Sviluppo Sostenibile*



Da sinistra:
M. Martino, S. Casu, G. Cornacchia, G. Casciari, S. Portofino, S. Galvagno

Per informazioni: sergio.galvagno@enea.it

Risultati conseguiti

Nell'ambito delle attività di ricerca relative alla valorizzazione dei sottoprodotti di processo dei trattamenti termici di rifiuti, si è pensato di sfruttare il residuo solido (*char*) come fonte di carbonio, sviluppando un 'processo integrato' di termotrattamento/sintesi in grado di produrre da un lato energia e dall'altro materiale ceramico ad alto valore aggiunto, in particolare carburo di silicio.

Avvio e sviluppo della ricerca

L'ENEA ha maturato da tempo una significativa esperienza nello studio di trattamenti termici innovativi in grado di massimizzare il recupero di materiali e di energia dai rifiuti. L'obiettivo è di fornire soluzioni tecnologiche e processi che migliorino l'eco-compatibilità dei trattamenti di "fine vita" nel rispetto e risparmio delle risorse naturali; i principali processi considerati sono la pirolisi, il trattamento termico condotto in assenza di ossigeno e la gassificazione, il trattamento termico condotto in difetto di agente ossidante e/o in presenza di

vapore (*thermal gasification*). I processi producono tre frazioni principali: una frazione gassosa (ricca in idrogeno, metano, monossido e biossido di carbonio ecc.), una frazione liquida (che comprende oli e catrami; la complessità di questa frazione è simile al petrolio grezzo) ed una frazione solida, il *char* (residuo solido di processo in cui sono presenti le ceneri ed una componente carboniosa, spesso rilevante). Le proporzioni di queste frazioni e la composizione variano in dipendenza da più fattori: tipo di processo, condizioni operative, materiale trattato. Questi trattamenti innovativi di valorizzazione dei rifiuti presentano tuttavia ancora molti problemi da risolvere prima della loro applicazione su scala industriale. Tra questi, una delle problematiche di maggiore interesse è lo sfruttamento commerciale dei prodotti di processo, dato che (fatta eccezione per il gas, il cui impiego come combustibile risulta, almeno in linea di principio immediato) il mercato incerto per la frazione liquida e, soprattutto, per la frazione solida determina grossi problemi per la sostenibilità economica dei processi. La frazione liquida può essere utilizzata come combustibile o fonte di

chemicals, ma solo dopo avere risolto non pochi problemi relativi alla stabilizzazione e distillazione/*upgrading* degli oli. Per quanto riguarda il residuo solido (*char*), è da tutti riconosciuto che la sua destinazione finale influenza fortemente il bilancio economico dei processi di gassificazione e pirolisi. Fino ad ora, le esperienze condotte sia in scala pilota che industriale, hanno dimostrato che se non si individua un utilizzo commerciale diverso dallo sfruttamento come combustibile di tale residuo, i processi termici di valorizzazione dei rifiuti risultano antieconomici.

Di conseguenza una delle principali linee di ricerca del gruppo riguarda la valorizzazione dei

materiale di partenza per la produzione del ceramico. In tal modo è stata messa a punto un **processo integrato di termotrattamento/sintesi** in grado di produrre dal rifiuto da un lato energia e dall'altro materiale ceramico; il procedimento è stato sperimentato con successo su biomasse e pneumatici per la produzione di carburo di silicio.

I dati sperimentali ottenuti hanno dato luogo al deposito di un brevetto italiano, a una serie di pubblicazioni scientifiche e alla presentazione di un Progetto europeo, che porterà alla realizzazione di un impianto dimostrativo dedicato alla sperimentazione e alla industrializzazione del processo.



Figura 1
Apparecchiature impiegate per la sperimentazione

sottoprodotti di processo dei trattamenti termici di rifiuti.

Per quanto riguarda l'utilizzo del residuo solido di processo, oltre al recupero energetico, l'applicazione comunemente perseguita, con risultati alterni e dubbi, è stata la valorizzazione come carbone attivo. Un diverso approccio al problema può essere proposto considerando il *char* di processo come una fonte di carbonio per successive sintesi.

Questo è ciò che è stato fatto in questa ricerca: si è presa una classe di reazioni, le riduzioni carbotermiche, comunemente usate per la sintesi dei materiali ceramici, e la si è adattata ed integrata con i processi di trattamento termico dei rifiuti (pirolisi e/o gassificazione), impiegando il residuo solido che ne deriva come ma-

Prospettive e possibili applicazioni

In generale il settore dei materiali ceramici è in costante crescita e i principali limiti di impiego sono il costo delle materie prime e dei processi di sintesi. La valorizzazione di rifiuti come materie prime seconde per questi processi fa intravedere la possibilità di ridurre i costi di produzione, e quindi di allargare le potenzialità di utilizzo, e contribuisce alla salvaguardia delle risorse naturali.

La ricerca fin qui condotta non è un punto di arrivo ma, ci si augura, di partenza verso altri sviluppi. Infatti il gruppo di ricercatori ENEA sta già lavorando all'applicazione del trattamento ad altre tipologie di rifiuti, indirizzando il processo verso la sintesi di altri materiali ceramici.

Il ruolo della ricerca nella diffusione della tecnologia eolica

Luciano Pirazzi

ENEA, Dipartimento Ambiente,
Cambiamenti Globali e Sviluppo Sostenibile

La straordinaria crescita dell'eolico su scala globale di questo ultimo anno ha portato per la prima volta in Europa la fonte vento a primeggiare in diffusione tra tutte le fonti energetiche. Il ruolo della ricerca rimane essenziale per il conseguimento degli obiettivi sempre più ambiziosi definiti a livello comunitario

The Role of Research in the Diffusion of Wind Technology

This last year for the first time in Europe the stunning global growth of wind technology has made wind energy to rank highest in diffusion among all energy sources. The role of research remains critical to achieve ever more ambitious EU goals

L'evoluzione della tecnologia eolica negli ultimi anni ha consentito di raggiungere risultati importanti sia per quanto riguarda l'affidabilità, l'efficienza e l'aumento della potenza degli aerogeneratori sia per quanto attiene i costi di macchina e di sistema. Conseguentemente, lo sviluppo del mercato ha assunto una dimensione superiore alle aspettative più ottimistiche di qualche anno fa, formulate dagli stessi operatori del settore. Nonostante tutto questo, che non deve essere considerato un traguardo bensì un punto di riferimento, il ruolo della ricerca rimane essenziale per il conseguimento degli obiettivi sempre più ambiziosi, ma necessari, definiti a livello comunitario. Infatti, il raggiungimento dell'obiettivo primario di riduzione del costo dell'energia generata da fonte eolica, è ritenuto fattibile attraverso il contributo di due elementi fondamentali: l'effetto scala, ossia l'ampliamento continuo e significativo del mercato, e l'attività di ricerca. La testimonianza di quanto possa essere valido questo concetto è fornita in modo esemplare dalla maggior parte dei paesi industrializzati ed emergenti con l'aumento delle cifre allocate per progetti di ricerca, innovazione tecnologica e integrazione con la rete elettrica.

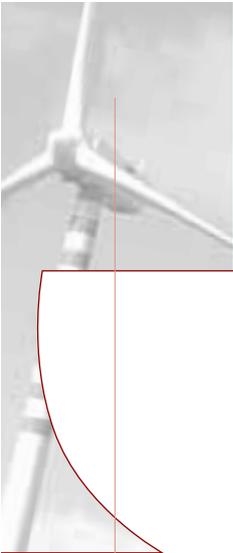
Volendo assegnare delle priorità alle attività di ricerca e sviluppo, sulla base dell'ampiezza degli obiettivi da conseguire e magari superare, per pervenire a una diffusione rilevante della tecnologia eolica, come rappresentata dal GWEC (Global Wind Energy Council) con 240 GW al 2012, a livello mondiale, dall'EWEA (European Wind Energy Association) con 300 GW al 2030, a livello europeo, e dal DOE (Department of Energy) con il 20% di produzione di elettricità al 2030, negli Stati Uniti, si evi-

denziano come determinanti le tematiche relative allo sviluppo della tecnologia off-shore e all'integrazione dell'energia prodotta da fonte eolica nella rete elettrica. Questa ultima tipologia d'intervento presuppone una stretta collaborazione tra i produttori di aerogeneratori, gestori degli impianti eolici e gestori delle reti di trasmissione nazionali.

Le previsioni di crescita del mercato variano continuamente al rialzo per due ragioni principali: il recente sviluppo portentoso del settore, soprattutto negli Stati Uniti e in Cina, e la capacità industriale cinese e indiana di produrre aerogeneratori in notevole quantità e qualità, portando tali paesi ad affiancarsi ai produttori europei ed americani, con il risultato di ridurre il gap tra la richiesta di macchine e la loro disponibilità, corresponsabile, insieme all'aumento dei prezzi delle materie prime, dell'inatteso rialzo del loro costo.

Per quanto riguarda le previsioni della potenza eolica in Europa al 2030 e del contributo del 20% dell'eolico alla produzione di energia elettrica negli Stati Uniti, nello stesso periodo temporale, si nota una coincidenza in termini di potenza installata, con un valore ipotizzato di 300 GW ciascuno. A tale potenza si deve poi aggiungere in quantità difficilmente pronosticabile, ma certamente di notevolissima entità, dati i presupposti, quella che sarà messa in campo dalla Cina, per soddisfare la sua enorme necessità di energia e per contenere l'inquinamento da cui tutte le sue metropoli sono oppresse.

In Europa, da parte di alcuni paesi, sono già state intraprese delle iniziative rilevanti per arrivare a 300 GW eolici al 2030 e, prima ancora, per conseguire l'obiettivo del 20% di consumo di energia primaria



di provenienza da fonti rinnovabili entro il 2020, che sarà formalizzato attraverso una direttiva europea di prossima emanazione. In particolare, sono state avviate le piattaforme tecnologiche europee delle fonti rinnovabili e, quindi, anche dell'eolico (TPWind), con lo scopo di dare un ulteriore impulso alle attività di ricerca provando inoltre ad armonizzarle attraverso una loro integrazione e condivisione negli Stati membri, cercando di evitare, o per lo meno di ridurre, le sovrapposizioni, aumentando così l'efficacia dell'intervento. Le priorità assegnate nell'ambito del TPWind alle attività di ricerca sono focalizzate su:

- **condizioni anemologiche** – con l'obiettivo di limitare al 3% l'incertezza sulla produzione energetica;
- **sistemi eolici** – aerogeneratori ottimizzati e affidabili;
- **integrazione con la rete elettrica** – livelli di penetrazione elevata, basso costo di collegamento e mantenimento dell'affidabilità del sistema;
- **diffusione della tecnologia offshore** – 10% di elettricità in Europa al 2030 a costi competitivi.

Per quanto riguarda invece la *vision* degli Stati Uniti di pervenire al 20% di eolico al 2030, gli aspetti strategici evidenziati sono:

- **riduzione emissione gas climalteranti** – entro il 2030 un totale cumulativo di 7.600 milioni di tonnellate di CO₂ evitate;
- **conservazione dell'acqua** – risparmio di 15 miliardi di m³ dal 2007 al 2030, corrispondenti all'8% di consumo cumulativo di acqua nel sistema elettrico;
- **riduzione costo del gas naturale** – significativa riduzione della domanda e quindi del prezzo del gas (12%) con un risparmio approssimativo per i consumatori di 130 miliardi di dollari;
- **espansione dell'industria** – produzione di aerogeneratori e componenti;
- **ricadute economiche positive a livello locale** – affitto dei terreni per l'instal-

lazione delle turbine eoliche e alla riscossione di tasse locali per il reddito generato.

Sempre negli Stati Uniti le attività di ricerca, associate più o meno direttamente a questa *vision*, riguardano in particolare:

- abbassamento dei costi, migliori prestazioni ed affidabilità degli aerogeneratori;
- rimozione delle barriere relative all'integrazione con la rete elettrica;
- verifica dell'opzione di accumulo dell'energia generata;
- produzione di pale a livello nazionale;
- studio delle applicazioni dell'eolico distribuito.

Lo sviluppo del mercato

Il 2008 è stato contrassegnato da una straordinaria crescita dell'eolico su scala globale, che ha comportato importanti variazioni nell'assetto strategico del settore manifestatesi principalmente nel cambio della leadership mondiale che vede adesso, dopo la supremazia continua della Germania, in termini di potenza installata, la presenza degli Stati Uniti che alla fine dell'anno trascorso con oltre 25.000 MW installati, di cui ben 8.358 MW solo nel 2008, hanno effettuato il sorpasso. Dall'analisi dei dati provenienti dal GWEC (Global Wind Energy Council) si ha la conferma delle grandi aspettative riposte dalla Cina, che anche nel 2008 ha raddoppiato la sua potenza portandola a 12.000 MW complessivi, in questo settore, dove l'industria locale ha fatto passi da gigante con due produttori inseriti fra i primi a livello mondiale.

Di notevole interesse lo sviluppo che si è avuto in Europa, dove per la prima volta la diffusione dell'eolico nel corso di un anno ha portato il settore a primeggiare tra tutte le fonti energetiche, in termini di nuova potenza installata, con una quota del 43%, precedendo gas, carbone e nucleare. Sempre in Europa si è riscontrato

uno sviluppo più omogeneo nei paesi membri, in seguito a una minore diffusione del solito in Germania e Spagna, che pur conservando le prime posizioni sia come nuova potenza sia come potenza accumulata, hanno visto ridursi sensibilmente il divario nella crescita annuale dai paesi che viceversa hanno avuto un incremento notevole: Italia, che ha stabilito un nuovo record di 1.010 MW, Francia e Regno Unito. Anche tra i nuovi membri dell'Unione europea la sensibilità nei confronti dell'eolico è aumentata considerevolmente soprattutto in Polonia, Bulgaria e Ungheria, con una conseguente estensione geografica della tecnologia sempre più evidente.

Per quanto riguarda l'Italia si prende atto che, a fronte delle difficoltà varie connesse a un territorio morfologicamente complesso, alla carenza di infrastrutture, soprattutto nelle aree ventose e marginali insulari (Sardegna e Sicilia) e degli Appennini centro-meridionali, alle lungaggini delle procedure amministrative e all'applicazione ancora parziale dei disposti legislativi, il settore ha tratto giovamento dalle attività pregresse e incessanti degli operatori che, dopo l'andamento positivo del 2007, si sono ripetuti con migliori risultati anche nel 2008.

Al solito, le Regioni che hanno contribuito maggiormente alla crescita dell'eolico sono state la Puglia (260 MW), la Sicilia (211 MW), la Campania (168 MW) e, nonostante i problemi legati all'atteggiamento regionale non proprio favorevole, la Sardegna con circa 100 MW. La Regione Puglia con questa nuova potenza installata si è avvicinata alla quota di 1.000 MW che, presumibilmente, verrà raggiunta e superata nei primi mesi del 2009. Ancora scarso è il contributo dell'Italia centrale con soli 14 MW installati in provincia di Pisa e altri 12 MW in provincia di Bologna.

Nell'Italia settentrionale la potenza complessiva è di poco inferiore a 30 MW, quasi completamente collocata in Liguria, do-

ve sono stati installati nel 2008 altri 4,8 MW, e in Piemonte, dove alla fine dell'anno, sono state collegate alla rete, sul crinale alpino al confine con la Liguria, 5 macchine Nordex della potenza di 2,5 MW ciascuna. Il Comune di Garessio, sede della centrale eolica, per questa iniziativa ha avuto un importante riconoscimento con l'assegnazione del premio internazionale "Un bosco per Kyoto" a Roma, nel mese di gennaio 2009.

Da una prima valutazione dell'andamento regionale si evincono l'impegno e la determinazione a intraprendere e continuare lo sviluppo concreto dell'eolico ancora in poche Regioni, soprattutto nell'Italia meridionale e insulare, mentre nell'Italia centrale, dove il potenziale è di tutto rispetto, le centrali eoliche operative sono ancora in numero e potenza di scarso rilievo e quelle in corso di esecuzione sono estremamente limitate.

La ripartizione dei costruttori di aerogeneratori presenti nel mercato nazionale è rimasta fondamentalmente inalterata, con la Vestas che conserva una quota di circa il 50%, seguita a distanza da Gamesa e Enercon. Vestas, con oltre 340 MW messi in esercizio nel corso del 2008, corrispondenti a un terzo della potenza eolica collegata alla rete nel periodo, è stato il costruttore più richiesto dal mercato, seguito da Gamesa con poco più di 160 MW e una quota di mercato complessiva del 20%, e da Enercon che, con i 125 MW installati, ha portato la propria capacità eolica cumulata in Italia a 473 MW. Da segnalare la notevole progressione di Repower, che ha triplicato la sua potenza eolica operativa, mentre Nordex e Ecotecnia, sino alla fine del 2007 poco presenti nel mercato italiano, hanno aggiunto più di 100 MW ciascuno, acquisendo rispettivamente una quota del 3,54% e 3,23% ed ampliando la tipologia di aerogeneratori presenti nel territorio nazionale.

Le società che producono energia da fon-

te eolica sono aumentate considerevolmente, affiancando quelle già presenti da tempo che a loro volta hanno determinato alcune variazioni in termini di presenza percentuale nel mercato. In particolare ai vertici di queste società troviamo la International Power (IP), una società che si occupa di generazione dell'elettricità da fonti convenzionali e rinnovabili, produzione di acqua potabile tramite dissalazione, trasporto del gas ecc. Nel settore delle rinnovabili la società possiede 1.199 MW di impianti eolici, di cui 550 MW localizzati in Italia, dove alla fine del 2008 la sua quota di mercato nell'eolico era di poco inferiore al 15%. A seguire l'IP, con una percentuale variabile dal 7,5% all'11,2% si trovano in ordine crescente E-ON Italia, IVPC, Edens, Enel GreenPower e FRI-EL. In particolare la FRI-EL, società attiva nella produzione e vendita di energia elettrica da fonti rinnovabili, ha avuto un ragguardevole sviluppo nel 2008 mettendo in esercizio oltre 180 MW e portando il totale a 418 MW. L'IVPC, che ha in gestione una potenza eolica di oltre 1.000 MW, di cui più di un terzo di suo proprietà, rimane quindi, a livello di operatore del settore, anche in considerazione delle maestranze occupate direttamente e indirettamente in Italia, quello maggiormente rappresentativo.

La ricerca in Italia

In Italia all'inizio degli anni '80 si sono effettuate molteplici attività di ricerca e sviluppo nell'eolico per la valutazione del potenziale e della sua distribuzione territoriale, pervenendo a una prima mappatura delle zone idonee alle installazioni di aerogeneratori. Subito dopo, sono stati eseguiti studi di fattibilità di aerogeneratori di piccola, media e grande taglia, per arrivare poi alla realizzazione dei primi prototipi. Purtroppo queste realizzazioni non hanno consentito all'industria nazionale di com-

petere con quella straniera e le attività di ricerca sono state molto ridimensionate. Allo stato attuale l'industria e il mondo accademico sono le sole entità aventi un coinvolgimento definito all'interno del settore della ricerca, dove però si avverte la mancanza di un piano nazionale di sviluppo tecnologico, con le strategie da adottare e le priorità da assegnare, sulla base dell'obiettivo del 20% di penetrazione delle rinnovabili entro il 2020, sottoscritto in ambito europeo. Si nota quindi un impegno non indifferente a livello industriale, senza il supporto di istituti specializzati, nel tentativo di entrare con successo nel mercato, sempre più agguerrito e competitivo, degli aeogeneratori in tutte le loro tipologie, dalle macchine più piccole a quelle di media e grande taglia e nel settore della componentistica che mantiene un ruolo essenziale nella ricerca di una maggiore affidabilità ed efficienza del sistema. Nell'ambito della grande taglia la neocostituita società Leitwind SpA, appartenente al gruppo Leitner Technologies, con sede a Vipiteno, ha ampliato le attività svolte inizialmente in ambito Leitner, dove era stato sviluppato un prototipo innovativo, a trasmissione diretta, della potenza di 1,2 MW, con successiva installazione nell'ottobre 2003 a Malles, in Val Venosta. Tale prototipo è stato successivamente affiancato da un altro aerogeneratore della potenza di 1,35 MW, ma con un diametro del rotore di 77 m, idoneo allo sfruttamento di venti di media-debole intensità. Dopo questi due prototipi la società nel 2007-2008 ha iniziato il percorso commerciale vendendo le prime sei unità LTW77 della potenza di 1,35 MW in Austria, Bulgaria e India alle quali, nel mese di settembre 2008, si è aggiunta la prima macchina installata nel Veneto.

La Leitwind ha obiettivi ambiziosi e punta a uno sviluppo di mercato non solo in ambito nazionale ma, come si è già avuto modo di vedere, in varie nazioni privile-

giando per il momento l'India, dove ha appena completato la realizzazione di uno stabilimento per la costruzione di aerogeneratori destinati all'area orientale.

LTW80 è un nuovo aerogeneratore della potenza di 1,5 MW, con diametro delle pale di 80 m, che si aggiunge alla gamma di prodotti della società, pronto oramai per la fase dimostrativa, che avrà inizio nei primi mesi del 2009, per essere successivamente commercializzato con destinazione prevalente verso i siti a ventosità moderata.

Leitwind ha installato recentemente la sua prima centrale eolica in Italia, nel nord della Toscana (*figura 1*), con 6 aerogeneratori LTW77 da 1,5 MW, a dimostrazione dell'impegno della società nel settore eolico, con una notevole estensione delle attività e conseguentemente un forte aumento del personale, pressoché quadruplicato in un anno e attestatosi per ora sulle cinquanta unità. Nell'altro estremo dell'Italia, ad Agrigento, Moncada Energy Group è un'altra società attiva nell'eolico dal 2001 che dapprima si è concentrata sulla realizzazione di centrali con aerogeneratori di media taglia, di provenienza spagnola, per una potenza complessiva di un centinaio di MW, e successivamente ampliando le proprie attività, ha iniziato ad occuparsi anche di altre tecnologie rinnovabili come fotovoltaico e biomasse. Inoltre, la società è impegnata nello sviluppo di aerogeneratori, pervenendo alla realizzazione di un prototipo innovativo di media taglia da 750 kW (*figura 2*), cui ha fatto seguito una macchina da 850 kW (*figura 3*) che dovrebbe essere prodotta in serie, con successiva installazione nelle centrali eoliche di sua proprietà.

L'impegno di Moncada nella ricerca e sviluppo della tecnologia eolica si esplica nella progettazione di impianti eolici di diversa tipologia da 1,5 e 20 kW, per quanto riguarda la piccola taglia, mentre in tempi successivi è prevista anche la produzione di macchine di grande taglia da 2 MW, ol-



Figura 1
Aerogeneratore LTW 77 della Leitwind da 1,5 MW nella centrale eolica di Montecatini Val di Cecina

tre alla costruzione di pale e torri di sostegno, il tutto nello stabilimento di Porto Empedocle (*figura 4*), acquisito e ristrutturato attraverso la riconversione dell'area industriale dismessa della Montedison. Anche a livello universitario, dove talvolta si conducono attività di ricerca di alto li-



- Progettazione/installazione primo prototipo di un aerogeneratore da 750 kW a tecnologia "direct drive"
- Messa in produzione Dicembre 2005

Figura 2
Aerogeneratore da 750 kW (prototipo)



Figura 3
Prototipo aerogeneratore prodotto da Moncada e installato in Sicilia

Produzione degli aerogeneratori, delle pale e delle relative torri di sostegno



Figura 4
Stabilimento Moncada

vello, purtroppo in totale assenza di coordinamento e di un filo conduttore che in qualche modo indirizzi tali attività nella direzione di un obiettivo nazionale condiviso, si riscontra un impegno crescente per quanto riguarda le risorse umane profuse e le tematiche affrontate.

Le università di Genova, Bologna, Trento, Padova, Firenze e Napoli, oltre al Politecnico di Milano, sono le più attive nell'esecuzione di attività di ricerca nei settori dell'anemologia, aerodinamica, controllo, sperimentazione e sviluppo di macchine di piccola taglia e analisi delle varie tipologie di fondazioni per applicazioni onshore e soprattutto offshore. Sempre in ambito offshore alcuni studi e progetti, insieme ad altri paesi europei, parzialmente finanziati dalla Commissione Europea, sono stati effettuati dall'ENEA, mentre il Cesi Ricerca, in stretta collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'università di Genova, ha realizzato un atlante eolico nazionale comprensivo della striscia di mare dell'ampiezza di 40 km dalla linea di costa. Ulteriori attività di sperimentazione sulla possibilità di applicazioni offshore in mare profondo sono in corso in Puglia, al largo di Tricase, dove un progetto della Blu H ha portato all'installazione di un aerogeneratore bipala da 70-80 kW sopra una piattaforma semi-sommersa a circa 20 km dalla costa e ancorata a una profondità di 108 m.

La tecnologia eolica offshore

Nel mondo dell'eolico è oramai riconosciuto da tutti gli operatori che, nonostante la vastità delle aree potenzialmente idonee allo sfruttamento del vento ancora inesplorate e presenti in tutti i continenti, il futuro del settore, inteso come diffusione massiva della tecnologia e sensibile contributo al soddisfacimento del fabbisogno crescente di elettricità, sarà strettamente connesso all'implementazione di centrali eoliche di grande potenza nell'ambiente

marino. Anche nel settore della ricerca la tematica offshore è considerata, insieme all'integrazione alla rete elettrica, come una priorità che investe per il suo carattere multidisciplinare diversi ambiti che spaziano dalla meteorologia alla batimetria, dalla caratteristica dei fondali all'ecologia, con implicazioni importanti relative alla conoscenza e applicazione delle più sofisticate tecnologie marine.

In merito all'importanza attribuita dalla Commissione Europea alla tecnologia offshore vale la pena ricordare il ruolo chiave assegnatole con la dichiarazione rilasciata nella sua Rassegna Strategica dell'Energia (SER), in data 13 novembre 2008, in cui viene esplicitamente citata l'*Offshore North Sea Grid* come una delle sei iniziative essenziali per la sicurezza energetica dell'Europa, come descritto nel *Green Paper* sulle reti dell'energia.

Con 1.486 MW installati nei mari dell'Europa settentrionale, di cui 565 MW nel Regno Unito, oltre 400 MW in Danimarca e il resto in Olanda, Svezia, Irlanda e Finlandia ecc., e con la previsione di raggiungere la considerevole potenza (in costruzione e operativa) di 30.882 MW al 2015, è evidente come l'interesse degli investitori sia elevato, ma allo stesso tempo è altrettanto chiaro, per sfruttare al meglio il potenziale presente, come sia indispensabile un supporto legislativo europeo favorevole che si espliciti anche attraverso uno sviluppo dedicato della rete elettrica. Infatti, sebbene nove paesi europei siano già dotati di installazioni offshore, mentre un anno fa erano solo cinque, le infrastrutture elettriche relative a tali applicazioni necessitano di un'estesa opera di miglioramento, rinforzo e ammodernamento.

L'eolico offshore, per raggiungere un buon livello di affidabilità e un abbassamento dei costi, richiede notevoli attività di ricerca orientate allo sviluppo delle diverse tipologie di fondazioni in funzione della profondità del mare, all'individuazione del

miglior sistema di trasferimento dell'energia prodotta, tramite cavi sottomarini, nonché all'approfondimento delle conoscenze sull'ecologia marina oltre a tutti gli aspetti legati all'uso dell'ambiente marittimo (pesca, trasporto, attività portuali ecc.). In Germania, nell'ambito del progetto "alpha ventus", relativo alla realizzazione di una centrale offshore di 12 aerogeneratori da 5 MW Repower e Multibrid, sono stati attivati 16 progetti con un supporto finanziario pubblico di 26 milioni di euro. I principali temi di ricerca riguardano l'acquisizione e gestione dei dati, l'analisi dei carichi, lo sviluppo dei componenti delle macchine offshore, un ulteriore sviluppo del LIDAR come tecnica innovativa di rilevamento dati anemologici, il collegamento alla rete elettrica e, non di minore importanza, le ricerche nell'ambito dell'ecologia marina. Una seconda piattaforma di attività di ricerca nel Mare del Nord è stata avviata ad agosto 2008 con il programma Fino 3. In tale programma saranno condotte attività relative a:

- profilo del vento sino a 100m;
- altezza delle onde;
- carichi sulle fondazioni (monopalo);
- corrente marina;
- parametri idrografici;
- avifauna;
- interazioni sedimenti-struttura monopalo;
- ispezione geologica;
- fisica dei fulmini (sino a 120m).

Tutte queste attività sono propedeutiche a un massiccio intervento di diffusione dell'eolico offshore nel Mare del Nord, con l'ambizioso obiettivo di pervenire all'installazione di una potenza di 1.500 MW entro il 2011 e di 25.000 MW entro il 2030. Per il raggiungimento di questi target si sono adottate due misure per migliorare le condizioni per i potenziali investitori. La prima, tramite l'*Infrastructure Acceleration Act*, consiste nell'obbligare il gestore della rete di trasmissione a farsi carico delle

spese di collegamento elettrico dal punto di accesso sulla terraferma a quello della centrale offshore. L'altra misura è invece di carattere remunerativo e riguarda un sensibile aumento tariffario dell'energia prodotta ed erogata nella rete.

Anche nel Regno Unito il contributo dell'eolico offshore (figura 5) si sta facendo sempre più rilevante. Ai 565 MW in esercizio se ne aggiungeranno presto altri 774 già in fase costruttiva, mentre i progetti autorizzati ammontano a un totale di 3.863 MW e altri 820 MW sono in corso di pianificazione. Diversi sono i progetti R&D in corso afferenti la tecnologia offshore:

- modellistica a elementi finiti delle strutture di supporto per aerogeneratori offshore;
- produzione rapida, innovativa e economicamente fattibile di pale per applicazioni offshore;
- generatore innovativo di alta potenza a trasmissione diretta per uso in ambito offshore;
- fondazioni e torri in calcestruzzo competitive per future centrali eoliche offshore;
- applicazioni dell'anemometro Lidar;
- riduzione del costo ed estensione della vita d'impianto;
- progetto dimostrativo di una centrale eolica offshore in acque profonde.

Ulteriori attività di ricerca sono state condotte nell'ambito di un annesso relativo all'offshore del *Wind Implementig Agreement* dell'IEA. L'annesso *Offshore Wind Energy Technology and Deployment* è stato suddiviso in due subtasks:

- Experience with critical deployment issues;
- Technical Research for deep water (>30m).

Nel primo task sono state effettuate attività di verifica dello stato dell'arte e organizzati workshop riguardanti l'ecologia marina, la normativa esistente, l'integrazione alla rete elettrica, le condizioni mari-



Figura 5
Aerogeneratori Vestas da 2 MW installati nelle acque del Regno Unito

ne e meteorologiche, la disposizione e progettazione delle centrali eoliche offshore. Nel secondo si è costituito un gruppo che ha operato sulla modellistica dell'acqua bassa e di quella profonda e che si è focalizzato sui modelli dinamici strutturali utilizzati per la stima dei carichi dinamici. La collaborazione tra i paesi partecipanti ha comportato approfondimenti sulle tecnologie in uso nelle fondazioni offshore, come quelle del monopalo correntemente usato per acque poco profonde, e su quelle in fase di sviluppo come le piattaforme galleggianti per applicazioni in acque sino oltre 200 m di profondità.

Purtroppo, l'Italia, pur vantando l'impegno dell'università di Genova nel campo della modellistica dei flussi di vento, del Cesi Ricerca nello studio e valutazioni delle piattaforme sommerse e dell'Università di Bologna, particolarmente attiva nell'analisi tecnologica ed economica delle diverse tipologie di fondazioni offshore, non partecipa a tali iniziative, a tutto discapito di un miglioramento della conoscenza delle complessità caratterizzanti questa tecnologia.

Tra l'altro l'Italia, attraverso l'ENEA, con la partecipazione attiva a tre programmi co-

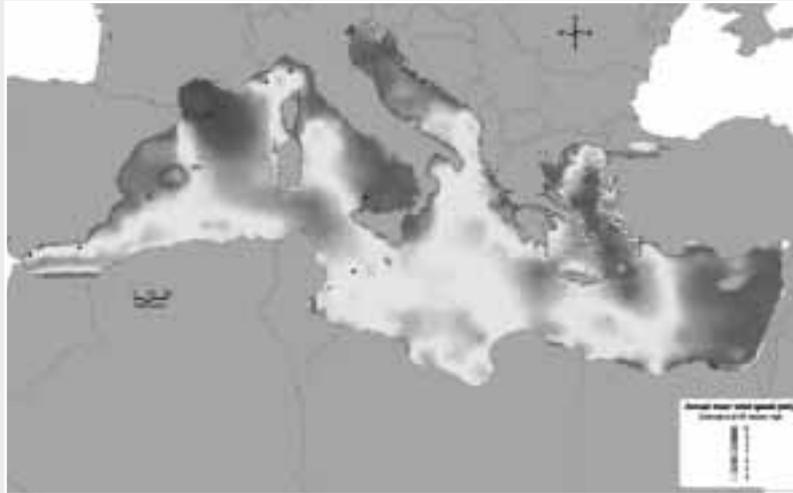


Figura 6
 Mappa vento nel bacino del Mediterraneo

munitari sullo stato dell'arte, sulle applicazioni del satellite per indagini a grande scala dei regimi anemologici e sulle possibilità applicative della tecnologia offshore in ambito Mediterraneo (*figura 6*), grazie alle attività di studio, anche presso il centro di S. Teresa, dell'ecologia marina, della batimetria, altezza delle onde, velocità delle correnti, caratteristiche dei fondali

marini ecc., ha tutte le potenzialità per esercitare un ruolo attivo nell'implementazione di tale tecnologia nei mari che la lambiscono, a patto che si risolvano una volta per tutte le dispute di campanile in ambito locale nei siti offshore potenzialmente idonei e si adotti una procedura condivisa Stato-Regioni.

Inoltre, come sopra menzionato, nelle acque italiane, è in corso la dimostrazione di una piattaforma semisommersa sulla quale è installato un piccolo aerogeneratore (*figura 7*), a conferma della vitalità dell'imprenditoria nazionale, in questo caso insieme a partner internazionali. Si tratta di un primo passo verso l'installazione nella stessa area di un prototipo di grande taglia, dopo di che, se il responso sarà favorevole, si procederà alla realizzazione di una centrale eolica di circa 90 MW costituita da aerogeneratori innovativi da 3,5 MW. Questa attività di carattere dimostrativo è la prima del genere a livello mondiale e colloca l'Italia, tra i paesi attivi nello sviluppo di questa applicazione specifica, come quello che potrebbe assumere la leadership tecnologica nel bacino del Mediterraneo.



Figura 7
 Installazione in acque profonde (111 m). Prototipo di piattaforma semisommersa della BLUE H al largo (20 km) della costa pugliese

L'incentivazione dell'eolico: il ruolo del GSE

Carlo Andrea Bollino

Presidente del GSE

Il GSE (Gestore dei Servizi Elettrici) è il soggetto dedicato alla promozione e incentivazione delle fonti rinnovabili in Italia. Tra le principali attività vi è certamente la qualifica di impianto alimentato da fonte rinnovabile, propedeutica al rilascio degli incentivi (certificati verdi o tariffa onnicomprensiva). Il GSE ha emesso, per la produzione 2007, 2,7 TWh di certificati verdi da fonte eolica, pari al 34% del totale

Incentives for Wind Energy: The Role of GSE

GSE manages the Italian support schemes to the electricity produced through power plant fed by renewable energy sources. Auditing of RES plants (IAFR) - the preliminary assessment before issuing the Green Certificates or granting the Feed-in tariffs (omnicomprensive tariffs) - is one of the main GSE activities. For 2007, GSE issued 2,7 TWh of green certificates in favor of wind generation, representing around the 34% of the total issue

Italia, Europa e Mondo a confronto: i numeri dell'eolico

L'energia eolica negli ultimi anni ha avuto un ruolo fondamentale nello sviluppo delle fonti di energia rinnovabile (FER), presentando tassi di crescita notevoli. In Italia^[1,2] dal 2004 al 2008 la potenza eolica installata è passata da 1.127 MW a 3.736 MW¹, con un tasso di crescita del 231%. Nell'ultimo anno sono entrati in esercizio impianti eolici per ben 1.000 MW. Analogamente, l'Europa^[2] è passata da 34.246 MW a 66.160 MW¹ di eolico, con un tasso di crescita del 93%. Tale potenza, in condizioni medie del vento, porta a produrre circa 142 TWh di elettricità l'anno, fornendo il 3,4% dei consumi europei di energia elettrica, evitando l'emissione di circa 100 milioni di tonnellate di CO₂.

Germania, Danimarca e Spagna hanno un ruolo trainante nello sviluppo di questa tecnologia, con un livello di penetrazione nel mix energetico (in termini di produzione lorda di energia elettrica, dati al 2006^[3]) del 13% in Danimarca, 8% in Spagna e 5% in Germania. La produzione lorda di energia elettrica italiana da eolico, rapportata alla produzione rinnovabile, rappresenta l'11% nel 2008¹, contro l'1% del 2000. In *tabella 1*^[2] sono riportate le potenze dei paesi dell'Unione Europea e del Mondo con più di 1.000 MW installati. Il vecchio Continente rappresenta il 55% della potenza eolica mondiale.

In Italia i parchi eolici sono localizzati principalmente nel Meridione e nelle Isole maggiori, sia in termini di numerosità che di potenza. Puglia e Campania esprimono insieme oltre il 40% del parco eolico nazionale, Sicilia e Sardegna ne coprono ri-

spettivamente il 15% e l'11%. Queste quattro Regioni insieme coprono il 78% dell'installato nazionale in potenza.

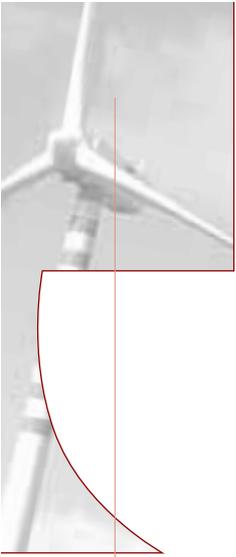
In *figura 1* è possibile vedere l'ulteriore dettaglio provinciale della distribuzione percentuale della potenza eolica installata a fine 2007. Si può notare che le sole province di Foggia, Avellino, Sassari e Benevento insieme coprono il 45% della potenza nazionale, su un territorio in percentuale pari al 5% di quello dell'Italia.

Tabella 1 - Potenza eolica installata nell'Unione Europea e nel Mondo a fine 2008

Paesi	MW
Germania	23.903
Spagna	16.741
Italia	3.736
Francia	3.404
Regno Unito	3.288
Danimarca	3.160
Portogallo	2.862
Olanda	2.225
Irlanda	1.245
Svezia	1.067
Altri paesi europei	4.529
Totale Europa	66.160
Stati Uniti	25.170
India	9.587
Cina	12.210
Canada	2.369
Giappone	1.880
Australia	1.494
Altri paesi	2.317
Totale Mondo	121.187

Fonte: ANEV

1. Dato provvisorio.

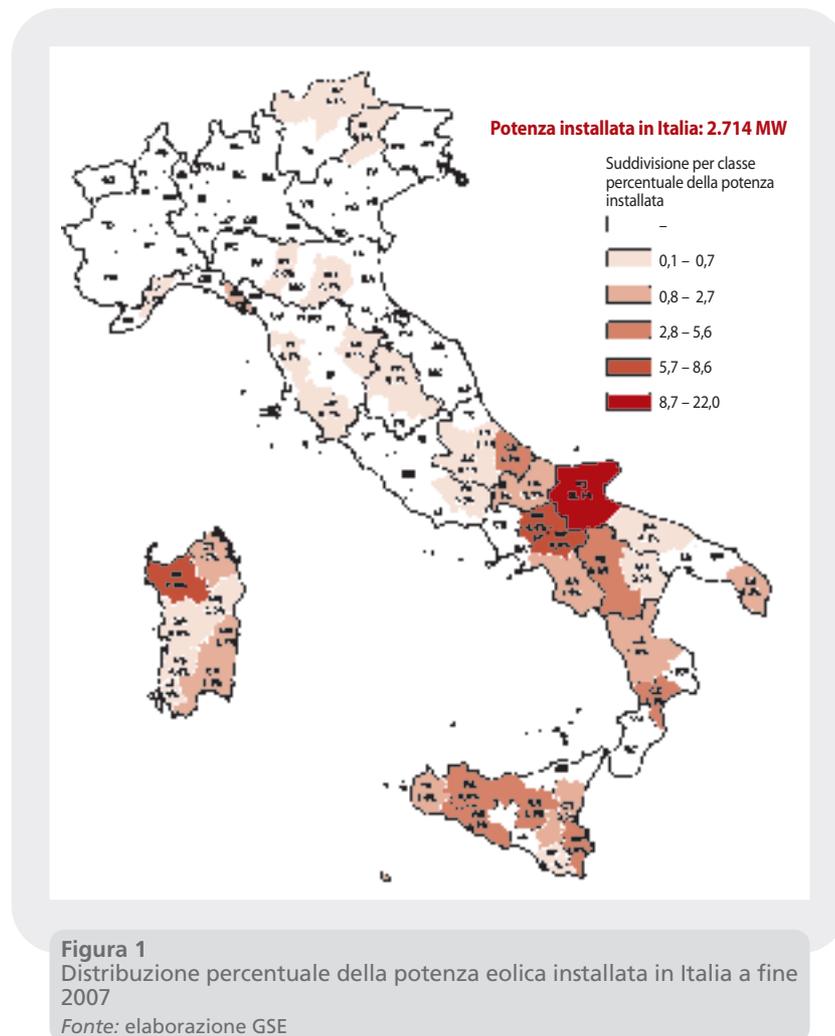


Il costo^[4,5] medio nazionale dell'investimento totale di un progetto eolico on-shore, comprensivo di turbine, opere civili di fondazioni e strade, installazione, connessione alla rete e progettazione, è di circa 1,8 milioni di euro al MW. Mediamente si può suddividere tale costo in: 10-20% progettazione, 65-70% aerogeneratori, 15% opere civili, 5% connessione alla rete. I costi di esercizio sono all'incirca di 12-13 €/MWh. Il miglioramento raggiunto nell'efficienza delle turbine e della progettazione, e l'aumento dei costi del combustibile fossile hanno reso l'eolico competitivo rispetto alle fonti tradizionali.

Il GSE e i meccanismi di incentivazione in Italia

Il Gestore dei Servizi Elettrici (di seguito GSE), nato il 1° novembre del 2005 dal conferimento a TERNA delle attività di gestione della rete di trasmissione nazionale, è il soggetto unico, in ambito nazionale, con la *mission* di incentivare e promuovere le fonti rinnovabili.

Il GSE svolge la sua funzione mediante l'erogazione e la gestione di incentivi economici destinati alla produzione energetica da fonti rinnovabili, e con azioni informative tese a diffondere la cultura dell'uso del-



l'energia compatibile con le esigenze dell'ambiente. Tra i meccanismi di incentivazione per le FER si annoverano: i Certificati Verdi (CV), la tariffa onnicomprensiva ed il conto energia per gli impianti fotovoltaici e solari termodinamici. Per facilitare la generazione elettrica distribuita sul territorio, il GSE ritira e colloca sul mercato l'energia ceduta da impianti in regime di Ritiro Dedicato o Scambio sul Posto. Rilascia le certificazioni attestanti la cogenerazione ad alto rendimento (CAR), la garanzia di origine per gli impianti FER e CAR. A livello internazionale ha un ruolo attivo in seno all'OME (*Observatoire Méditerranéen de l'Energie*), alla IEA (*International Energy Agency*) e all'AIB (*Association of Issuing Bodies*). Nell'ambito di quest'ultima emette i certificati RECS (*Renewable Energy Certificate System*) validi a livello europeo.

Le scelte di politica energetica in tema di rinnovabili, come già avvenuto in altre realtà europee, hanno comportato per l'Italia la diversificazione tra incentivazione di piccoli e medio/grandi impianti. Il Decreto Ministeriale 18/12/2008, in attuazione alla Legge 24 dicembre 2007 n. 244 (Legge Finanziaria 2008) e alla Legge 29 novembre 2007, n. 222 (Collegato alla Finanziaria 2008) pone ai produttori 2 alternative: uno strumento di mercato (i cosiddetti CV) oppure uno strumento regolato (la tariffa onnicomprensiva), per impianti di potenza nominale media annua non superiore al MW (200 kW per l'eolico), purchè entrati in esercizio dopo il 2007.

I Certificati Verdi introdotti dal Decreto Legislativo 79/99 sono titoli negoziabili che attestano la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile e rappresentano un beneficio per l'operatore, in quanto sono utilizzabili per ottemperare all'obbligo di immissione nel sistema elettrico di una quota di energia elettrica da fonte rinnovabile. La tariffa onnicomprensiva (comprensiva cioè dell'incentivo e del ricavo della vendita dell'energia) è applicabile, su richiesta dell'operatore, agli impianti entrati in esercizio in data successiva

al 31 dicembre 2007, di potenza nominale media annua non superiore ad 1 MW (200 kW se eolici), ai quantitativi di energia elettrica immessa in rete.

Il nuovo DM nelle sue linee essenziali prolunga fino a 15 anni la durata dell'incentivo per tutti gli impianti che entrano in esercizio dopo il 31/12/2007, differenzia per fonte l'incentivo, prevede delle misure specifiche per le biomasse da filiera, introduce il divieto di cumulo di incentivo con altri incentivi pubblici per tutti gli impianti che entreranno in esercizio dal 1° gennaio 2009 e riduce la taglia del certificato verde ad 1 MWh. Gli incentivi sono possibili solo per impianti di potenza non inferiore al kW, collegati alla rete elettrica.

Per poter accedere ad entrambi i meccanismi, l'operatore deve ottenere preliminarmente la qualifica di Impianto Alimentato da Fonte Rinnovabile (IAFR), presentando apposita richiesta al GSE ed inviando contestualmente alla domanda:

- la copia del progetto definitivo;
- la copia delle autorizzazioni ottenute;
- una relazione di sintesi dell'intervento per cui fa richiesta;
- la documentazione attestante il versamento del contributo di istruttoria.

Il GSE ha 90 giorni di tempo per esprimere un parere (positivo o negativo) sulla richiesta di qualifica e, se necessario, sospendere l'istruttoria per richiedere della documentazione integrativa. In questo caso l'operatore ha 60 giorni per fornire i chiarimenti richiesti dal GSE, e solo dopo la ricezione di tali documenti il conteggio dei giorni residui riparte. Ad oggi il GSE ha sempre risposto agli operatori dopo un tempo medio di 70 giorni, senza mai ricorrere al silenzio/assenso previsto dalla normativa. La qualifica è ottenibile sia per impianti già in esercizio, sia per impianti in progetto, purchè autorizzati. L'operatore deve poi dichiarare al GSE l'entrata in esercizio fisico dell'impianto qualora questo sia stato qualificato a progetto, e comunicare ogni eventuale modifica.

L'incentivazione è calcolata in due step suc-

Tabella 2 - Coefficienti della Finanziaria 2008 per il calcolo dell'incentivazione

Fonte	Coefficiente per la determinazione del numero dei CV K_{FIN}	Tariffa onnicomprensiva TO (€cent/kWh)
Eolica per impianti di taglia superiore a 200 kW	1,0	-
• Eolica off-shore	1,1	
Eolica per impianti di taglia non superiore a 200 kW	1,0	30

Tabella 3 - Calcolo dell'energia incentivata per categoria di intervento

Categoria di intervento	Energia incentivata (E_I) riconosciuta per i CV	Energia incentivata (E_I) riconosciuta per la TO
Nuova costruzione e riattivazione		
• Nuova costruzione (impianto che inizia a produrre per la prima volta)	$E_I = E_A$	$E_I = E_R$
• Riattivazione (messa in servizio di un impianto dismesso da almeno 5 anni)		
Potenziamento		
Intervento tecnologico su un impianto in esercizio da almeno 5 anni tale da consentirne una producibilità aggiuntiva	$E_I = D \cdot (E_A - E_5)$	$E_I = D \cdot (E_R - E_5)$
Rifacimento totale		
Sostituzione con nuovi componenti dell'alternatore, del moltiplicatore di giri, dell'inverter e del mozzo su tutti gli aerogeneratori in impianti in esercizio da almeno 10-15 anni se l'impianto ha fatto il primo parallelo con la rete entro o dopo il 31/12/2007	$E_I = D \cdot E_A$	$E_I = D \cdot E_R$
D = Coefficiente di gradazione di cui all'Allegato A del DM 18/12/2008 (pari a 0,9 per tutti gli impianti qualificati dopo il 02/01/2010, altrimenti uguale ad 1)		
E_A = Produzione annua netta		
E_R = Produzione annua netta immessa in rete		
E_5 = Media della produzione annua netta degli ultimi 5 anni dell'impianto		

Fonte: DM 18/12/2008

cessivi: la fonte e la tipologia di impianto individuano i coefficienti delle tabelle della Finanziaria 2008 da utilizzare (tabella 2), mentre con la categoria di intervento si ottiene l'algoritmo per calcolare l'Energia Incentivabile (E_I) dall'energia netta attesa (E_A) o da quella immessa in rete (E_R) (tabella 3). Nel caso di incentivazione mediante certificati verdi, il numero di CV è dato dal prodotto dell'energia incentivabile (espressa in MWh) per il coefficiente della finanziaria; nel caso della tariffa onnicomprensiva, l'incentivazione è data dal pro-

dotto tra l'energia incentivabile, la tariffa della finanziaria ed il rapporto tra l'energia immessa in rete e quella netta prodotta dall'impianto:

$$\begin{aligned} \text{Numero di CV} &= E_I \cdot K_{FIN} \\ \text{Incentivazione} &= E_I \cdot TO \cdot (E_R/E_A) \end{aligned}$$

La durata dell'incentivo, sia che si tratti di CV, sia che si tratti di tariffa onnicomprensiva, è pari a 15 anni se l'impianto, a seguito dell'intervento, è entrato in esercizio in data successiva al 31/12/2007, altrimenti è pari a 12 anni. I Certificati Verdi vengono

utilizzati dai produttori/importatori da fonte convenzionale per ottemperare al loro obbligo di immettere, nel sistema elettrico nazionale, una percentuale di "energia verde" via via sempre crescente ed in linea con il raggiungimento degli obiettivi comunitari. In caso di impossibilità ad immettere nel sistema tale quantitativo di energia da impianti rinnovabili propri, tale obbligo può essere assolto comprando e contestualmente annullando i CV prodotti da terzi per un pari quantitativo.

L'operatore che invece non è un soggetto all'obbligo può ottenere un ricavo dalla vendita dei certificati mediante:

- partecipazione alla borsa del CV del Gestore del Mercato Elettrico (GME), punto ufficiale di incontro della domanda e dell'offerta dei certificati, in cui nasce il "prezzo di mercato";
- stipulazione di contrattazioni bilaterali con operatori soggetti all'obbligo o con *trader*, con obbligo di registrare le transazioni sulla borsa del GME;
- limitatamente al periodo 2009-2011, al fine di garantire una graduale transizione dal vecchio ai nuovi meccanismi di incentivazione e non penalizzare gli investimenti già avviati, rivendita al GSE, al prezzo pieno di riferimento, corrispondente al prezzo medio ponderato delle contrattazioni di CV registrate sul Mercato del GME nel triennio precedente alla richiesta. Per il 2009 tale valore è pari a 98,00 €/MWh, al netto di IVA, calcolato sul triennio 2006-2008.

Alla prima richiesta di certificati verdi il GSE, per ogni operatore, apre un "conto proprietà" per il deposito dei certificati stessi, e mediante un sistema informatico dedicato tiene traccia delle relative transazioni. I certificati possono essere richiesti a preventivo, in base alla producibilità netta attesa dall'impianto o alla media degli anni precedenti se già operativo, oppure a consuntivo in base all'energia prodotta. I certificati emessi a preventivo saranno poi conguagliati con l'invio effettivo del dato di

produzione attestato dall'Ufficio Tecnico di Finanza. La tariffa onnicomprensiva, regolata dalla Delibera AEEG 1/09, è invece una modalità semplificata per ricevere incentivo e ricavo della vendita dell'energia in un unico passo e solo a consuntivo. Sia i valori della tariffa che i coefficienti per il calcolo dei CV possono essere variati ogni 3 anni dal Ministero dello Sviluppo Economico.

Risultati della Qualifica IAFR

Il GSE ha qualificato, dal 2001 alla fine di marzo 2009, 1.711 impianti in esercizio per una potenza complessiva di 11.901 MW (di cui 1.791 MW riferiti ad impianti ibridi, in cui vengono utilizzate sia fonti convenzionali che rinnovabili). In questi casi le FER contribuiscono per pochi punti percentuali alla potenza complessiva degli impianti). L'eolico rappresenta in potenza il 23% del totale, storica è ovviamente la fonte idraulica con il 48%, a seguire le biomasse con il 15%, i rifiuti con l'8%, mentre biogas, geotermia e solare raggiungono complessivamente il 6% (figura 2).

La maggior parte degli impianti eolici qualificati è costituita da nuove costruzioni

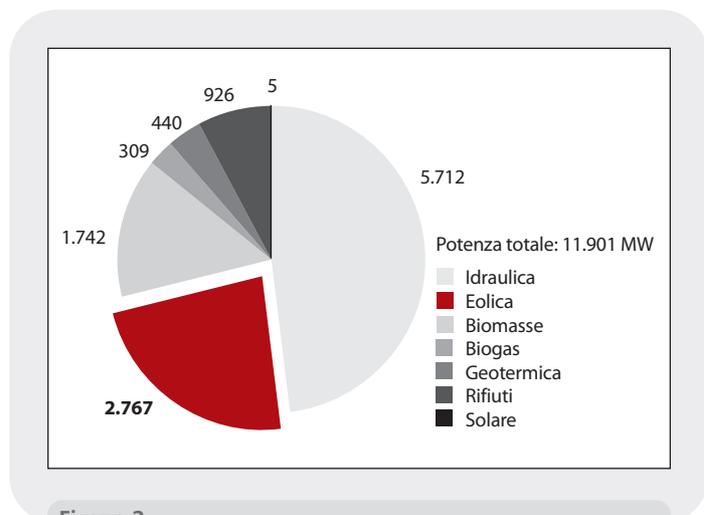


Figura 2
Potenza degli impianti qualificati IAFR in esercizio suddivisi per fonte al 31/03/2009
Fonte: GSE

(217 impianti con un totale di 2.682 MW) e da qualche rifacimento totale (11 impianti per 84 MW); potenziamenti e riattivazioni complessivamente quotano 1 MW. Il 90% degli impianti eolici è ubicato nell'Italia Meridionale e Insulare, nelle Regioni con minor grado di industrializzazione (figura 3). Purtroppo questa zona dell'Italia è anche quella, in termini di rete, maggiormente congestionata. La Sicilia ha il primato di impianti qualificati con 762 MW; a seguire la Puglia con 616 MW, la Campania con 490 MW e la Sardegna con 362 MW. Da quando la taglia dei certificati è stata ridotta al MWh e dall'attivazione della tariffa onnicomprensiva, anche il mini-eolico sta decollando e sempre più numerose sono le richieste di qualificare pale eoliche da 20 kW. Ad oggi il GSE ha qualificato 29 impianti in esercizio, con 1

o 2 aerogeneratori da 20 kW ad impianto, per una potenza complessiva di 730 kW, e a progetto sono previsti oltre 100 impianti per una potenza complessiva di 3,5 MW. In termini di incentivazione, il 34% delle emissioni di certificati al netto delle compensazioni, relativamente alle produzioni 2007, riguarda la fonte eolica (2.697.298 CV), su un totale di 7.935.523 certificati emessi per lo stesso periodo. A fine marzo 2009 hanno invece richiesto l'attivazione della tariffa onnicomprensiva 72 impianti, per una potenza nominale media annua complessiva di 29 MW.

Prospettive 20 20 20

L'Unione Europea pone degli obiettivi sempre più sfidanti in ambito energetico. La nuova direttiva FER, adottata dal Parlamento Europeo nella seduta del 17/12/2008, ha fissato al 20% la quota dei consumi totali da energia proveniente da rinnovabili all'interno della comunità nell'anno 2020. Nella ripartizione nazionale l'Italia deve raggiungere il 17%. Stimando un possibile contributo da riscaldamento/raffrescamento e trasporti, si può ipotizzare che la produzione di elettricità da FER debba raggiungere il 25% del consumo totale di elettricità. Oggi, dati di consuntivo 2008 del settore elettrico provvisori, siamo al 17%, il che vuol dire che bisogna continuare a rafforzare il contributo delle FER ed in particolare le fonti eolica, biomassa e solare.

Il Position Paper^[7] presentato dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri alla Commissione Europea nel settembre 2007 stima il contributo eolico al raggiungimento degli obiettivi per il 2020 in 12.000 MW, suddiviso potenzialmente in 10.000 MW on-shore e 2.000 MW off-shore, per un totale di circa 23 TWh di energia. Al 2008 l'eolico installato è di 3.730 MW e 6,43 TWh di energia prodotta: per raggiungere l'obiettivo si dovrebbero realizzare annualmente circa 750 MW da eolico.

In base ai dati progettuali qualificati IAFR

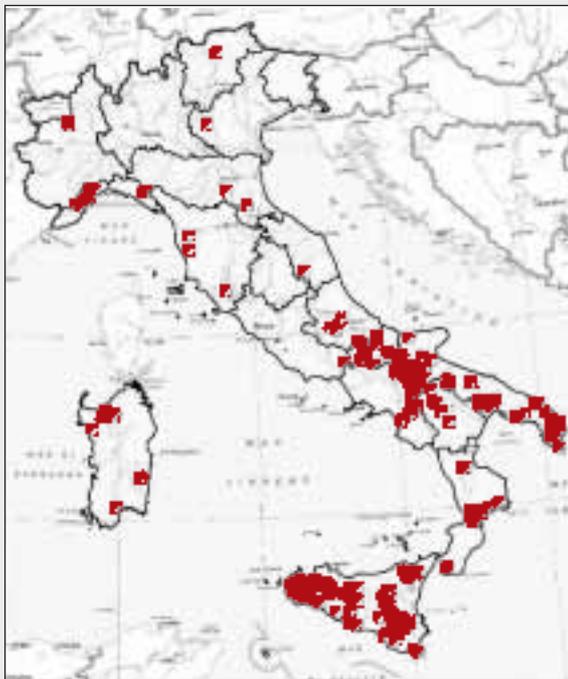


Figura 3
Localizzazione degli impianti qualificati IAFR in esercizio al 31/03/2009
Fonte: GSE

degli impianti eolici nel triennio 2009-2011, è possibile prevedere un aumento di 800-1.000 MW annui, confermati anche dagli studi ANEV^[2] e TERNA^[8].

Per poter rispettare questo sviluppo devono essere però risolte diverse criticità:

- la non trasparenza nei processi autorizzativi, a causa della mancanza delle linee guida nazionali per l'autorizzazione unica (art.12 della 387/03) e della ripartizione regionale degli obiettivi di sviluppo delle FER;
- la congestione della rete di trasmissione, su cui TERNA sta già lavorando con i nuovi progetti di ampliamento della rete^[8] (raddoppio della dorsale medio adriatica Foggia-Villanova, rinforzo della rete nell'area compresa tra Foggia-Benevento-Salerno, collegamento SA.PE.I Sardegna-Continente, collegamento Sorgente-Scilla-Rizziconi per la Sicilia ecc.);
- l'opposizione delle comunità locali, sostanzialmente per mancanza di informazione;
- il momento economico non propriamente favorevole per la crisi finanziaria in atto ecc.

Fattori favorevoli allo sviluppo delle FER sono invece:

- gli strumenti di incentivazione adeguati alla maturità tecnologica delle fonti (€/kWh riconosciuto elevato rispetto ai paesi UE);
- la disponibilità di risorse (modalità di copertura tramite A3);
- la semplificazione della gestione dell'impianto (attività di ritiro dedicato dell'energia);

- un contesto internazionale favorevole (impegni UE su FER, Protocollo di Kyoto ed esigenza di sicurezza approvvigionamenti).

In conclusione, è un momento cruciale per il settore energetico del nostro Paese. Un momento nel quale scelte concrete vanno elaborate ed attuate con saggezza e determinazione, con competenza e lungimiranza, per dare all'Italia la possibilità di affrontare il futuro con tranquillità e sicurezza, guardando all'Europa e al mondo senza timori d'inadeguatezza e d'inferiorità, ma rammentando le sfide cruciali di diversificazione, sviluppo tecnologico e tutela ambientale. In quest'ottica le indicazioni del Governo spingono verso le soluzioni con miglior rapporto costi-benefici e impatto ambientale, oltre a favorire la creazione di impianti ad alta tecnologia con maggiore resa produttiva, minor costo finale dell'energia elettrica e giusta combinazione con il territorio.

Inoltre si dà grande attenzione alle fonti rinnovabili: le incentivazioni previste per tale settore energetico aiutano a creare mercato, testano nuove tecnologie e nuovi materiali, creano un'importante filiera industriale lato offerta e rendono più competitive le forme di energia alternativa. Dunque, sviluppare e incrementare la ricerca e l'uso di nuove tecnologie è un dovere di ogni Stato responsabile, consapevole che da questo nascono progresso, occupazione, crescita economica e sociale. La sfida a rendere migliore e competitiva la nostra politica energetica è iniziata. Ora c'è più chiarezza. Più determinazione.

Bibliografia

- [1] APER (2008) *Report eolico 2007-2008*, www.aper.it
 [2] ANEV (2009) *Brochure Eolico*, www.anev.org
 [3] TERNA (2008) *Dati statistici sull'energia elettrica in Italia 2007* pag.150, Marchesi Grafiche Editoriali, Roma.
 [4] Chiara Pavani (2009) *I numeri dell'eolico in Europa*, rassegna stampa, www.rinnovabili.it
 [5] IEA WIND (2008) *IEA WIND ENERGY Annual Report 2007*, pag. 9-28 e 151-162, Johnson Publishing Company, Colorado.

- [6] IEA (2008) *IEA Statistics – Renewables Information 2008*, pag. 11, STEDI, Francia.
 [7] Presidenza del Consiglio dei Ministri (2007) *Energia: temi e sfide per l'Europa e per l'Italia Position Paper del Governo Italiano*, pag. 15, www.governo.it
 [8] TERNA (2009) *Piano di Sviluppo 2009*, pag. 43-46 e 82-83, www.terna.it

Stato dell'arte e prospettive dell'energia eolica in Italia

Simone Togni

Segretario Generale ANEV

Tra le fonti rinnovabili l'eolico è quella che presenta le maggiori potenzialità, con buone prospettive anche in termini occupazionali. Restano da risolvere i problemi legati all'iter autorizzativo degli impianti, alla inadeguatezza della rete elettrica nazionale, alla regolarizzazione nel commercio delle autorizzazioni

Wind Energy in Italy: State of the Art and Prospects

Among renewable energy sources wind energy has the greatest potential as well as good prospects even in occupational terms. Yet a solution is still to be found to problems related to plant authorisation procedures, inadequacy of the national electric grid, regularisation of trading authorisation procedures

La necessaria attività di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia per il nostro Paese assume un carattere sempre più pressante alla luce delle recenti determinazioni assunte dall'Unione Europea in tema di copertura crescente dei consumi di energia con tali fonti pulite. Per quello che riguarda il solo settore elettrico poi, si deve evidenziare come la definizione degli obiettivi non possa prescindere da un serio calcolo dei potenziali. Il contributo delle fonti di energia rinnovabile nell'anno 2008 si è attestato su un totale di circa 58 TWh, con un incremento rispetto all'anno precedente stimabile intorno al 20,3%. Tale quota ha rappresentato il 17% del consumo interno lordo di energia elettrica stimato pari a 337,6 TWh, valore quello del consumo che per la prima volta negli ultimi anni si è ridotto rispetto all'anno precedente. Tale significativa inversione di tendenza è riconducibile sia all'incremento dell'efficienza e del risparmio energetico che ai primi effetti della crisi economica in atto nel nostro Paese. L'aumento dell'energia elettrica da fonti rinnovabili nel 2008, rispetto al 2007, è stato così suddiviso: idroelettrico +7 TWh (+21,9%), eolico +2,4 TWh (+59,5%), solare +0,16 TWh (+412%)¹. Il positivo incremento dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili nel 2008, anche se l'idroelettrico risente del livello particolarmente basso del 2007, mostra che in Italia ci si sta muovendo nella giusta direzione. Il Decreto emanato il 18/12/2008, i cui primi effetti già si sono dispiegati, contribuirà ad una graduale stabilizzazione del mercato dei Certificati Verdi (CV); al fine di agevolare il pas-

saggio dai vecchi ai futuri meccanismi di incentivazione, è stato fissato il prezzo di ritiro dei CV residui da parte del GSE nel triennio 2009-2011, pari al prezzo medio di mercato del triennio precedente all'anno in cui avviene la richiesta al fine di evitare eccessive oscillazioni. Ciò ha prodotto, in combinato con l'obbligo di registrazione delle transazioni anche bilaterali e insieme all'equiparazione dei costi di scambio da riconoscere al sistema, un immediato incremento degli scambi dei titoli; nei primi tre mesi del 2009 sono stati infatti negoziati in borsa poco meno di 600.000 CV, circa il 72% del volume scambiato nell'anno 2008. A tale quota vanno aggiunti i circa 780.000 CV i cui scambi sono stati registrati sulla Piattaforma Bilaterale dei Certificati Verdi (PBCV), meccanismo introdotto dal DM 18/12/2008. Il prezzo medio dei CV registrato per tale periodo è pari a 88,65 €/MWh.

Il settore che risulta avere ancora maggiori potenzialità di crescita è quello eolico che, negli ultimi anni, ha visto la potenza installata passare dal 2001 al 2008 da 690 a 3.736 MW e da 1,1 a 6,1 TWh di energia elettrica prodotta. Questi numeri dimostrano la costante crescita di un settore che l'ANEV stima avere un potenziale nazionale pari a 16.200 MW realizzabili al 2020 (figura 1).

Alla fine del 2008 l'Italia è risultata essere il terzo paese a livello europeo per potenza installata, dopo Germania e Spagna, nazioni in cui politiche di incentivazione mirate allo sviluppo delle rinnovabili hanno dato slancio all'intero settore, e il sesto a livello mondiale. Almeno altrettanto interessante è il dato elettrico che

1. Fonte: Terna, dati provvisori, 16 marzo 2009.

Regione	Numero aerogeneratori	MW	Potenziale installabile al 2020 (MW)*	Potenziale occupazionale al 2020**
Puglia	782	946	2.070	11.714
Sicilia	777	791	1.900	7.537
Campania	703	688	1.915	8.738
Sardegna	440	467	1.750	6.334
Basilicata	207	209	760	2.675
Calabria	139	192	1.250	4.484
Molise	210	188	635	2.289
Abruzzo	250	170	900	3.166
Toscana	28	42	600	2.114
Liguria	17	14	280	1.061
Lazio	15	9	900	3.741
Emilia Romagna	10	4	200	771
Umbria	2	2	1.090	3.868
Altre	8	16	1.750	7.518
Offshore	0	0	200	1.000
Totale Italia	3.588	3.736	16.200	67.010

* Studio ANEV ** Studio UIL-ANEV

Figura 1
Dati reali (2008) e potenziali dell'eolico in Italia

la realizzazione di questa potenza potrebbe fornire al Paese, e che è stato calcolato essere pari a 27,54 TWh, equivalente ad una percentuale tra il 7 e il 10% del Consumo Interno Lordo secondo quale sarà il dato al 2020. La rilevanza di questo dato sta nel fatto che per la prima volta in Italia, ma anche con pochi riscontri a livello internazionale, e su così vasta scala, l'ANEV ha effettuato uno studio partendo non da una simulazione di dati meteorologici ma dal dato anemometrico di centinaia di sensori certificati e specificamente destinati alla misura del vento, secondo gli standard di rilevamento più elevati esistenti. Significativo è poi il lavoro svolto di esclusione delle aree critiche, oltre ovviamente a quelle non utilizzabili, l'utilizzo dei criteri di massima precauzione nello sviluppo delle potenze installabili, l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili (BAT) oltre alle attenzioni in fase di progettazione, cantiere e gestione

previsti dal Protocollo ANEV con le Associazioni ambientaliste e che garantisce la minimizzazione anche degli impatti marginali. A tal fine è bene ricordare come alla fine del ciclo di vita di un impianto successivamente alla fase di dismissione si provveda al ripristino delle condizioni paesaggistiche *ante-operam* (un impianto eolico genera impatti residui sull'ambiente prossimi allo zero, Protocollo ANEV - Associazioni ambientaliste). Questo aspetto risulta fondamentale ai fini dello studio del ciclo di vita dell'impianto; infatti, l'obbligo di ripristino totale dello stato dei luoghi voluta dall'ANEV garantisce il completo annullamento dell'impatto visivo e paesaggistico, con il contestuale recupero e riciclo dei materiali, oltre alla completa disponibilità del territorio utilizzato per le precedenti attività agropastorali. Lo sviluppo del dato in termini di produzione elettrica è stato quindi indispensa-

bile per la verifica di compatibilità data da TERNA relativamente alla rete, e la conseguente ripartizione su base regionale. Analogamente interessante è lo sviluppo del dato in termini di aspetti economici e soprattutto occupazionali: infatti, da uno studio condotto con la UIL risulta che, se si sfruttasse a pieno il potenziale nazionale eolico, si avrebbero 66.010 occupati, di cui 19.000 diretti al 2020 (figura 2).

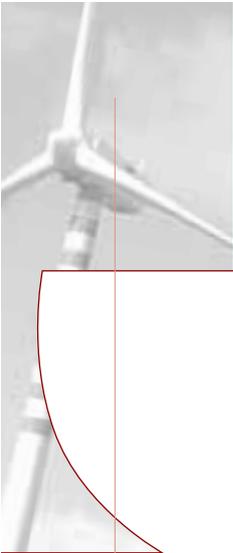
Un dato particolarmente interessante emerso dallo studio riguarda la possibile collocazione della maggior parte degli impianti ancora da installare; la zona del centro-sud Italia risulta infatti essere particolarmente idonea ad ospitare impianti eolici. Ciò determinerebbe quindi un significativo incremento di nuovi posti di lavoro in zone storicamente contraddistinte da elevati livelli di disoccupazione.

I recenti positivi risultati ottenuti dal comparto (il 2008 ha visto la potenza installata per l'Italia superare i 1.000 MW) fanno ben sperare nella crescita del settore che, se forse vedrà nel 2009 e nella prima parte del 2010 un ridimensionamento in termini assoluti di nuove installazioni o perlomeno un rallentamento della crescita, comunque può ancora ritenere valido l'obiettivo al 2020 di 16.000 MW su terra (figura 3).

Inoltre si deve considerare che, per quanto riguarda le applicazioni in mare, se il sostegno economico riconosciuto verrà adeguato come da richiesta dell'Associazione di categoria, si potrà considerare anche l'ulteriore apporto allo sviluppo di tale fonte, così come, seppur meno importante come potenziale elettrico, anche il mini e micro eolico potranno avere un significativo sviluppo nei prossimi

Regione	Studio fattibilità anemometrico ingegneristico	Costruzione macchine ed indotto	Sviluppo costruzione impianto	Gestione			Totale	Diretti	Indiretti
				Installazione	Manutenzione	O&M			
Puglia	1037	3724	2463	648	778	3065	11714	2463	9251
Campania	946	1382	2246	591	709	2865	8738	2246	6492
Sicilia	938	1378	2228	586	704	1703	7537	2228	5309
Sardegna	889	489	2111	556	667	1623	6334	2111	4223
Marche	790	435	1877	494	593	1453	5641	1877	3764
Calabria	630	346	1495	394	472	1147	4484	1495	2989
Umbria	543	299	1290	340	407	989	3868	1290	2578
Abruzzo	444	244	1056	278	333	811	3166	1056	2111
Lazio	444	819	1056	278	333	811	3741	1056	2685
Basilicata	375	206	891	235	281	686	2675	891	1784
Molise	321	177	762	201	241	588	2289	762	1527
Toscana	296	163	704	185	222	543	2114	704	1410
Liguria	148	81	352	93	111	276	1061	352	709
Emilia R.	109	60	258	68	81	195	771	258	513
Altre	89	1198	211	56	67	257	1877	211	1666
Totale	8000	11000	19000	5000	6000	17010	66010	19000	47010

Figura 2
Potenziale occupazionale per settore e per Regione
Fonte: ANEV



dieci anni, grazie all'introduzione della tariffa omnicomprensiva introdotta dal DM 18.12.2008 che ne consente una adeguata remunerazione dell'investimento. Allo stato attuale si stima, per tale settore, un potenziale di circa 2 TWh/anno, corrispondente ad una potenza installata di circa 1.300 MW.

L'Italia sembra pertanto muoversi secondo un percorso corretto, serve un incremento dell'andatura per consentire al nostro Paese di raggiungere i risultati oggetto dell'impegno Comunitario ed evitare sanzioni al sistema Italia che significherebbero un aumento dei costi per la collettività insopportabili. Gli strumenti che servono oggi non sono peraltro di carattere economico, ma anzi sono proprio volti a diminuire gli oneri generati dalle inefficienze e che sono connessi alla burocrazia dell'iter autorizzativo. Una maggiore certez-

za delle tempistiche, nonché una assoluta trasparenza delle procedure è un aspetto che gli imprenditori vogliono a garanzia del rispetto delle regole e della riduzione dei tempi morti che oggi portano a oltre tre anni la media delle autorizzazioni concesse a fronte dei sei mesi previsti dalla legge e dei tempi ancora inferiori di altri paesi europei.

Esaminando nel particolare le criticità che ad oggi impediscono un sostanziale e definitivo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili, bisogna sottolineare come il primo passaggio riguardi il mercato dei Certificati Verdi, motore fondamentale per la crescita del settore. La necessità di regolarizzare tale mercato è nata dalla problematica innescata dall'eccesso di offerta di CV rispetto alla quota d'obbligo fissata in primo luogo dal DLgs 79/1999 e successivamente definita dal DLgs

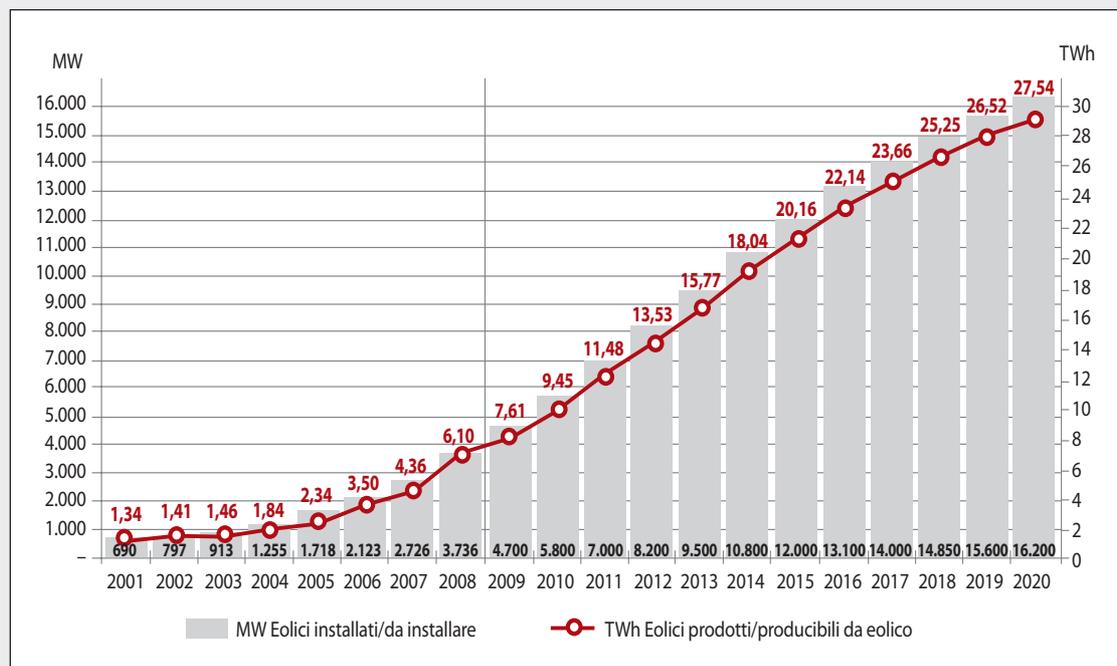


Figura 3
 Prospettive di crescita dell'eolico sulla base degli impegni dell'Italia in sede comunitaria
 Fonte: dati ufficiali TERNA-ANEV fino al 2008; elaborazioni ANEV dal 2009 al 2020

n. 387/2003 e dalla L. 24/2007 (Legge Finanziaria 2008). È prevedibile che tale eccesso di offerta si verifichi anche nei prossimi anni, fino alla definizione degli obblighi futuri che allo stato attuale si definiranno in data successiva al 2012. Si deve tuttavia segnalare che l'attuale sistema garantisce un valore minimo di riacquisto dei CV invenduti da parte del GSE, che di fatto sostiene il valore degli stessi al termine dei tre anni di validità degli stessi.

Al fine di incentivare lo sviluppo del mercato delle Rinnovabili e di completare il quadro stabilizzando il valore di scambio dei CV si dovrebbe tempestivamente giungere a riportare la validità dei Certificati Verdi ad un anno, inserendo possibilmente, in aggiunta al già presente tetto massimo riferito alla somma dei prezzi dell'energia e dei CV di 180 €/MWh, un floor (160 €/MWh).

Risultano inoltre da risolvere le problematiche dell'incentivazione dell'eolico offshore, delle biomasse da filiera corta (dopo l'annullamento del riferimento dei 70 km) e dell'incentivazione del solare dopo il superamento dei 1200 MW. Sul tema il Governo e il GSE hanno dato già dei segnali positivi di voler consentire la prosecuzione delle politiche di sviluppo, ma serve al più presto che vengano codificate e formalizzate per evitare un effetto di ridimensionamento della crescita che oggi il settore sta vivendo. Va inoltre considerato come una delle problematiche fondamentali per lo sviluppo di nuovi impianti riguarda la situazione attuale delle connessioni alla rete elettrica nazionale e il dispacciamento dell'energia elettrica prodotta; tali difficoltà derivano dalla inadeguatezza della rete, che in numerosi contesti risulta non adeguata a supportare un piano di sviluppo di impianti a fonti rinnovabili distribuiti sul territorio, così come invece il nostro Paese si è impegnato a fare in sede comunitaria.

Oltre alle difficoltà di allacciamento di nuovi impianti, risulta spesso problematica l'immissione dell'energia prodotta a causa di congestioni della rete, che può comportare in taluni casi la limitazione della capacità di produzione dell'impianto a scapito dei produttori e dell'intero sistema italiano. A tal fine giova ricordare come la normativa esistente in ambito nazionale e comunitario sottolinei la priorità assoluta nel ritiro dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, l'adeguamento dei sistemi di trasmissione e distribuzione, l'obbligo di connessione prioritaria anche nel caso in cui la rete non sia tecnicamente in grado di ricevere l'energia prodotta, ma possano essere adottati interventi di adeguamento congrui. Si potrebbe prevedere, ad integrazione dell'attuale contesto normativo, la possibilità di una soluzione che consenta l'allacciamento di più impianti ad un unico punto di immissione nella rete.

Sarebbe opportuno inoltre risolvere l'aspetto contraddittorio che vede l'impianto da fonte rinnovabile alimentato da un flusso di energia regolarizzato da un contratto di fornitura assimilabile ad un normale consumatore; il produttore in tal caso si trova a pagare una serie di componenti tariffarie (ad es. gli oneri generali di sistema, o l'onere per i CV), che andrebbero eliminate.

Tutto ciò va necessariamente accompagnato dalla definizione degli obiettivi regionali di produzione da fonti rinnovabili la cui mancanza ad oggi agevola atteggiamenti di ostruzionismo da parte di alcuni Enti Locali. Risulta profondamente articolato e penalizzante l'iter autorizzativo degli impianti, con tempistiche spesso dilatate eccessivamente con conseguenti ingenti perdite economiche.

Sarebbe estremamente utile, al fine di applicare le norme esistenti e garantire organicità di sviluppo dell'intero settore, do-

tare l'Osservatorio nazionale delle rinnovabili di poteri di verifica, controllo e renderlo capace di indicare sanzioni, oltre che soluzioni, ai soggetti a ciò deputati. L'applicazione integrale di tali presupposti, accompagnata da altre indispensabili azioni di sostegno, potrebbe produrre un significativo slancio alla pianificazione e allo sviluppo di nuovi progetti.

A tal proposito risulta indispensabile la definizione delle Linee Guida Nazionali riguardanti gli impianti a Fonti Rinnovabili, così come la ripartizione dell'obiettivo nazionale tra le Regioni (burden sharing), introducendo meccanismi di premio e penalità per le Regioni inadempienti. Sarebbe inoltre opportuno sostenere tali iniziative con una reale semplificazione dell'iter autorizzativo, ampliando l'applicazione del meccanismo del silenzio-assenso e delineando delle linee guida contenute in un Testo Unico delle Rinnovabili al fine di eliminare inefficienze, lacunosità del sistema amministrativo, e chiarire definitivamente procedure e autorizzazioni.

Altro obiettivo da raggiungere risulta quello di eliminare le criticità connesse al commercio delle autorizzazioni; si potrebbe proporre di introdurre meccanismi di garanzia da applicare a quei soggetti che non intendano realizzare direttamente l'impianto.

Resta infine anche da definire la traduzione dell'obiettivo europeo per l'Italia del 17% dei consumi energetici finali al 2020, nelle quote e negli obiettivi quantitativi di elettricità da rinnovabili, di ca-

lore e carburanti. In particolare, quale deve essere la percentuale di elettricità coperta con fonti rinnovabili (30%, 33%, 35% o altra percentuale), a quale produzione corrisponde tale percentuale sulla base dei consumi previsti (nuovi 50, 60 TWh o altri numeri), infine quanto deve essere la quota di importazione di questa elettricità da fonte rinnovabile (la direttiva prevede la possibilità di conteggiare anche le importazioni di elettricità da rinnovabili, ma non indica quote): infatti non si può vietare l'importazione, ma si può, e si deve fissare un obiettivo di produzione nazionale, e richiedere stringenti verifiche sull'effettiva equivalente produzione rinnovabile nel paese che esporta, onde evitare il doppio conteggio della medesima produzione elettrica.

In conclusione, i dati confermano che gli obiettivi Comunitari al 2020 per l'Italia, in termini di produzione elettrica da Fonti Rinnovabili, sono raggiungibili se i vari potenziali verranno sfruttati e l'eolico potrà contribuire in maniera significativa a raggiungerli.

Mancano i decreti di semplificazione delle procedure autorizzative e della ripartizione dell'obiettivo nazionale sulle singole Regioni: se verranno presto emanati e verrà mantenuta la stabilità del meccanismo dei Certificati Verdi, oggi finalmente funzionante grazie al recente Decreto Rinnovabili di fine 2008, che ha risolto le molteplici criticità esistenti, il futuro del comparto potrà fornire gli importanti risultati attesi.

L'energia eolica per il WWF

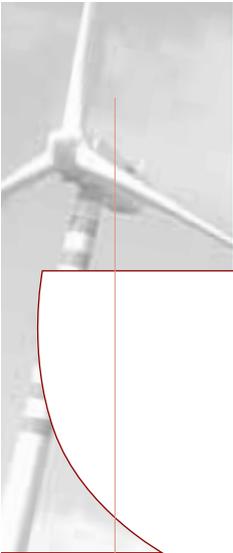
Massimiliano Varriale

WWF Italia

Il WWF ritiene che le centrali eoliche, pur costituendo un'opportunità irrinunciabile per fronteggiare i cambiamenti climatici, possano presentare un rilevante impatto ambientale. È necessario dunque che per la scelta dei siti e per le soluzioni impiantistiche siano previste la VIA e la VAS, attraverso procedure trasparenti con la consultazione di tutti i portatori d'interesse

WWF Position on Wind Energy

WWF believes that wind power plants are an inalienable opportunity to cope with climate change, nonetheless they often have a significant impact on landscape and the environment. It is therefore necessary that site selection and plant solutions be based on EIA and SEA and transparent procedures be adopted by way of consultations with all the stakeholders



Energia e cambiamenti climatici

I cambiamenti climatici costituiscono una delle maggiori sfide ambientali del XXI secolo. Come indicato anche dal IV Rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)¹, le ricerche scientifiche sul cambiamento climatico e i suoi impatti dimostrano come il riscaldamento globale sia già una realtà dei giorni nostri, destinata ad accentuarsi in futuro. Inoltre, il IV Rapporto dell'IPCC lascia pochi dubbi sulla responsabilità umana: "L'incremento globale della concentrazione di biossido di carbonio è principalmente dovuto all'uso di combustibili fossili e ai cambiamenti nell'utilizzo dei suoli, mentre gli incrementi di metano e protossido di azoto sono principalmente dovuti all'agricoltura".

Le ricerche scientifiche sul cambiamento climatico e i suoi impatti, pubblicate dopo il IV Rapporto dell'IPCC, rivelano che il cambiamento climatico sta procedendo a un ritmo molto più veloce delle previsioni stesse. Ciò implica che le nostre risposte nei confronti della mitigazione (riduzione significativa delle emissioni) e dell'adattamento al cambiamento climatico, devono essere ancora più rapide e ambiziose. La sfida che abbiamo di fronte è, quindi, veramente epocale e straordinaria e richiede il meglio delle nostre capacità scientifiche, tecnologiche, di innovazione e di volontà di cambiamento per fornire alle nostre società nuovi percorsi di sviluppo socio-economico realmente diversi rispetto ai modelli attuali.

Secondo la comunità scientifica internazionale, per evitare che l'aumento delle temperature medie terrestri raggiunga i 2 °C, rispetto al periodo pre-industriale, livello in cui i principali impatti entrerebbero in una fase di rischio elevato, per esten-

sione e intensità, e alcuni cambiamenti negli schemi di circolazione oceanica e atmosferica rischierebbero di divenire irreversibili, sarebbe necessario che le emissioni di gas serra prodotte dalle attività umane venissero ridotte di almeno l'80% entro il 2050.

L'Unione Europea si è data come tappa intermedia il raggiungimento, entro il 2020, di una riduzione delle emissioni di gas serra del 20%, portato al 30% in caso di un accordo internazionale sul clima. Si è prefissata, al contempo, come obiettivi strategici di accompagnamento, la riduzione dei consumi energetici del 20% (rispetto al 2005), attraverso il miglioramento dell'efficienza, e una quota di produzione da fonti rinnovabili del 20%.

Il WWF ritiene che, per raggiungere l'obiettivo del 2050, si debba decisamente puntare a una riduzione delle emissioni di gas serra almeno del 30% entro il 2020.

L'obiettivo al 2050 appare pressoché impossibile da raggiungere all'interno dell'attuale struttura economica e tecnologica, fondata sulla disponibilità di energia fossile e su un elevato e crescente utilizzo di materie prime non energetiche². Una riduzione delle emissioni dell'80% presuppone una ridefinizione del benessere, degli stili di vita e degli obiettivi economici e sociali, secondo i principi della sostenibilità. In questa prospettiva vanno dunque pensati gli interventi relativi agli obiettivi al 2020, che non devono essere semplici aggiustamenti per far tornare gli impegni su un piano strettamente contabile, strategia difficile, onerosa e senza ricadute positive per il futuro, ma devono costituire i primi passi di quella trasformazione in grado di portarci al 2050 con una organizzazione economica sostenibile, che produce benessere, utilizzando la minor quantità possi-

1. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Paris, February 2007.

2. Cambiamenti climatici, ambiente ed energia. Linee guida per una strategia nazionale di mitigazione e adattamento. WWF Italia Onlus, marzo 2009.

bile di energia e materia, e basata su risorse rinnovabili.

Per affrontare la minaccia dei cambiamenti climatici, il WWF ritiene che occorra rivedere completamente l'attuale modello energetico operando una drastica riduzione dei consumi, migliorando fortemente l'efficienza energetica in tutti i settori, compresa quella della generazione e distribuzione di energia elettrica; allo stesso tempo sarà necessario incrementare massicciamente l'utilizzo delle fonti rinnovabili e fare rotta verso un modello di generazione distribuita fondata sempre più su reti intelligenti e flessibili (*smart grid*³). L'energia in futuro dovrà essere "prodotta" nelle forme e nei modi in cui realmente serve e dove effettivamente è necessaria.

Tutto ciò dovrebbe portare, entro la metà del secolo, a una riconversione economica e tecnologica fondata sull'utilizzo prevalente di fonti energetiche rinnovabili. Tale riconversione sarà resa peraltro obbligatoria, non solo dalla necessità di contrastare il riscaldamento globale, ma anche dal progressivo esaurimento dei combustibili fossili. Petrolio, gas e carbone sono risorse limitate e, seppur in tempi leggermente diversi, raggiungeranno un picco (secondo alcuni scienziati per il petrolio il picco sarebbe già avvenuto...) e poi inesorabilmente la loro produzione inizierà a decrescere secondo i tipici diagrammi a campana che connotano l'andamento dell'utilizzo delle fonti esauribili (siano esse energetiche o di altre materie prime naturali non rinnovabili).

Per un futuro più sostenibile, occorrerà operare anche un'equa redistribuzione delle risorse fra tutti gli abitanti della Terra, contrariamente a quanto accade oggi.

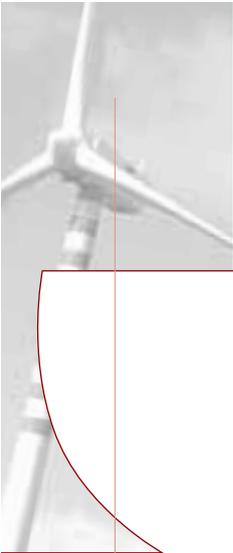
Accanto a questi problemi, va ricordata anche la via attraverso la quale essi possono essere risolti e sulla quale è possibile pog-

giare con fiducia il nostro futuro: la Terra, nel suo vagare nell'universo, è sempre accompagnata dal Sole, che ci rifornisce di energia. L'energia solare è inesauribile, perché il Sole brillerà ancora per miliardi di anni; è abbondante, perché in un'ora ne arriva una quantità pari a quella che l'umanità consuma in un anno; possiede, infine, il grande pregio di essere diffusa abbastanza equamente su tutta la Terra. L'uso dell'energia solare permetterà di ridurre, fino a eliminare completamente, il consumo di combustibili fossili, di riciclare le risorse che si vanno esaurendo (per es., i metalli) e, forse, di creare un mondo più giusto e più pacifico.

La transizione dall'uso dei combustibili fossili a quello dell'energia solare e delle altre energie rinnovabili richiederà però molto tempo per motivi tecnici, sociali, economici e politici. In questo lungo periodo di transizione è necessario limitare i danni che l'uso dei combustibili fossili causa all'ambiente e, in particolare, al clima del nostro pianeta. È necessario, quindi, ridurre drasticamente gli sprechi e aumentare l'efficienza nell'uso dell'energia e delle altre risorse non rinnovabili.

Purtroppo ogni richiamo a minori sprechi e consumi, cominciando da quelli energetici, contrasta con l'idea oggi dominante, portata avanti da molti economisti e fatta propria dalla maggior parte dei politici, secondo la quale è necessario produrre sempre di più, non importa se si tratta di cose utili, inutili o addirittura dannose. Prima o poi, però, tutti dovranno rassegnarsi all'idea che esiste il Secondo Principio della Termodinamica. Quindi, così come è impossibile creare il moto perpetuo, è anche impossibile avere una continua crescita dei consumi in un mondo che ha risorse limitate. Finché non sarà vinta questa battaglia contro l'ignoranza, continuerà lo spreco delle

3. Reti di distribuzione dell'energia ad alta efficienza, dette "intelligenti" nel senso che sono in grado di distribuire con continuità agli utenti energia da fonti discontinue proveniente da una molteplicità di piccoli e medi impianti.



risorse e il disprezzo dei limiti stessi della biosfera. Il nostro modello, fondato su risorse non rinnovabili, ha funzionato dall'introduzione della macchina a vapore, con la conseguente rivoluzione tecnologica e industriale, fino a oggi, ma non ha futuro, o meglio, ha un futuro limitato a pochi decenni per alcune risorse, a qualche decennio in più per altre. Si tratta di un modello che sta correndo spedito verso la sua fine; dal momento che il suo obiettivo è la crescita quantitativa dei consumi e della produzione, più realizza i suoi obiettivi e più accorcia il suo tempo di vita.

Nel 2006 è stato pubblicato un aggiornamento dello storico rapporto sui limiti dello sviluppo, redatto dal *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) per il Club di Roma, che conferma quanto sostanzialmente già previsto nel primo studio del 1972⁴. Il rapporto rivela che nei prossimi anni – in mancanza di un'adeguata inversione di rotta – l'aumento dell'inquinamento, l'eccessivo sfruttamento dei suoli agricoli e delle risorse idriche, la contaminazione chimica e la crisi climatica porteranno in pochissimi anni prima al declino e poi al crollo della produzione alimentare mondiale. Si prevede che, entro il 2020, avvenga anche un crollo della produzione industriale, dovuto principalmente al costo crescente di risorse sempre più scarse. Lo scenario entro la metà del secolo è quello di una crisi globale drammatica che porterà anche al crollo della popolazione mondiale (dopo che avrà comunque superato i 9 miliardi nel 2050) e al declino della civiltà industriale.

In questa prospettiva la fonte energetica quantitativamente e qualitativamente più promettente, in prospettiva, è quella solare, disponibile ovunque e pertanto sfruttabile utilizzando aree già antropizzate, senza interferire con le aree biologicamente produttive.

Purtroppo tale fonte, per produrre elettricità attraverso la conversione fotovoltaica, presenta ancora dei costi elevati, ma si ritiene che potrà raggiungere la competitività nei prossimi decenni. È questo il motivo per cui, per riportare su un binario compatibile con l'emergenza climatica un mercato in cui il processo di liberalizzazione rischia addirittura di favorire un utilizzo massiccio del carbone, e un poco utile ritorno al nucleare, è necessario sviluppare oggi gli impianti eolici, una fonte rinnovabile attualmente in grado di competere in questo discutibile processo di liberalizzazione che ancora esclude dai suoi calcoli le esternalità ambientali e socio-sanitarie, comprese le emissioni di gas-serra.

L'energia eolica sfruttabile in centrali di grande potenza è disponibile solo in limitate aree del territorio; in Italia, i campi eolici di maggiore interesse sono stati identificati sulla dorsale appenninica, nelle isole e lungo le coste sud orientali della penisola; attualmente limitata considerazione è stata ancora data alle potenzialità offshore a causa dei costi più elevati di installazione. In entrambi i casi, l'impatto ambientale e paesaggistico non può essere trascurato.

Tuttavia, come dicevamo, l'energia eolica costituisce un'opportunità irrinunciabile per fronteggiare la minaccia dei cambiamenti climatici.

Nel 2008, l'Italia ha prodotto oltre 6 TWh di elettricità da fonte eolica in grandi impianti e potrebbe arrivare, entro il 2020, a 27,2 TWh (circa 2,3 Mtep). Fra il 2020 e il 2030 si potrebbe cominciare a esplorare il grande potenziale dei venti di media e bassa intensità con piccoli impianti integrati con altre rinnovabili nelle *smart grid* previste.

Già oggi gli impianti mini e micro eolici dovrebbero e potrebbero trovare una massiccia diffusione su un territorio come quello italiano, questo grazie all'eterogeneità

4. Meadows D., Meadows D., Randers J., *I nuovi limiti dello sviluppo*, Mondadori, 2006.

e adattabilità delle differenti macchine, alla possibilità di localizzazioni spesso scomode per il grande eolico: es. i parchi e le aree protette, ma anche gli edifici isolati, le aziende agricole, le piccole isole, gli ambienti urbani ecc.

Ecocompatibilità degli impianti eolici

La rinnovabilità di una fonte di energia non può essere necessariamente sinonimo di compatibilità ambientale: basti pensare all'impatto dei grandi bacini idroelettrici e dei campi geotermici. A fronte di un incontestabile beneficio ambientale globale derivante da un loro utilizzo in sostituzione delle fonti fossili, l'impatto locale, anche di fonti come quella solare e quella eolica, può essere molto rilevante e dipende dalle scelte progettuali. Per alcune fonti come le biomasse, la rinnovabilità stessa dipende dalle modalità del loro utilizzo e occorre effettuare corretti bilanci energetici e di carbonio, pena ritrovarsi con una cura peggiore del stesso male ... L'impatto ambientale va valutato in tutte le fasi del ciclo di vita di questi impianti, secondo lo schema seguente suggerito dal WWF UK⁵, seguendo tre tipi di considerazioni:

Temporalità

- Pre-installazione
- Costruzione
- Esercizio
- Decommissioning.

Spaziali

- Area interna al sito/area esterna di rispetto/area d'influenza
- Elettrodotti
- Strade di accesso al sito
- Aree di ancoraggio (per gli impianti offshore)
- Altro (costruzioni di servizio, magazzini ecc.).

Cumulative

- In combinazione con altri impianti
- In combinazione con altri progetti/attività
- Extra-ordinarie.

Tipo d'interessi naturalistici coinvolti nel caso degli impianti offshore

Diretti

- Trasporto di sedimenti
- Habitat marini
- Specie bentoniche
- Specie acquatiche mobili (pesci e mammiferi)
- Specie acquatiche sedentarie e coralligene
- Uccelli

Indiretti

- Processi costieri
- Habitat costieri e specie associate
- Uccelli

Nella tabella seguente si riportano schematicamente gli impatti che andrebbero valutati sia per gli impianti su terra che per quelli offshore. A questi impatti vanno aggiunti quello sul paesaggio e quello relativo al cambiamento dell'uso del suolo, ed in mare quello dovuto alle restrizioni alla navigazione ed alla pesca.

La posizione del WWF

Il WWF è consapevole che le centrali eoliche, pur potendo avere un rilevante impatto paesaggistico e un non trascurabile impatto ambientale a livello locale, costituiscono tuttavia un'opportunità irrinunciabile per fronteggiare i cambiamenti climatici; questa è una priorità fondamentale della missione del WWF internazionale per la protezione dell'ambiente globale dell'intero pianeta.

Il WWF Italia, coerentemente con la posizione del WWF Internazionale, ha ritenuto strategicamente che l'energia eolica, insieme alla stabilizzazione dei consumi ener-

5. English Nature, RSPB, WWF-UK, BWEA, *Wind farm development and nature conservation*, March 2001.

Possibili impatti	su terra	off-shore	attività
Perdite dirette di habitat (siti, elettrodotti, ormeggi) ed impatti biologici associati (riduzione della biodiversità, perdita di habitat alimentari e riproduttivi)			c/e
Danneggiamento di habitat (sito, elettrodotti, ancoraggi) ed impatti biologici associati (riduzione della biodiversità, perdita di habitat alimentari e riproduttivi)			p/c/e/d
Introduzione di nuovi substrati/habitat			c/e
Interferenza con processi geologici/geomorfolologici			c/e
Interferenza con processi idrologici			c/e
Interferenza con i processi costieri (erosione)			c/e
Interferenza con il trasporto di sedimenti			c/e
Inquinamento da sostanze usate nelle apparecchiature elettromeccaniche			p/c/e/d
Perturbazioni nei sedimenti			c/d
Disturbo alle specie mobili (mammiferi, uccelli, pesci, includendo migrazione, riproduzione, alimentazione)			
1. effetto ombra delle pale	x	x	c/e
2. rumore	x	x	c/e/d
3. vibrazioni	x	x	c/e
4. riflessi di luce		x	c/e
Collisione con gli uccelli (stanziali e migratori)			e
Collisione con chiropteri			e
Infrastrutture associate			
1. accesso (strade, ancoraggi)	x		p/c/e/d
2. centri per visitatori	x		c/e/d
3. elettrodotti	x		c/e
4. protezione costiera	x	x	c/e/d
Trasformazione del paesaggio*			
Movimento di veicoli /imbarcazioni			p/c/e/d
Svalutazione turistica			e ?
Restrizioni alla pesca			c/e/d
Restrizioni alla circolazione e navigazione			c/e/d

LEGENDA: p = pre-installazione, c = costruzione, e = esercizio, d = decommissioning, = pertinenza

* Gli impatti paesaggistici nel presente lavoro sono stati considerati.

Fonte: WWF 2002, integrato e modificato

getici grazie al risparmio e all'efficienza, anche ricorrendo a centrali a metano di piccolissima taglia (<1 MW) in assetto cogenerativo/trigenerativo per la produzione di elettricità e calore/raffrescamento, rappresentino un passaggio obbligato irrinunciabile verso una economia sostenibile fondata sulle fonti rinnovabili, solare in primis.

Il WWF ovviamente ritiene che tutte le considerazioni sugli impatti ipotizzabili sopra esposti, ivi compresi quelli relativi alle infrastrutture di servizio agli impianti, debbano essere attentamente valutate nella scelta dei siti e delle soluzioni impiantistiche, e debbano essere parte integrante di una attenta Valutazione di Impatto Am-

bientale (VIA). La scelta del tipo di turbina (tipo e numero di pale e potenza/dimensioni), della potenza complessiva dell'impianto (numero di turbine), deve comunque rendere minimi gli impatti ipotizzati. In questo quadro vanno comunque prese in esame tutte le eventuali localizzazioni che possano minimizzare l'impatto complessivo.

In coerenza con la posizione ufficiale del WWF Internazionale, in cui si dichiara che "lo sviluppo degli impianti eolici offshore non deve essere ritardato nell'attesa che siano identificati e risolti tutti i potenziali problemi", principio valido anche per gli impianti sulla terraferma, il WWF Italia si è dichiarato disponibile a collaborare con gli enti nazionali preposti, gli Amministratori Locali, le imprese del settore e gli altri soggetti interessati nella scelta dei siti più idonei, senza ostacolare la diffusione di questa fonte energetica, nei casi in cui l'impatto valutato non comporti un effettivo danno in aree di elevato pregio naturalistico o paesaggistico. Gli impianti realizzati potrebbero costituire occasioni di verifica e di approfondimento scientifico preventivo sugli impatti, che devono impegnare tecnicamente e finanziariamente imprese e Pubbliche Amministrazioni secondo modalità definite come parte integrante dell'atto stesso di autorizzazione. Il WWF ritiene che debbano essere svolte sia una Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) sia una Valutazione Ambientale Strategica (VAS) e che entrambe debbano essere operate attraverso procedure pienamente trasparenti con la consultazione di tutti i portatori d'interesse. Tale valutazione deve essere svolta all'interno di un Piano Energetico Regionale che consenta di ridurre, anche attraverso le scelte eoliche proposte, le emissioni regionali di gas serra, coerentemente con gli obiettivi nazionali contenuti nel Protocollo di Kyoto e in quelli, ancora più ambiziosi, previsti per

il post 2012 già individuati dall'Unione Europea.

Si richiede anche che le operazioni di *de-commissioning*, da garantire con impegno fidejussorio nell'atto autorizzativo, contengano gli interventi di ripristino del sito o riutilizzo dello stesso per la realizzazione di un nuovo impianto eolico.

Per non ritardare i programmi di diffusione dell'energia eolica, il WWF aveva invitato il Ministero dell'Ambiente a dettare, nel più breve tempo possibile, di concerto con il Ministero dei Beni Culturali e Ambientali, e attraverso un aperto confronto con le associazioni ambientaliste, le linee guida per la localizzazione degli impianti, comprendenti anche le aree naturalisticamente e paesaggisticamente d'interesse nazionale da escludere a priori, e i criteri di definizione della VIA e della VAS con le relative procedure che ne garantiscano la totale trasparenza. Purtroppo nulla di tutto ciò è accaduto: l'assenza di una chiara regolamentazione nazionale di riferimento ha spinto molte Regioni a predisporre propri strumenti (leggi, linee guida, regolamenti) per tentare di gestire il fenomeno. Il quadro che ne è emerso è a dir poco caotico ed eterogeneo e non ha certo facilitato uno sviluppo armonico e sostenibile degli impianti eolici. Tutto ciò non ha peraltro contribuito a far migliorare il livello di accettazione da parte delle comunità locali che, il più delle volte, si oppongono alla realizzazione degli impianti.

È in questo difficile scenario che nel 2005 il WWF e l'ANEV (l'Associazione Nazionale Energia del Vento) avevano stipulato uno specifico Protocollo d'intesa in cui si concordava sull'esigenza che il processo di diffusione di tale fonte energetica fosse gestito in modo da ridurre al minimo gli impatti sul territorio e sulla biodiversità, con l'osservanza di alcuni specifici criteri contenuti nel Protocollo stesso. L'accordo è scaduto nel 2007.

Linee guida eolico & biodiversità

Negli ultimi anni il WWF, anche per far fronte alla confusa situazione normativa presente nel nostro Paese e all'assenza di corrette procedure, aveva prodotto e, recentemente, aggiornato le proprie **Linee Guida "Eolico e Biodiversità"**⁶, con il preciso intento di fornire uno strumento tecnico-scientifico che, se applicato, permetta di ridurre i potenziali impatti degli impianti eolici sulla biodiversità. Il documento vuole fornire indicazioni e prescrizioni affinché la realizzazione degli impianti eolici industriali possa essere subordinata alla corretta e rigorosa valutazione degli impatti sulle componenti della biodiversità presenti a scala locale.

I principi esposti nel documento non si applicano al micro e mini eolico, cioè agli impianti che possono essere considerati di autoproduzione (utenze domestiche e piccole imprese) o di modesta capacità produttiva, il cui impatto sulla biodiversità è ritenuto sostanzialmente non significativo. Le linee guida WWF non affrontano le questioni legate all'impatto paesaggistico, aspetto che si è ritenuto dover essere affrontato attraverso la definizione di specifiche linee guida. Il lavoro del WWF ha previsto la realizzazione di alcune carte di sintesi che rappresentano uno strumento orientativo per la verifica delle aree da considerarsi precluse o non precluse a priori ai fini dell'installazione d'impianti eolici industriali.

Si è stabilito di suddividere il territorio italiano in 4 categorie di aree:

1. Aree precluse ad impianti industriali;
2. Aree (ZPS e IBA) idonee a ospitare impianti industriali di media potenza (fino a una potenza massima di 30 MW e con un numero massimo di 20 pale per 100 km²), previa verifica dei criteri contenuti nel documento "Manuale per la gestione di ZPS e IBA" (LIPU-BirdLife Italia, 2005);
3. Aree idonee a ospitare impianti industriali di media potenza (fino a una potenza massima di 30 MW e con un numero massimo di 20 pale per 100 km²);
4. Aree non precluse ad impianti industriali.

Le aree PRECLUSE a impianti industriali rientrano nelle seguenti categorie:

- Riserve Naturali dello Stato e Regionali;
- Aree Ramsar;
- Zone Umide Costiere;
- SIC (Siti di Importanza Comunitaria) contenenti tipi di habitat considerati a minaccia "Alta" e "Medio-Alta" (Libro Rosso WWF; Petrella et al., 2005);
- Zone A e B previste dai piani di Gestione delle aree protette (non inserite nelle carte poiché non cartografabili) in base all'art.12 della legge 394/91.

Gli impianti eolici devono inoltre rispettare una distanza lineare di almeno 10 km rispetto a installazioni analoghe. Il WWF Italia ritiene realizzabile l'insediamento d'impianti eolici, nelle aree non precluse, solo in presenza di una analisi degli impatti sulla biodiversità di quel particolare impianto, redatto in maniera rigorosa ed approvato da un organo competente ed autorevole. Le linee guida del WWF e le prescrizioni in esse contenute non sono sostitutive rispetto alle procedure stabilite per legge, quali la VIA (Valutazione d'Impatto Ambientale), la VAS (Valutazione Ambientale Strategica) e la VI (Valutazione d'Incidenza). Il documento sottolinea anche l'importanza di una corretta attività di monitoraggio da svolgere sia nelle fasi di cantiere che in quelle di esercizio dell'impianto. Infine nelle linee guida si considerano brevemente alcuni aspetti inerenti le garanzie fideiussorie e i criteri di ripristino (*decommissioning*) o riutilizzo del sito per ammodernamento degli impianti (*rewamping* ed eventuale *repowering*). Nelle mappe delle Linee guida, il motivo dominante e che ha guidato le scelte operative è stato l'uso della potenza installata come indicatore d'impatto, partendo dalla semplice considerazione che impianti di maggiore potenza (maggiore numero di aerogeneratori) hanno sicuramente un impatto proporzionalmente maggiore rispetto agli impianti di minori dimensioni. La suddivisione nelle 4 tipologie di aree, precedentemente illustrata, riprende, per quello che riguarda le categorie di potenza impiantistica, la posizione già espressa dal WWF Italia (WWF 2002) e consente di costruire delle mappe di riferimento utilizzando degli indica-

6. Eolico & Biodiversità: Linee guida per la realizzazione di impianti eolici industriali in Italia – WWF Italia Onlus, gennaio 2009.

tori di impatto sensibili, discreti e condivisi, quali le aree protette, le zone di concentrazione dei migratori ecc. (figura 1). La mappa dell'Italia risulta quindi suddivisa in quattro differenti campiture contraddistinte da colori diversi in funzione del grado di idoneità ad ospitare impianti eolici sulla base della potenza installata. L'idoneità è misurata in funzione degli impatti potenziali.

Le aree sono suddivise e colorate in funzione delle categorie suddette:

- per le aree precluse alla realizzazione d'impianti eolici industriali;
- per le aree (ZPS e IBA) idonee ad ospitare impianti eolici industriali di media potenza (fino ad una potenza massima di 30 MW e con un numero massimo di 20 pale per 100 km²), la cui attribuzione è subordinata all'applicazione dei criteri contenuti nel documento "Manuale per la gestione di ZPS e IBA" (LIPU-BirdLife Italia, 2005);
- per le aree idonee ad ospitare impianti eolici industriali di media potenza (fino ad una potenza massima di 30 MW e con un numero massimo di 20 pale per 100 km²);
- per le aree non precluse all'installazione di impianti di grande potenza (oltre 30 MW).

La mappa risultante è pertanto la sintesi della sovrapposizione dei quattro strati individuati. I quattro strati risultano indipendenti e non è stata effettuata alcuna elaborazione supplementare nelle aree di sovrapposizione. Questo equivale a dire che la coesistenza di più strati in una stessa area non conferisce a essa alcun valore aggiuntivo.

Allo stesso modo, i singoli strati sono il risultato della fusione di temi diversi indipendenti ed equipotenti; le sovrapposizioni, anche in questo caso, non sono state considerate.

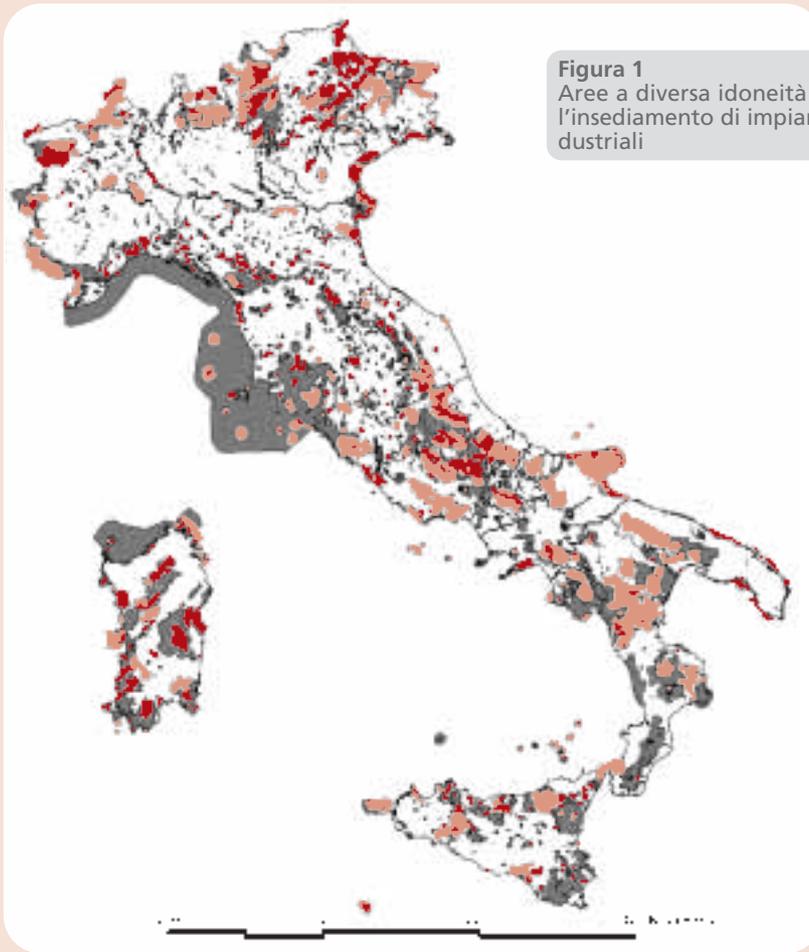


Figura 1
Aree a diversa idoneità rispetto all'insediamento di impianti eolici industriali

Sistemi complessi simulati attraverso la *modellazione ad agenti* I flussi pedonali nelle stazioni della metropolitana

Alessandro Pannicelli*
Carlo Liberto**

* ENEA, Dipartimento Tecnologie per l'Energia,
le Fonti Rinnovabili e il Risparmio Energetico

** Consorzio TRAIN

*Esaminare e modellare le
dinamiche dei flussi di persone
all'interno delle stazioni della
metropolitana è fondamentale
per elaborare nuovi criteri di
sicurezza per la progettazione
delle stazioni, e per la gestione
delle situazioni ordinarie e
critiche*

Complex Systems Simulation through *agent based modelling*: Pedestrian flows in underground stations

*Investigating and modelling pedestrian flows in
underground stations is essential to improve safety criteria
in stations designing and in order to manage ordinary
and critical situations, simulating the human behaviour
in such situations*

Scenari di mobilità: complessità e metodologie di studio

L'analisi della sicurezza nei flussi di traffico, sia di veicoli che di persone, è diventato un tema di primaria importanza nello studio dei sistemi di trasporto, al punto che si è reso necessario il coinvolgimento di strumenti innovativi in grado di esaminare la mobilità come fenomeno complesso.

Nell'ottica di studiare la mobilità, con particolare riferimento alla sicurezza in galleria, è stato promosso un progetto denominato SITI (*Sicurezza nel Tunnel Intelligente*), a cui partecipano diverse università ed enti di ricerca. In tale progetto è stata posta particolare attenzione alla stazione della linea di trasporto metropolitana, in quanto anticamera di ciò che avviene in galleria e quindi fonte di informazione sulle presenze umane in quei tratti. Nel presente articolo affronteremo il problema dello sviluppo di modelli di flussi pedonali all'interno di strutture edificate, quali gli snodi di trasporto di una stazione della metropolitana, applicabili sia in condizioni ordinarie che in situazioni di elevata criticità, come gli scenari incidentali o la propagazione di panico di massa.

Ricreare la dinamica pedonale vuol dire comprendere le cause principali che la determinano, in modo da poter simulare aspetti specificatamente legati alla non-linearità intrinseca del fenomeno della mobilità.

La piattaforma software utilizzata affronta le tematiche concernenti il comportamento pedonale in determinate condizioni ambientali tipiche degli ambienti chiusi e circoscritti ed è stata sviluppata attraverso l'utilizzo di strumenti di simulazione ad "agenti autonomi". Un agente autonomo (*pedone*) rappresenta un'unità dotata di

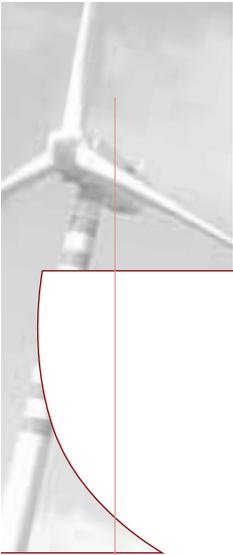
percezione (informazioni ricevute dall'ambiente in base alle particolari *proprietà sensoriali*), ragionamento (*data processing*), ed autonomia (capacità di *compiere azioni* per realizzare determinati obiettivi).

La maggior parte degli studi relativi alla sicurezza nei luoghi pubblici utilizza strumenti di analisi tradizionali che si concentrano principalmente sulle capacità strutturali degli ambienti, mediante relazioni tra densità e velocità media dei pedoni, per fornire un dato essenzialmente statistico. Simili studi risentono di una visione statica del fenomeno, tralasciando la natura della dinamica pedonale, strettamente connessa ai comportamenti individuali e/o collettivi che possono manifestarsi in particolari situazioni "critiche" come, ad esempio, in fase di congestione o di evacuazione.

D'altro canto, nell'ultimo ventennio sono stati compiuti passi importanti nella modellazione delle dinamiche comportamentali (*walking behaviour*), individuando nei sistemi ad agenti autonomi la scelta più appropriata al fine di cogliere, al contempo, aspetti di natura microscopica ed elementi di caoticità.

Lo studio delle dinamiche comportamentali risale già ai primi anni cinquanta spaziando dalla teoria dei giochi (Von Neumann e Morgenstern, 1944) a quella decisionale (Domenich e Mc. Fadden, 1975), fino ai modelli di diffusione (Coleman, 1964; Bartholomew, 1967). Solo di recente tuttavia, con l'avvento della teoria del caos, si è cominciato ad inquadrare la mobilità pedonale come fenomeno complesso.

Un enorme contributo da questo punto di vista è stato senz'altro apportato da Dirk Helbing attraverso il cosiddetto "modello a forze sociali"^[1] che si basa su una descrizione probabilistica del comportamento



degli individui di un'intera popolazione (*gas-kinetic pedestrian model*). Nel modello proposto da Helbing le azioni degli individui sono guidate da quantità vettoriali interpretabili come "campi sociali", quantità che contemplano tutte quelle influenze e interazioni che possono essere considerate rilevanti nel cambiamento di un determinato comportamento (opinioni pubbliche, regole sociali, *trend* ecc).

Keith Still^[2] ha inoltre messo in luce come le linee guida nell'amministrazione della sicurezza e nella progettazione di spazi pubblici possano risultare inadeguate in numerosi casi (in particolare in condizioni di alte densità), attraverso un sistema basato su automi cellulari mobili, ovvero un reticolo spaziale in cui lo stato di una cella ad un certo istante dipende dallo stato della cella stessa e dagli stati delle celle vicine all'istante precedente.

Altri modelli di carattere macroscopico stanno infine ottenendo notevoli successi nelle simulazioni su larga scala come, ad esempio, quelle che trattano l'analisi del traffico veicolare o lo studio della mobilità all'interno di un'intera città^[3].

Nonostante la varietà di modelli presenti in letteratura, c'è comunque una uniformità di scelta nella tecnologia della modellazione ad agenti. Tale scelta consente infatti di operare in un ambiente dinamico e imprevedibile attraverso la definizione di "oggetti-individui" (agenti) in grado di manifestare caratteristiche di reattività ed autonomia ed al contempo di sviluppare comportamenti globali complessi mediante semplici interazioni locali. La reattività di tali agenti può anche cambiare nel tempo, dando luogo a un processo di apprendimento che determina una vera e propria evoluzione della popolazione in esame (*agenti evolutivi*).

È bene sottolineare che l'utilizzo di tale approccio trascende lo specifico ambito pedonale, trovando applicazione in svariati settori come quelli dell'economia, della

sociologia e della biologia, ed in generale in tutte quelle situazioni in cui si debbono affrontare problemi che coinvolgono strutture variamente complesse o criteri decisionali molto articolati.

L'approccio proposto è dunque di tipo *bottom-up* (studiare un fenomeno a partire dagli elementi base che lo compongono) e mira a ricostruire le caratteristiche del sistema come fenomeni emergenti dall'interazione di un gran numero di elementi, esibendo un grado di complessità maggiore di quello mostrato ai livelli più bassi.

Lo sviluppo di un simulatore per la descrizione di tali fenomenologie ha lo scopo di riprodurre i macrocomportamenti che si possono evidenziare sia in condizioni ordinarie che incidentali. L'obiettivo è quello di migliorare l'analisi della sicurezza nella fase progettuale, di effettuare verifiche su strutture esistenti e, infine, di utilizzare il modello in questione come base di sviluppo di un sistema di supervisione in grado di gestire la sicurezza dell'intera stazione. L'aspetto principale, quindi, non è tanto quello di riuscire a descrivere in forma di algoritmo il comportamento del singolo utente, quanto predisporre uno strumento che possa evidenziare gli effetti globali dovuti all'interazione della totalità di persone presenti in un determinato ambiente. Viste le caratteristiche richieste al simulatore, è stata individuata una strategia: l'utilizzo di un ambiente di vita artificiale in cui gli attori principali sono implementati tramite algoritmi basati su "agenti autonomi".

I simulatori di *Vita Artificiale* consistono di una collezione numerosa di semplici unità di base che producono delle proprietà interessanti se osservate a livelli più alti. In letteratura uno dei fenomeni più studiati per evidenziare proprietà emergenti è quello della cooperazione sociale osservabile nelle colonie di formiche. Possiamo considerare la singola formica come un essere non "particolarmente intelligente", o meglio

che non manifesta di per sé un comportamento particolarmente complesso, eppure l'interazione fra molte formiche dà luogo ad un'organizzazione sociale estremamente complessa ed efficiente; non a caso da essa sono nati una tipologia di algoritmi ormai molto noti in letteratura come *ant system*.

Si può a questo punto introdurre un altro concetto particolarmente importante in questo contesto: l'*auto-organizzazione*. L'*auto-organizzazione* è la proprietà manifestata da alcuni sistemi complessi formati da molteplici elementi che, interagendo tra loro, sono in grado sviluppare strutture ordinate da situazioni caotiche. Questi sistemi sono capaci di esibire organizzazione e strutturazione, facendo crescere la complessità interna anche quando i singoli elementi del sistema si muovono in modo autonomo ed in base a regole puramente locali.

Modelli sociali ed auto-organizzazione: il modello proposto

Nonostante, come già accennato in precedenza, lo spostamento di persone sia un fenomeno altamente complesso, si possono individuare alcune caratteristiche generali e riassumerle nelle seguenti affermazioni:

1. I pedoni tendono a mantenere la direzione desiderata di movimento anche in casi di sovraffollamento; inoltre, varie osservazioni mostrano che il tragitto scelto è normalmente il più veloce e non il più corto^[4]. Eventuali deviazioni possono essere prese in considerazione al fine di ridurre lo sforzo o aumentare il comfort di viaggio^[5].
2. Le velocità medie osservate nei pedoni in movimento dipendono dal particolare contesto e da numerosi fattori, quali l'età, il sesso, lo scopo del viaggio^[6]; nonostante ciò, ciascuna persona tende ad

assumere una propria velocità "congeniale" e la distribuzione di tali velocità è gaussiana con media 1,34 m/s e deviazione standard 0,26 m/s^[7].

3. I pedoni tendono a mantenere una "distanza di crociera" da altri pedoni o da eventuali ostacoli, come i muri o le colonne^[8]; tale distanza, peraltro, può dipendere da vari parametri, ad esempio la densità locale o la presenza di particolari zone d'attrazione.
4. Persone non in movimento, come ad esempio quelle in attesa in banchina dell'arrivo di un treno, sono di norma distribuite uniformemente; persone che si conoscono possono spostarsi in gruppo e manifestare un moto collettivo; la grandezza di tali gruppi segue la distribuzione di Poisson^[9].

Le precedenti considerazioni sono il frutto di numerosi studi compiuti attraverso l'utilizzo di vari strumenti, primo fra tutti l'analisi video di folle in movimento. Questi stessi strumenti hanno inoltre mostrato la formazione spontanea di *pattern* (configurazioni, strutture) che suggeriscono analogie con sistemi fluidodinamici e che si manifestano come effetti di *auto-organizzazione* utili, come vedremo in seguito, alla validazione del modello.

Attraverso tali informazioni è stato possibile costruire un *modello di forze* (intese come quantità vettoriali che producono variazioni di comportamento) per il movimento dei pedoni, ed inserire le regole di condotta dei pedoni stessi in un'equazione di moto. Le suddette forze, come anticipato, non devono essere intese in "senso classico", ma possono essere interpretate come le *motivazioni sociali* degli individui a compiere una determinata azione.

Per chiarire la filosofia che si cela dietro le cosiddette *forze sociali* supponiamo di essere un pedone all'ingresso di una stazione della metropolitana. Supponiamo inoltre di conoscere la planimetria della stazione. A questo punto il nostro moto sarà condi-

zionato da una serie di forze, la prima delle quali sarà l'attrazione verso una determinata area (il tornello di ingresso ad esempio, o le banchine o l'uscita della stazione), la forza principale che cercherà di condurci verso il nostro obiettivo spaziale con una certa "velocità propria desiderata". Successivamente subiremo l'influenza di eventuali ostacoli posti sul nostro percorso, e ragionevolmente saremo influenzati da una "tensione" che tende a far scavalcare l'ostacolo nella direzione più vicina a quella che ci conduce al nostro obiettivo. Considereremo poi la presenza di altri pedoni sul nostro percorso e, tendenzialmente, cercheremo di evitare chi cammina in direzioni opposte alla nostra, allineandoci con eventuali "compagni di viaggio" che hanno, anche se per brevi tratti, la nostra stessa direzione, adeguandoci alle velocità di chi ci precede e influenzando quelle di chi ci segue. Lo stato complessivo del moto sarà dunque influenzato da una serie di forze applicate su una sfera, che rappresenta il pedone, delle quali la principale è data dall'attrazione verso l'obiettivo, e le altre sono una sorta di *correzione* della forza principale che imprime il moto, e che tendono a far deviare il percorso della sfera stessa, possibilmente senza allontanarla dal suo obiettivo.

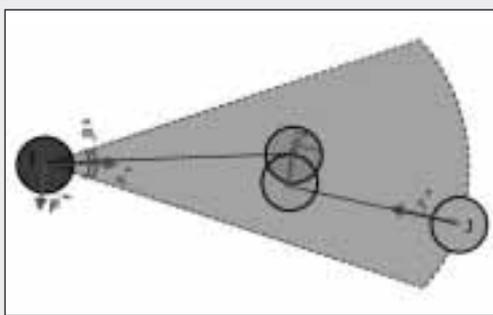


Figura 1
Forza di repulsione "previsionale"
Fonte: elaborazione ENEA e TRAIN

Riportiamo di seguito una schematizzazione delle forze principali che regolano il movimento di un individuo al fine di:

- guidare un agente verso il proprio obiettivo spaziale (*forza d'attrazione verso l'obiettivo*);
- far evitare allo stesso agente la collisione con altri agenti (*forze di repulsione*);
- far evitare la collisione con eventuali ostacoli (*forza di "obstacle avoidance"*);
- consentire e stimolare effetti collettivi (*forze di "swarming"*).

La figura 1 illustra il funzionamento della forza di repulsione "previsionale" fra due agenti: un agente (cerchio contrassegnato dalla lettera I) individua nel proprio campo di visibilità un altro agente (contrassegnato dalla lettera J) e stima la probabilità di scontrarsi col proprio vicino. Se l'impatto è possibile ed imminente, l'agente applicherà a se stesso una forza di scostamento che tenga conto delle posizioni che entrambi i pedoni avrebbero all'istante dell'impatto. Il motivo di tale scelta sta nel considerare importante ai fini dell'interazione non tanto "dove sto" ma "dove sto andando", e ciò con lo scopo di riprodurre in maniera fedele ciò che accade nella realtà.

Dai semplici "boid" ai pedoni: applicazione del modello scelto

L'Auto-Organizzazione è la proprietà esibita da alcuni sistemi complessi, formati da molteplici elementi che, interagendo tra loro e partendo da situazioni caotiche, sono in grado di sviluppare strutture ordinate. Un tipico esempio è l'organizzazione delle formiche, le quali "viste dall'alto" esibiscono *comportamenti emergenti*, come la formazione di file da e verso il cibo, causato da regole semplici e locali proprie dei singoli individui.

Nel 1986 Craig Reynolds^[10] ha sviluppato un modello computazionale in grado di simulare movimenti armonici collettivi tipi-

ci degli stormi tramite la definizione di oggetti-individui detti "boid" (*bird-oid*) i quali, attraverso una visione locale dello spazio circostante, sono sottoposti a semplici regole comportamentali (*repulsione, allineamento, coesione*).

Il comportamento dei *boids* è un ottimo punto di partenza per iniziare a delineare quali saranno le linee di comportamento dei nostri agenti in una architettura bidimensionale edificata, quale ad esempio quella di una stazione della metropolitana; riprendendo l'approccio proposto da Reynolds saremo in grado di definire interazioni locali capaci di mostrare alcune proprietà emergenti.

Vediamo come possa essere impostato un algoritmo che regola l'interazione di un sistema semplificato *boid-like*. Esso consiste principalmente di tre regole:

1. *repulsione*: evitare le collisioni con i vicini e con gli ostacoli;
2. *allineamento*: cercare di allineare la propria velocità a quella dei vicini;
3. *coesione*: cercare di stare al centro del gruppo di appartenenza,

che si traducono nelle seguenti azioni:

- ogni agente cerca di mantenere una distanza di crociera dai suoi vicini per evitare collisioni; così se è troppo vicino all'individuo che gli sta davanti rallenta, mentre se è troppo vicino a quello che gli sta dietro accelera;
- ciascun agente cerca di camminare in direzione parallela a quella dei vicini. Ciò è ottenuto adeguando la direzione del vettore velocità (ma non il modulo) a quella dei propri "compagni";
- ogni agente cerca di essere circondato da altri individui. Per fare ciò calcola la posizione media degli altri agenti e tende a puntare verso tale posizione.

L'approccio proposto da Reynolds ha trovato numerose applicazioni nei campi più svariati e rappresenta un esempio emblematico in cui il livello di descrizione è in grado da un lato di considerare aspetti spe-

cifici del sistema e, dall'altro, di far emergere nuove qualità, senza però vincolare la complessità del sistema stesso ad un numero troppo elevato di parametri microscopici.

Seguendo questa "chiave di lettura" saranno presentate nei paragrafi seguenti una serie di simulazioni al fine di far emergere *effetti collettivi auto-organizzanti (swarming behaviour)*. Nel fare ciò sarà testata la formazione spontanea dei gruppi (insieme di individui che esibiscono un movimento globale coordinato) con lo scopo di caratterizzarne, attraverso la rilevazione dei diametri caratteristici, l'estensione spaziale e temporale.

Effetto sciame

Per dar conto della capacità di alcuni sistemi di svelare "un'intelligenza collettiva", abbiamo messo a punto una serie di simulazioni in grado di riprodurre il moto geometrico tipico degli stormi in un ambiente delimitato da pareti; il numero totale degli agenti nell'ambiente è fissato a 100, mentre il numero massimo dei vicini con cui ogni agente può interagire è 3.

In tale esempio gli agenti sono sprovvisti di obiettivi, in modo da potersi muovere "liberamente" in tutto lo spazio disponibile. Le uniche forze che agiscono sono dunque la coesione, la separazione e l'allineamento, oltre ad una semplice forza di repulsione dalle pareti. Il numero totale degli individui presenti nell'ambiente viene stabilito a priori e rimane costante durante ogni simulazione, così come il numero massimo di individui con cui il singolo agente può interagire. Agli individui viene infine assegnata una velocità costante in modulo e di direzione arbitraria.

Nel grafico di *figura 2* si può osservare l'andamento del maggiore tra i diametri dei gruppi formati in un intervallo di tempo pari a 10.000 cicli computazionali (equivalenti a circa 300s), in funzione del numero totale di individui presenti nell'ambiente.

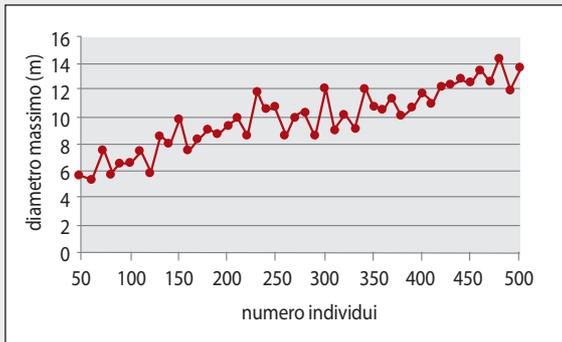


Figura 2
Diametro massimo di un gruppo in funzione del numero di individui

Fonte: elaborazione ENEA e TRAIN

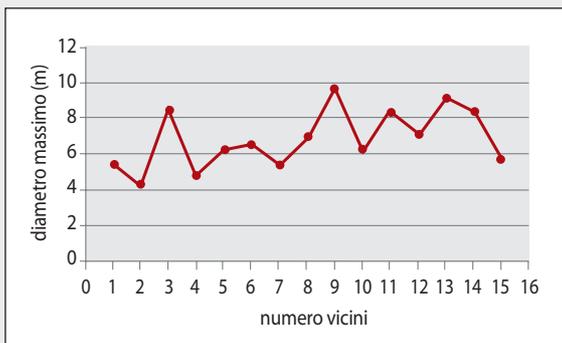


Figura 3
Diametro massimo di un gruppo in funzione del numero di vicini con cui interagire

Fonte: elaborazione ENEA e TRAIN

Da tale grafico emerge chiaramente che il diametro massimo che delimita un determinato gruppo cresce all'aumentare del numero degli agenti e dunque, siccome il sistema è chiuso, della densità. In altre parole, con l'addensarsi degli agenti in determinate zone, si sviluppa un effetto di propagazione a catena dello swarming. Con le stesse modalità descritte sopra si riporta in *figura 3* l'andamento del diametro massimo in funzione del numero di individui con cui ogni agente può interagire;

tenendo costante a 200 il numero d'individui presenti nell'ambiente si varia in questo caso il numero dei vicini con cui interagire da un minimo di 1 ad un massimo di 15; risulta evidente che il diametro massimo raggiungibile non aumenta con l'aumentare del numero dei vicini.

Da tali grafici emerge dunque che, senza vincolare l'autonomia dei singoli individui (numero di vicini con cui interagire e soglia d'interazione ridotti), si possono comunque ottenere degli effetti collettivi di ampio raggio nel caso in cui la densità locale aumenti per qualche motivo (ad es. in caso di congestione).

Dinamiche pedonali auto-organizzanti

La mobilità pedonale può presentare analogie con sistemi di gas, fluidi o flussi granulari. Più specificamente, a densità molto basse la dinamica pedonale può essere paragonata a quella di un gas, in quanto gli individui possono muoversi liberamente, mentre, al crescere della densità, emergono aspetti fluidodinamici e granulari, come gli attriti viscosi per flussi che si spostano in direzioni opposte o la formazione spontanea di linee di direzione di passaggio uniforme. Inoltre, si può osservare la propagazione di un'onda d'urto ad esempio in una folla che spinge in prossimità di un'uscita; è possibile rilevare che, in situazioni di panico, la folla, che si accalca inarcandosi davanti alle porte, assume un comportamento simile a quello seguito da un flusso granulare costretto a passare attraverso un piccolo foro. Infine l'alternarsi delle direzioni di passaggio dei pedoni nelle strettoie ricorda l'oscillatore salino (un sistema che mette in comunicazione attraverso un piccolo foro acqua ed acqua salata, presentando vari tipi di oscillazione non lineare). Si può dunque concludere che le proprietà fluidodinamiche sono tipiche di situazioni normali di media ed alta densità, mentre gli aspetti granulari compaiono in condizioni di sovraffollamento o panico.



Figura 4
Formazione di linee di direzione per flussi pedonali contrapposti

Fonte: elaborazione ENEA e TRAIN

Riportiamo di seguito i risultati ottenuti da numerose simulazioni effettuate per flussi pedonali contrapposti rispettivamente in un corridoio ed attraverso una strettoia. La *figura 4* mostra una semplice simulazione relativa ad una situazione in cui gli agenti di colore chiaro si muovono da destra verso sinistra, e quelli scuri in direzione opposta. Gli agenti vengono creati con una posizione iniziale casuale all'interno di uno dei due rettangoli posti alle estremità del corridoio (rispettivamente quella di destra per i chiari e quella di sinistra per gli scuri) e hanno come obiettivo il lato opposto del corridoio.

L'immagine mostra la formazione spontanea di *linee di direzione*, un meccanismo di auto-organizzazione che deve essere relazionato a un comportamento umano autonomo: il pedone tende a sfruttare la scia di un flusso che si muove nella sua stessa direzione; in tal modo si ottiene una velocità media maggiore dovuta ad una ottimizzazione spaziale dei flussi ovvero a una minimizzazione delle interazioni di ostruzione. Un simile comportamento è stato particolarmente stimolato dall'introduzione della *forza previsionale*, descritta nel precedente paragrafo, che porta i nostri agenti ad assumere un comportamento sempre più simile a quello reale. Tale fenomeno è stato oggetto di studio di numerosi modelli microscopici presenti in letteratura^{[2],[5]}.

Un'altra simulazione è stata effettuata per flussi pedonali contrapposti che devono passare attraverso una strettoia, come det-

to prima un comportamento simile a quello tipico di un oscillatore salino.

Il grafico in *figura 5* mette in risalto come, in un determinato intervallo di tempo, al crescere del numero d'individui passati in un senso, il numero di individui passati nell'altro senso rimane costante. Il processo si inverte nel momento in cui il numero dei rimanenti pedoni che stanno passando in un senso diventa adeguatamente inferiore al numero dei pedoni che premono in senso opposto. Tali effetti di auto-organizzazione sono stati realmente osservati nei flussi pedonali e, nonostante rappresentino soltanto una validazione qualitativa del modello proposto, è opinione diffusa^[11] che ogni buon modello microscopico debba essere in grado di riprodurli. In seguito proporrò una metodologia di validazione per il modello implementato.

Verso un caso reale: flussi in stazione della metropolitana

Come introdotto nel primo paragrafo, gli studi descritti in questo articolo fanno riferimento ad un progetto che ha per obiettivo l'analisi di aspetti connessi con la sicurezza nei tunnel e nelle gallerie della metropolitana; in quest'ottica lo studio del-

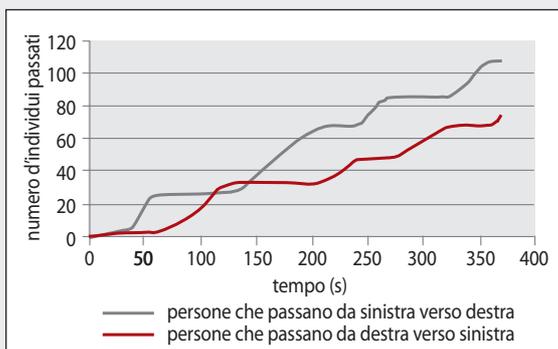


Figura 5
Oscillazioni della direzione di passaggio attraverso una strettoia

Fonte: elaborazione ENEA e TRAIN



Figura 6
Rappresentazione di una stazione tipo, e successivamente alcune schermate della simulazione: attesa alle banchine, arrivo di un treno
Fonte: elaborazione ENEA e TRAIN

la stazione è previsto come "anticamera" del tunnel. Il progetto quindi prevede che il simulatore operi in ambienti ricostruiti a partire da planimetrie di stazioni reali, e che fornisca informazioni riconducibili a dinamiche reali.

Scopo degli studi è quello di esaminare e modellare i flussi di persone all'interno della stazione sia in situazioni ordinarie, che in situazioni di criticità o emergenza. In questo modo sarà anche possibile valutare se particolari elementi architettonici possano agevolare o intralciare eventuali procedure di evacuazione.

L'ambiente di simulazione si basa, come visto, su modelli fisici di movimento ben precisi, e ognuna delle forze applicate agli individui contribuirà alla determinazione delle equazioni del moto.

A questo punto è abbastanza semplice implementare e risolvere numericamente tale equazione attraverso un algoritmo.

La piattaforma utilizzata è in ambiente Windows ed il linguaggio di sviluppo scelto è il C++, per sua natura ideale nell'implementazione di classi, ovvero entità semplici in grado di interagire tra di loro.

Per poter sviluppare il simulatore è stata creata in primo luogo una classe chiamata *ambiente*, che può essere interpretata come un contenitore, un microcosmo virtuale, in cui sono definite le regole "geografiche" della planimetria da simulare, come le zone di interesse (biglietterie, edicole ecc), gli ostacoli (i muri o le colonne) e, più in generale, tutte quelle caratteristiche inerenti la stazione stessa (la presenza di ascensori, la direzione di una scala mobile ecc). All'interno della classe ambiente è definita anche una popolazione di istanze dell'oggetto *individuo*, che sarà l'attore protagonista nelle nostre simulazioni. Ogni individuo, a sua volta, è caratterizzato da diversi parametri fisici e sociologici che ad ogni istante ne influenzano il movimento. Ovviamente tali parametri sono allineati ad un valore medio che rispecchi un com-

portamento standard realmente osservato, ma possono debolmente oscillare intorno a tale valore al fine di ottenere una popolazione eterogenea che manifesti comportamenti molteplici ma consistenti con le osservazioni sperimentali.

Un agente possiede dei parametri genetici di *default* che variano in piccola percentuale su una base randomica e che influenzano l'applicazione di uno specifico modello comportamentale. In base agli input che riceve da se stesso (posizione e velocità), dall'ambiente circostante (ostacoli, zone d'interesse ecc) e dagli altri individui (posizione e velocità), l'agente riuscirà a formulare una "interpretazione globale" delle informazioni (forza risultante) che determinerà la propensione a muoversi verso un determinato punto.

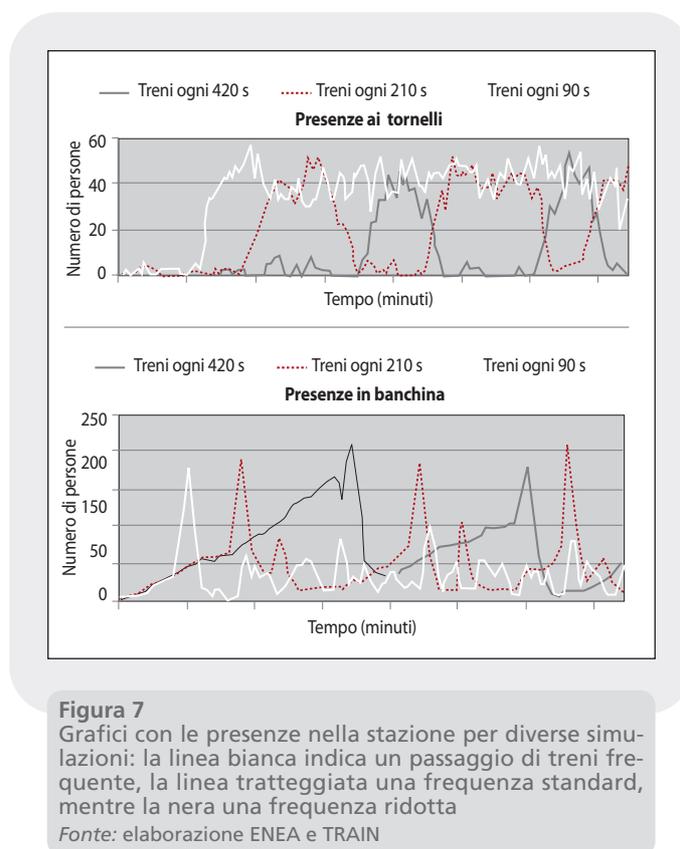
Per quanto riguarda le simulazioni in stazioni della metropolitana, è stato ricostruito un ambiente semplificato (prima immagine di *figura 6*) in cui è stata proiettata in due dimensioni la planimetria di una stazione reale appartenente alla linea della metropolitana automatizzata di Torino. Si possono osservare in particolare: un'apertura deputata sia all'uscita che all'entrata dei pedoni (settori 1), l'accesso con scale fisse e mobili (settori 2), una fila di tornelli (settore 3), una scala di accesso al piano delle banchine (settore 4), le due banchine (settori 5) ed i vagoni dei treni (settore 6); le zone scure rappresentano le aree inaccessibili ai pedoni (*matrice degli ostacoli*), le altre tonalità di grigio nella figura identificano le informazioni dell'ambiente rappresentato (sensi unici, zone di attesa, zone in dislivello ecc). A ciascun pedone viene inoltre assegnata una lista progressiva di sotto-obiettivi per arrivare al treno o all'uscita.

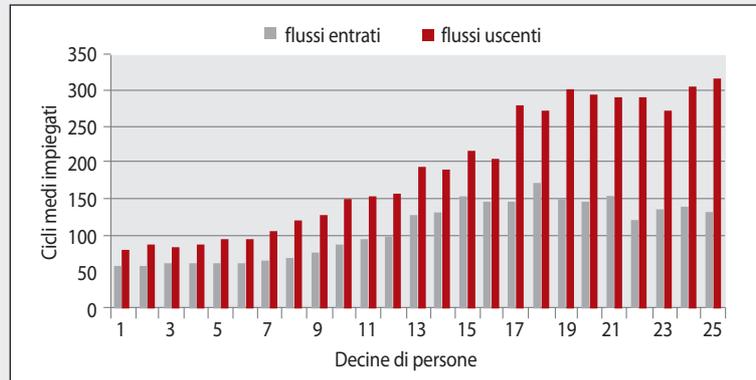
Nella prima immagine di *figura 6* possiamo vedere quindi la struttura della stazione, mentre nelle successive due immagini i flussi di pedoni in attesa del treno e all'arrivo del treno; le simulazioni sono effet-

tuate sulla planimetria reale della stazione proveniente dal file di progettazione semplificato. Nelle simulazioni effettuate abbiamo cercato di avere delle "fotografie" dell'intero sistema, introducendo parametri di misura che potessero fornire indicazioni sulla criticità in base al numero di presenze nella stazione e sulle singole banchine. Nella *figura 7* possiamo vedere, ad esempio, l'andamento del numero di persone presenti in banchina e ai tornelli di uscita durante alcune simulazioni.

Variando la frequenza dei treni si possono dedurre le prime considerazioni sul comportamento dei flussi pedonali in ingresso ed in uscita, studiando ad esempio la condotta che i flussi assidui assumono in determinate zone sensibili (contrassegnate dal numero 5 in *figura 6*).

Il primo grafico di *figura 7* mostra l'andamento delle presenze delle persone nella



**Figura 8**

Istogrammi con i tempi medi di percorrenza (in chiaro i flussi in entrata, in scuro quelli in uscita) in funzione del numero di persone presenti in stazione

Fonte: elaborazione ENEA e TRAIN

zona circostante i tornelli al variare della frequenza dei treni da 1,5 fino a 7 minuti. Sono evidenti alte densità ai tornelli nel caso di treni troppo frequenti, con conseguente difficoltà di evacuazione; la linea bianca mostra che il flusso pedonale tende a non smaltirsi col passare del tempo, mentre per frequenze standard (linea tratteggiata), sebbene i flussi raggiungano picchi di pari livello, questi riescono comunque a smaltirsi nel tempo.

Un ulteriore parametro di studio introdotto è legato alla permanenza degli individui nella stazione, ovvero quanto tempo impiega l'utente a compiere il suo percorso verso l'obiettivo (banchina dei treni o uscita).

Per dare un ordine di misura di tale parametro vengono registrati i tempi di percorrenza per ciascun individuo, e ad ogni istante di simulazione sono disponibili due valori che rappresentano i tempi medi (in cicli d'azione degli individui) di entrata (percorso entrata-banchina) e di uscita (banchina-uscita) degli individui e che forniscono un'indicazione sullo stato di congestione della stazione. Nel grafico presente in *figura 8* possiamo vedere come questi tempi aumentino in maniera quasi

esponenziale all'aumentare del numero di persone presenti in stazione, in particolare nei tempi di uscita dalla stazione, poiché la congestione (come visto anche nei grafici precedenti) si manifesta in particolare al passaggio ai tornelli, mentre non influenza in maniera significativa i flussi di persone in entrata.

Conclusioni e validazione del modello proposto

Le simulazioni effettuate consentono di caratterizzare il moto complessivo degli agenti in relazione al loro numero, ai loro obiettivi locali e alle diverse tipologie ambientali. Si è messo in luce, ad esempio, come al variare di semplici parametri di simulazione gruppi di agenti assumano svariate configurazioni spazio-temporali, che possono oscillare tra un andamento sinergico ed uno casuale. Ancora, è stato mostrato come comportamenti collettivi complessi realmente osservati nei flussi di pedoni possano emergere tramite la definizione di semplici regole locali.

Infine, nell'ambito delle stazioni della metropolitana, la simulazione ha permesso non solo di ricreare le dinamiche interne

allo specifico ambiente comprendendone le cause principali, ma anche di evidenziare nuovi aspetti della dinamica stessa.

È chiaro comunque che il modello proposto necessita di una validazione quantitativa basata su dati di flusso e densità reali, operazione che sarà realizzata a breve grazie ad una collaborazione avviata con GTT (*Gruppo Torinese Trasporti*) con cui si pensa di intraprendere anche alcune simulazioni sull'evacuazione dei vagoni dei treni. L'accordo stipulato prevede che il gestore fornisca le planimetrie delle stazioni della linea automatizzata della metropolitana di Torino (una linea priva di conducente e completamente gestita in automatico) ed i relativi dati di flusso ai tornelli in ingresso e in uscita; in tal modo sarà possibile successivamente variare piccoli elementi architettonici o modificare la direzione dei flussi in determinate aree (ad esempio alternando il passaggio ai tornelli o la direzione di movimento delle scale mobili) permettendo così al gestore di studiare la migliore configurazione di gestione dei flussi. GTT, inoltre, fornirà i filmati provenienti dalle telecamere di sorveglianza situate in

punti strategici della stazione, al fine di rendere possibile una validazione qualitativa del nostro modello, applicando la simulazione in tratti identici a quelli sorvegliati, ed affiancando le riprese con le simulazioni per verificare eventuali differenze di comportamento nei pedoni.

Lo strumento sviluppato nell'arco di questa collaborazione sarà fornito in dotazione agli operatori di GTT per permettere simulazioni anche su altre tipologie di stazioni (in procinto di costruzione).

Si auspica che i risultati di questo studio possano fornire un contributo alla futura elaborazione di nuovi criteri di sicurezza nelle stazioni delle metropolitane, proponendo uno strumento utile sia in fase di progettazione delle stazioni (il simulatore ingegnerizzato sarà compatibile con i disegni in CAD, lo standard de facto nel campo della progettazione) sia in fase di gestione delle situazioni ordinarie che critiche. Nel prossimo futuro è allo studio un modello di comportamento in caso di panico di massa, utile per simulare scenari di emergenza e testare le procedure di evacuazione.

Bibliografia

- [1] D. Helbing, P. Molnár (1995): *Social force model for pedestrian dynamics*, Physical Review E.
- [2] K. Still (2000): *Crowd Dynamics*, PhD Thesis, Department of Mathematics, University of Warwick, United Kingdom.
- [3] A. Bazzani, B. Giorgini, G. Servizi, G. Turchetti (2003): *A Chronotopic Model of Mobility in Urban Spaces*, Physica A 325, 517-530.
- [4] J. Ganem (1998): *A behavioral demonstration of Fermat's principle*, The Physics Teacher 36, pp. 76-78.
- [5] D. Helbing, J. Keltsch, P. Molnar (1997): *Modeling the evolution of human trail systems*, Nature 388, pp. 47-50.
- [6] U. Weidmann (1993): *Transporttechnik der Fußgänger*, Transporttechnik, Straßen und Eisenbahnbau Nr. 90, ETH Zürich, pp. 87-88.
- [7] L. F. Henderson (1974): *On the fluid mechanics of human crowd motion*, Transportation Research 8, pp. 509-512.
- [8] A.V. (1985): *Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, Special Report 209*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [9] A.V. (1961) *The equilibrium size distribution of freely-forming groups*, Sociometry 24, pp. 36-45.
- [10] C. W. Reynolds (1987): *Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model*, SIGGRAP.
- [11] D. Helbing and P. Molnár (1997): *Self-organization phenomena in pedestrian crowds*, Self-Organization of Complex Structures: from Individual to Collective Dynamics, Gordon and Breach, London, F. Schweitzer ed. pp. 569-577.

Termodinamica

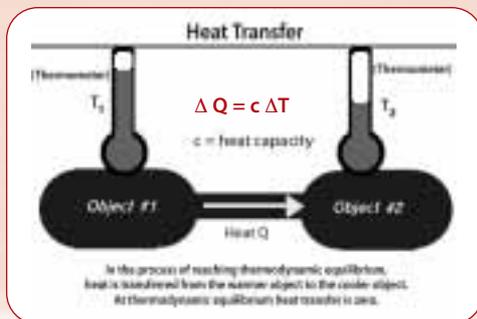
A cura di Emilio Santoro

La termodinamica è un capitolo della fisica che descrive le trasformazioni subite da un sistema macroscopico a seguito di uno scambio di energia con altri sistemi o con l'ambiente. I principi della termodinamica sono di importanza fondamentale in ogni campo della scienza e della tecnica.

Essa si basa sul concetto di sistema macroscopico (o sistema termodinamico), definito come una porzione di materia geometricamente individuata, che esiste in un ambiente infinito e imperturbabile. Lo stato di un sistema macroscopico in equilibrio è specificato dal valore che assumono determinate grandezze, come temperatura, pressione e volume, dette variabili termodinamiche o variabili di stato. Quando un sistema macroscopico passa da uno stato di equilibrio ad un altro, si dice che ha luogo *una trasformazione termodinamica*. Alcune trasformazioni sono reversibili, altre irreversibili. I principi della termodinamica, scoperti nel XIX secolo, regolano tutte le trasformazioni termodinamiche e ne fissano i limiti.

Principio zero della termodinamica

I termini delle scienze empiriche vengono spesso mutati dal linguaggio comune. Così, benché il termine "temperatura" sia di immediata comprensione, il suo significato risente della imprecisione del linguaggio non formalizzato. Una definizione precisa, sebbene empirica, della temperatura è fornita dal cosiddetto *principio zero*. Quando due sistemi interagenti sono in equilibrio, condividono alcune proprietà, che possono essere misurate assegnando ad esse un preciso valore numerico. Conseguenza di questo fatto è proprio il principio zero, che afferma che *quando due sistemi sono in equilibrio termico con un terzo, sono in equilibrio anche tra loro*. La proprietà condivisa è in questo caso la temperatura. Qualunque sistema, posto in contatto con un ambiente idealmente infinito e a temperatura determinata, si porterà in equilibrio con quest'ultimo, cioè raggiungerà la stessa temperatura dell'ambiente.



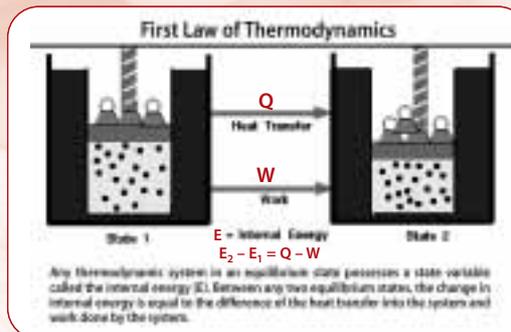
Primo principio della termodinamica

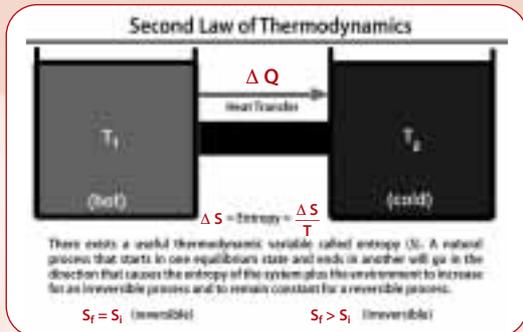
Fornisce una precisa definizione del calore. Quando un corpo viene posto a contatto con un altro corpo relativamente più freddo, avviene una trasformazione che porta a uno stato di equilibrio, in cui sono uguali le temperature dei due corpi. Per spiegare questo fenomeno, gli scienziati del XVIII secolo supposero che una sostanza, presente in maggior quantità nel corpo più caldo, passasse nel corpo più freddo.

Questa sostanza ipotetica, detta "calorico", era pensata come un fluido capace di muoversi attraverso la materia. Il primo principio della termodinamica invece identifica il *calore come una forma di energia* che può essere convertita in lavoro meccanico ed essere immagazzinata, ma che non è una sostanza materiale. È stato dimostrato sperimentalmente che il calore, misurato originariamente in calorie, e il lavoro o l'energia, misurati in joule, sono assolutamente equivalenti. Ogni caloria equivale a 4,186 joule. Il primo principio è dunque un *principio di conservazione dell'energia*. In ogni macchina termica, una certa quantità di energia viene trasformata in lavoro; non può esistere alcuna macchina che produca lavoro senza consumare energia. Una simile macchina, se esistesse, produrrebbe infatti il cosiddetto "moto perpetuo di prima specie".

Secondo principio della termodinamica

Impone un'ulteriore condizione alle trasformazioni termodinamiche. Esistono diversi enunciati, tutti equivalenti, di questo principio e ciascuna delle formulazioni ne mette in risalto un particolare aspetto. Esso afferma che è impossibile realizzare una macchina ciclica che abbia come unico risultato il trasferimento di calore da un corpo freddo a un corpo caldo (enunciato di Clausius) o, in modo equivalente, che è impossibile costruire una macchina





ciclica che operi producendo lavoro a spese del calore sottratto a una sola sorgente (enunciato di Kelvin). Quest'ultima limitazione nega la possibilità di realizzare il cosiddetto "moto perpetuo di seconda specie".

Terzo principio della termodinamica

È strettamente legato al secondo, e in alcuni casi è considerato come una conseguenza di quest'ultimo. Può essere enunciato dicendo che è impossibile raggiungere lo zero assoluto con un numero finito di trasformazioni e fornisce una precisa definizione di una grandezza chiamata, appunto, ENTROPIA.

L'entropia rappresenta la misura di quanto un sistema sia vicino allo stato di equilibrio, o in modo equivalente,

come la *misura del grado di disordine di un sistema*. Il terzo principio afferma che l'entropia, cioè il disordine, di un sistema isolato non può diminuire. Pertanto, quando un sistema isolato raggiunge una configurazione di massima entropia non può subire trasformazioni: ha raggiunto l'equilibrio. Sappiamo, per esempio, che l'acqua tiepida non si scomporrà mai da sé, separandosi in una parte più calda e una più fredda.

Naturalmente, non vi è diminuzione di energia quando, per esempio, si mescolano acqua calda e acqua fredda, ma una diminuzione di disponibilità di energia, nel senso che una certa quantità non è più disponibile. La tendenza di tutti i processi naturali è di portare ad uno stadio di uniformità di temperatura, pressione, composizione ecc. in tutti i punti. Si può pensare che in un lontano futuro, come conseguenza di tali processi, l'universo possa raggiungere uno stadio di completa e assoluta uniformità. Quando e se si raggiungerà un tale stato, pur senza variazioni di energia in seno all'universo, tutti i processi fisici, chimici e presumibilmente biologici cesserebbero. Tale meta verso cui esso sembra essere diretto è stata descritta come la "morte termica" dell'universo.

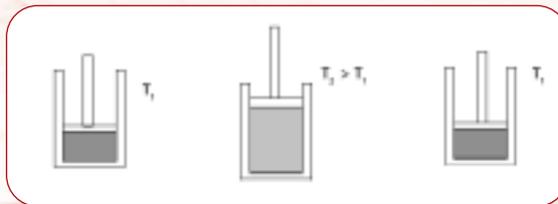
Perché il termine entropia? Il termine entropia fu usato per la prima volta dal fisico tedesco Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888) con la seguente motivazione:

«(...) poiché sono dell'opinione che i nomi di quantità di questo tipo – che sono così importanti per la scienza – debbano essere ricavati dal linguaggio degli antichi al fine di introdurli senza modificazioni nei linguaggi moderni, propongo (...) il nome di entropia (...), partendo dalla parola greca etropé [dall'unione delle parole εν che significa 'dentro' e τροπή che vuol dire 'cambiamento'] che significa trasformazione. Intenzionalmente ho formato il termine entropia in modo tale da renderlo il più simile possibile al termine energia: infatti entrambe questa quantità (...) sono così strettamente connesse l'una all'altra dal punto di vista del significato fisico che mi pare utile una certa analogia anche nei loro nomi»

Importante è notare come la terza legge della termodinamica (spesso assimilata alla seconda), abbia uno status alquanto diverso rispetto ad altre leggi della scienza in quanto non vale sempre ma solo nella grande maggioranza dei casi e si associa spesso al concetto di probabilità.

Rendimento di una macchina termica

Un motore è una macchina che utilizza energia per compiere lavoro. Un motore termico trasforma quindi energia termica in lavoro. Dato che non è possibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia l'assorbimento di calore da una riserva termica e la sua completa conversione in lavoro, questo motore, quando compie lavoro, deve anche cedere una certa quantità di calore all'ambiente. Consideriamo come esempio di motore termico un pistone che si muova sotto la spinta di un gas riscaldato che si espande. È intuitivo osservare che, una volta arrivati in posizione di massima espansione alla temperatura T_2 , per ritornare alla posizione iniziale e riprendere il ciclo, è necessario – affinché sia possibile produrre ancora lavoro – che il gas si raffreddi, cedendo calore ad un altro corpo, che deve essere più freddo (in virtù di quanto detto in precedenza e cioè che non è possibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia il trasferimento di energia da un corpo freddo ad uno più caldo). Per questo motivo, il rendimento di una macchina è sempre minore dell'unità:



$$\text{Rendimento} = 1 - T_1/T_2$$

Cambiamenti climatici a Copenaghen

Si è svolto a Copenaghen, dal 10 al 12 marzo, il congresso convocato dall'IPCC su "Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions" con l'obiettivo di redigere un *executive summary* da consegnare alla COP-15 Kyoto 2, la Conferenza ONU sul "Climate Change" di dicembre.

Il congresso ha visto il contributo, nei vari campi della scienza climatica, di 1.600 scienziati di più di 70 paesi compresa l'Italia. L'ENEA ha

mostrato i risultati ottenuti con il primo *Regional Earth System* ad alta risoluzione per la regione Mediterranea, un nuovo sistema di calcolo sviluppato in collaborazione con l'ICTP (International Center for Theoretical Physics, Trieste), accoppiando modelli climatici dell'atmosfera, dell'oceano e del suolo.

Il sofisticato strumento ha permesso di aggiornare i dati dell'IPCC, producendo scenari climatici ad alta risoluzione e specificando con un maggior dettaglio spazio-temporale l'aumento delle temperature superficiali. Inoltre, tra i nuovi fattori presi in considerazione c'è l'indicatore della risorsa acqua, la cui rilevanza ne permette l'applicazione in diversi settori, quali quello energetico e turistico.

Le simulazioni dell'ENEA riguardanti l'innalzamento del livello del mare, ad esempio, evidenziano il ruolo chiave dell'acqua atlantica che entra dallo Stretto di Gibilterra, perché è più dolce di quella del Mediterraneo: più acqua dolce entra e più viene amplificato l'innalzamento del livello del mare dovuto al riscaldamento globale.

Al termine del Congresso, sono stati resi pubblici sei messaggi chiave, che racchiudono le raccomandazioni della comunità scientifica mondiale a quella dei decisori politici. Nel primo dei messaggi si legge che le osservazioni sui livelli di emissione globale di gas serra rendono sempre più probabili i peggiori scenari tra quelli realizzati dall'IPCC. Dall'osservazione di parametri quali temperatura media glo-

bale della superficie terrestre, innalzamento del livello medio globale dei mari, livelli dei ghiacci, acidificazione degli oceani e frequenza di eventi climatici esterni, si evidenzia l'andamento di un accresciuto rischio per il futuro.

Nel secondo si sottolinea come le società, soprattutto quelle più povere, si dimostrino molto vulnerabili ai cambiamenti climatici, anche laddove questi si presentino in forma più attenuata.

Alle strategie di lungo termine è dedicato il terzo messaggio in cui si evidenzia la necessità di azioni di mitigazione rapide, intense, efficaci e coordinate a livello globale e regionale.

I cambiamenti climatici, quarto messaggio, hanno effetti diversi nelle diverse aree del pianeta, tra le generazioni, tra società umane e mondo naturale. Le strategie di adattamento e di mitigazione, per essere efficaci, devono tenere in considerazione queste differenze.

Gli strumenti per fronteggiare le sfide dei cambiamenti climatici, quinto messaggio, ci sono già: sono di carattere economico, tecnologico, comportamentale, gestionale, ma devono essere energicamente implementati per *decarbonizzare* le nostre economie.

Il messaggio conclusivo, per affrontare la sfida, superare i nostri limiti e afferrare le opportunità, è di ridurre l'inerzia dei nostri sistemi socio-economici e rendere concreto il passaggio verso Leadership innovative nei governi, nei settori privati e nella società civile.

dal Mondo

Cambiamenti climatici a Copenaghen

Impedire la fuga dei cervelli

A fronte della carenza di ricercatori nell'UE, il Parlamento ha approvato a larghissima maggioranza la richiesta di scoraggiare la "fuga di cervelli", promuovere il rientro dei ricercatori e creare un mercato unico della ricerca. E per realizzare ciò occorre migliorare le retribuzioni, le opportunità di carriera e la portabilità delle sovvenzioni, garantire la flessibilità delle condizioni di lavoro e creare un fondo pensionistico europeo; ma anche rafforzare la collaborazione con il settore privato e agevolare gli scambi con ricercatori di paesi terzi.

L'Europa ha bisogno di un maggior numero di scienziati, poiché la loro attività è indispensabile all'incremento della produttività e della competitività europea, e contribuisce alla realizzazione degli obiettivi della strategia di Lisbona. Occorre, perciò, incoraggiare il rientro dei ricercatori europei che lavorano al di fuori dell'Unione e agevolare l'ingresso di quelli di paesi terzi che desiderano lavorare al suo interno. Il Parlamento appoggia, quindi, l'iniziativa della Commissione relativa ad una *partnership* europea per i ricercatori, ritenendo che le azioni proposte dovrebbero anche permettere di rimuovere i principali ostacoli che impediscono la realizzazione di uno Spazio europeo della ricerca.

Gli Stati membri e la Commissione sono poi incoraggiati a rivedere le condizioni necessarie all'introduzione della portabilità delle sovvenzioni individuali di ricerca, qualora ciò permetta agli organismi di finanziamento di soddisfare in modo più efficace le loro esigenze di analisi, e agli scienziati, di accedere a strutture di ricerca non disponibili negli istituti d'origine.

Il Parlamento ritiene inoltre che, per conseguire una maggiore mobilità, occorra adottare un sistema di 'buoni-ricerca', in grado di rafforzare l'interesse e i vantaggi per gli istituti e le università che ospitano studiosi provenienti da altri Stati membri.

Viene poi sottolineata la necessità di una maggiore flessibilità delle condizioni di lavoro dei ricercatori, al fine di consentire loro di conciliare il lavoro con la vita familiare, e si chiede l'eliminazione dei differenziali retributivi di genere. Commissione e Stati

membri sono, infine, invitati a valutare la possibilità di creare un Fondo pensionistico europeo per i ricercatori, indipendentemente dalla durata del contratto di ricerca, e ad accordare maggiore importanza alla ricerca scientifica all'interno del bilancio UE.

Rafforzate le misure contro il buco nell'ozono

Nonostante i progressi compiuti grazie al Protocollo di Montreal, la progressiva eliminazione delle sostanze che riducono lo strato di ozono (ODS) deve ancora essere completata nell'Unione Europea e nel mondo. Inoltre, l'aumento di radiazioni UV-B, provocato dalla riduzione dello strato di ozono, rappresenta ancora una grave minaccia per la salute umana e per l'ambiente.

Il Parlamento Europeo ha adottato un nuovo regolamento che stabilisce le norme in materia di produzione, importazione, esportazione, immissione sul mercato, uso, recupero, riciclo, rigenerazione e distruzione di sostanze che riducono lo strato di ozono. Il regolamento, che si applicherà dal 1° gennaio 2010, stabilisce anche norme relative alla comunicazione dei dati relativi a tali sostanze e all'importazione, esportazione, immissione sul mercato e uso di prodotti e apparecchiature che le contengono o il cui funzionamento si basa su essi.

Il nuovo testo, oltre consolidare e aggiornare le norme esistenti, introduce ulteriori provvedimenti volti ad evitare il rischio che il ripristino dello strato di ozono venga ulteriormente ritardato.

dall'Unione
Europea

Impedire la fuga
dei cervelli

Rafforzate le misure
contro il buco
nell'ozono

cronache

Comuni Rinnovabili 2009

Sono 5.991 i Comuni in Italia che hanno installato almeno un impianto per l'energia pulita nel proprio territorio, 2.801 in più rispetto allo scorso anno. Una crescita che riguarda tutte le fonti: solare fotovoltaico, solare termico, mini idroelettrico, geotermia ad alta e bassa entalpia, impianti da biomasse, anche collegati a reti di teleriscaldamento, sono diffusi ormai nel 79% dei Comuni. Sta prendendo forma un nuovo modello di generazione distribuita che cambia profondamente il modo di guardare all'energia e al rapporto con il territorio. Sono questi i risulta-

ti del Rapporto *Comuni Rinnovabili* di Legambiente, giunto quest'anno alla quarta edizione, che elabora i dati ottenuti attraverso un questionario rivolto ai Comuni incrociati con studi e rapporti di GSE, ENEA, FIPER, ANEV oltre che di Regioni, Enti Locali e aziende. Il Rapporto presentato a Roma il 27 febbraio ha premiato i Comuni: Dobbiaco e Prato allo Stelvio per la categoria Comuni 100% rinnovabili, in cui si arriva a coprire ben oltre il fabbisogno dei cittadini residenti; Lecce, tra i Comuni con più di 50 mila abitanti, perché in grado di soddisfare il 100% del fabbisogno elettrico delle famiglie attraverso le rinnovabili; Carano (Trento) per il progetto più innovativo, con 3.000 pannelli fotovoltaici sopra una vecchia cava di porfido capaci di generare energia elettrica pari al consumo dei tre quarti degli abitanti del piccolo Comune. Risulta così che le energie pulite rappresentano la migliore soluzione, non solo per svincolarsi dalle fonti fossili e salvare il Pianeta dai cambiamenti climatici, ma anche per rispondere alla crisi economica e per guardare con un po' di ottimismo al futuro.

Secondo Legambiente, il primo settore d'intervento riguarda l'integrazione delle fonti rinnovabili nell'edilizia, attraverso tre modalità prioritarie: l'introduzione della certificazione energetica per gli edifici; l'obbligo di un contributo minimo delle fonti energetiche rinnovabili in tutti i nuovi interventi edilizi e una nuova politica per muovere finalmente interventi di efficienza energetica negli edifici esistenti.

Il secondo settore riguarda la semplificazione delle autorizzazioni per gli impianti da fonti rinnovabili. Governo e Regioni devono rapidamente fissare

la cornice entro cui questi interventi possano diventare realtà, in modo da scegliere il più adatto mix di diffusione delle fonti rinnovabili nei diversi ambiti per realizzare gli obiettivi dell'Unione Europea.

SPARC supermicroscopio laser

Presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) un gruppo di ricercatori INFN, ENEA, CNR e di alcune Università italiane hanno costruito e messo in funzione un Laser ad Elettroni Liberi (FEL) pilotato da un acceleratore lineare di elettroni. Il prototipo, battezzato "SPARC" (Sorgente Pulsata Autoamplificata di Radiazione Coerente), emette una radiazione molto intensa e di durata ultra-breve, in grado di fotografare molecole, proteine e virus durante la loro attività ed osservare fenomeni biochimici ultraveloci.

Finanziato dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca (MIUR) e dall'Unione Europea, risulta il secondo Laser di questo tipo funzionante in Europa, dopo il successo ottenuto in Germania con FLASH. SPARC, lungo circa 35 metri, è il primo passo verso la realizzazione di "SPARX", in fase avanzata di progettazione, che estenderà la radiazione emessa ai raggi X. Sarà questo il super microscopio del futuro, che favorirà un rapido avanzamento nella ricerca scientifica e tecnologica italiana in molti settori, tra cui quello delle nano-tecnologie e delle scienze bio-mediche e che troverà la sua collocazione nel Campus Universitario di Tor Vergata, attraverso i finanziamenti del MIUR e della Regione Lazio.

dall'Italia

Comuni Rinnovabili
2009SPARC
supermicroscopio
laser



ROMA, 6TH-10TH JULY 2009

S4FE

SUSTAINABLE FOSSIL FUELS
FOR FUTURE ENERGY

L'**ENEA** e l'Associazione Italiana "**CO₂Club**" hanno il piacere di annunciare la prima edizione della Conferenza Internazionale "**SUSTAINABLE FOSSIL FUELS FOR FUTURE ENERGY**" (**S4FE 2009**), che avrà luogo a Roma dal 6 al 10 Luglio 2009.

La Conferenza intende promuovere il reciproco scambio tecnico e culturale sui temi propri delle tecnologie di "Carbon Capture and Storage". Oltre a questo la Conferenza ha lo scopo di stimolare la collaborazione tra gruppi di ricerca pubblici e privati, come pure di identificare aree comuni di interesse ove focalizzare gli sforzi per un incremento delle conoscenze sia teoriche che tecnologiche, in una parola "promuovere le tecnologie CCS".

A questo fine le sessioni tecniche della Conferenza saranno focalizzate sui seguenti argomenti:

- CO₂ Capture: Pre-Combustion, Post-Combustion, Oxy-Combustion
- CO₂ Storage: Progetti Dimostrativi di Larga Scala e Impatto della "Qualità" della CO₂
- Efficienza e Integrazione degli Impianti
- Tecnologie e Processi di Combustione Innovativi e Non Convenzionali (Syngas, MILD Combustion, Idrogeno, ...)

Ulteriori dettagli sulla conferenza, i programmi, gli eventi saranno disponibili consultando il sito della Conferenza:

www.co2club.it/Rome2009

PRELIMINARY AGENDA

Afternoon:	Monday July 6 Conference Registration and Welcome Cocktail
Morning:	Tuesday July 7 Registration; Authority Welcome; Presentations of Invited Speakers
Afternoon:	CO ₂ Capture (pre/post/ oxy-combustion)
Morning:	Wednesday July 8 CO ₂ Capture (pre/post/ oxy-combustion)
Afternoon:	Efficiency and Plant Integration
Morning:	Thursday July 9 New and Unconventional Combustion Processes and Technologies
Afternoon:	CO ₂ Storage: Large Scale Demonstration Projects, and Impact of the Quality of CO ₂
Evening:	Social banquet
Morning:	Friday July 10 Technical and Political Remarks; Open Round Table; Closure of S4FE 2009

Il questionario on-line per Energia, Ambiente e Innovazione

Si è recentemente conclusa la raccolta delle risposte al questionario volto a indagare le opinioni dei lettori di *Energia, Ambiente e Innovazione*. L'iniziativa, diffusa tramite il sito web dell'ENEA, si inserisce in un più vasto progetto di rinnovamento e promozione della rivista attualmente in corso. In quest'ottica sono state messe recentemente in atto diverse misure intese ad ampliare la diffusione del bimestrale e a offrire maggiori servizi ai lettori. Tra questi nuovi progetti riteniamo importante menzionare la pubblicazione on-line dei contenu-

ti dei fascicoli usciti dal 2003 al 2007 che ha riscontrato notevole interesse tra i visitatori del sito. Le risposte al questionario finora analizzate testimoniano un grande apprezzamento nei confronti degli articoli in formato elettronico, soprattutto da parte dei lettori più giovani.

La pubblicazione del sondaggio sul sito www.enea.it è avvenuta nel dicembre del 2008, pressoché in concomitanza con l'inserimento dei fascicoli degli anni precedenti, rendendo quindi possibile una promozione congiunta delle due iniziative tramite una serie di annunci che hanno occupato la prima pagina della rivista dal numero 5 del 2008 al numero 1 del 2009. Inoltre, per garantire una maggiore visibilità al questionario, così come ad altri eventi e promozioni presenti o futuri collegati al bimestrale, è stato realizzato per l'homepage di ENEA un apposito banner informativo.

A queste prime misure di divulgazione dell'iniziativa se ne sono affiancate altre che verranno descritte più dettagliatamente in un articolo di prossima pubblicazione.

La risposta dei lettori al questionario è andata crescendo in modo costante nel corso del tempo: questo successo, in parte sicuramente dovuto alla moltiplicazione dei canali di diffusione e all'impiego di strategie più mirate di comunicazione, ha permesso alla Redazione di ricevere preziosi consigli e indicazioni utili per il futuro sviluppo della rivista.

Il sondaggio, infatti, era volto a perseguire tre principali obiettivi: vi era, in primo luogo, un interesse ad ampliare e approfondire la conoscenza del profilo dei lettori attraverso l'indagine di parametri socio-demografici quali l'età, il sesso, il livello d'istruzione o la professione. In secondo luogo ci si proponeva di rilevare il gradimento complessivo nei confronti del bimestrale tramite domande sintetiche, ma comunque in

grado di coprire aspetti diversi, quali la grafica, la tipologia d'articolo, i temi trattati o il linguaggio usato, così da ottenere un quadro quanto più completo. Si è cercato, infine, di individuare possibili formule per l'evoluzione della rivista, anche nell'ottica di un maggiore sfruttamento delle potenzialità dell'*Information and Communication Technology*. I primi risultati dell'indagine hanno confermato la validità tanto del lavoro redazionale svolto fino ad oggi, quanto delle scelte editoriali effettuate in tempi recenti. Non sono tuttavia mancate sorprese e indicazioni per certi versi inaspettate. Per fare alcuni esempi, tra le principali conferme emerse possiamo sicuramente citare l'elevato numero di preferenze assegnato dai lettori alla trattazione estesa ed esaustiva di un unico argomento. L'esplorazione dettagliata di un singolo tema, perseguita in maniera più decisa a partire dal 2008, prevede che questo venga analizzato in profondità e affrontato da diversi punti di vista, in modo da dar vita a un dibattito a più voci che consenta al lettore di formarsi una propria opinione personale, partendo da una panoramica chiara e accurata della situazione in esame. Tra quei risultati che, invece, possono forse apparire sorprendenti si può menzionare l'elevato numero di giovani al di sotto dei trentacinque anni che ha risposto al questionario. Ovviamente il dato, come tutti gli altri scaturiti da questo sondaggio, va inquadrato in un contesto più ampio, che tenga anche conto del mezzo di comunicazione scelto per veicolare l'indagine, per poter essere correttamente interpretato. L'analisi più approfondita verrà illustrata nell'articolo in programma per il prossimo numero del bimestrale in cui saranno esposti in modo più esaustivo i risultati complessivi dell'iniziativa.

(Valeria Trisoglio)

dall'ENEA

Il questionario on-line per Energia, Ambiente e Innovazione

Nuova Delhi: "Renewable Energy Asia"

Neeta Sharma, del CR ENEA della Trisaia, è stata invitata a partecipare come speaker e chairperson alla Conferenza Internazionale "Renewable Energy Asia" tenutasi a Nuova Delhi dall'11 al 13 dicembre 2008. Organizzata dall'Indian Institute of Technology di Nuova Delhi e dal Sustainable Economic Environment Forum (SEE) dell'Università di Kyoto, la Conferenza ha rappresentato un importante momento di incontro e confronto fra esperti e ricercatori del settore sui diversi e numerosi aspetti legati allo sviluppo delle energie rinnovabili. La presentazione della ricercatrice ENEA, dal titolo

"Switchgrass, an Environmentally-compatible Novel Bio-Energy crop for Mediterranean countries", nell'ambito della sessione tematica *Biomass for Biofuels*, che illustrava i risultati dell'attività di ricerca nel campo delle colture energetiche, ha riscosso interesse e apprezzamento ed è stata premiata come "Migliore presentazione" con il premio "Momento Renewable Energy Asia 2008". Nell'ambito della stessa conferenza ha avuto luogo anche la quarta edizione del Forum Internazionale "Sustainable Economic Environment"; nel corso di questo evento l'Università di Kyoto ha lanciato una richiesta di collaborazione a livello internazionale nel campo della "Ricerca ed Educazione", creando un *Network of Excellence* (NOEs) sulle tematiche Bioenergy, Solar Energy, Clean Coal ecc. Tutti gli eventi della conferenza sono stati incentrati sul rafforzamento delle competenze e della collaborazione internazionale verso una società sostenibile. Il successo della manifestazione ha indotto gli organizzatori a indire una 5ª edizione del SEE Forum a Bangkok nel maggio 2009, e il 6° SEE Forum a Yogyakarta, nel dicembre 2009. Per maggiori informazioni: neeta@enea.it

1901 – anno dell'istituzione del premio Nobel – sono state solo 12 le scienziate alle quali è stato attribuito un riconoscimento per le discipline scientifiche nei settori della chimica, fisica e medicina, su oltre 500 premi assegnati nel corso del XX secolo. La mostra racconta, perciò, la storia di quelle donne che, pur avendo contribuito in modo decisivo al progresso scientifico in differenti campi del sapere e della ricerca, non hanno ottenuto quel meritato riconoscimento, e alcune di loro hanno visto premiati, per ricerche analoghe, i loro colleghi.

Al convegno, moderato da Gilberto Corbellino, dell'Università La Sapienza di Roma, al quale hanno partecipato scienziate di fama internazionale, hanno svolto i loro interventi: Flavia Zucco, Associazione Donne e Scienza, su "Donne nella scienza post-accademica"; Nicola Vassallo, Università di Genova, su "La conoscenza delle donne"; Donatella Tirindelli, ENEA, su "Donne e scienza nelle Istituzioni di ricerca: *un certain regard*"; Letizia Gabaglio, giornalista scientifico Galileo, su "Donne, scienza e informazione"; Clara Silvestre, Commissione Europea, su "Lo sportello FRIEnd del CNR per le ricercatrici".

Cecilia D'Elia, Assessore della Provincia di Roma, ha sottolineato che le donne laureate sono più numerose degli uomini: sono donne sei laureati su dieci in medicina e farmacia e più di uno su due in scienze della vita, fisica e agraria. Segno che le donne investono di più nel loro futuro e in quello del loro Paese. Ma a tre anni dalla laurea, le donne disoccupate sono di più dei colleghi maschi e comunque guadagnano sempre meno. Inoltre, a fronte di una importante presenza femminile nella docenza e nella ricerca, le donne sono scarsamente presenti nelle carriere apicali accademiche e poco più di una su dieci fa parte di Comitati scientifici.

Eventi

Nuova Delhi: "Renewable Energy Asia"

Donne di scienza tra
passato e futuro

Donne di scienza tra passato e futuro

Il tema del rapporto tra donne e scienza e il loro difficile riconoscimento nell'ambito delle politiche della ricerca, del lavoro e della formazione è stato al centro di un convegno e di una mostra, tenuti a Roma il 17 marzo, realizzati dalla Provincia di Roma e dall'associazione Donne e Scienza, in collaborazione con futuro@lfemminile.it. La mostra "Nobel negati alle donne di scienza", già tenuta a settembre scorso al Parlamento Europeo, rammenta che dal

Adapting to climate change: Towards a European framework for action

Commissione Europea,
COM(2009) 147 final,
Bruxelles, 1° aprile 2009

Con questo Libro Bianco, *Adattamento ai cambiamenti climatici: verso un Quadro d'azione europeo*, la Commissione Europea propone l'istituzione di un Quadro d'azione per ridurre la vulnerabilità agli impatti dei cambiamenti climatici dell'Europa, che inten-

de essere complementare alle azioni intraprese dagli Stati membri attraverso un approccio integrato e coordinato.

Il documento è stato costruito sulla base della consultazione pubblica avviata nel 2007, dopo la pubblicazione del *Green Paper, Adapting to climate change in Europe – Options for EU action*, e dei risultati di ulteriori ricerche che hanno mostrato le azioni da intraprendere nel breve termine. Per quanto riguarda l'Italia, la Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici del settembre 2007, che non ha avuto seguito, era stata organizzata in questo contesto e costituiva anche la base per un nuovo modo di pianificare il territorio e l'uso delle risorse naturali.

L'obiettivo del Quadro d'azione europeo per l'adattamento è quello di aumentare la resilienza (ovvero di diminuire la vulnerabilità) dell'Unione Europea nel far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici con un approccio progressivo in due fasi: la prima (2009-2012) dedicata alla creazione di una Strategia onnicomprensiva di adattamento ai cambiamenti climatici per l'UE; la seconda (dal 2013) dedicata all'attuazione di questa Strategia.

La prima fase si basa su 4 pilastri:

1. la costruzione di una solida base informativa scientifica sugli impatti e sulle conseguenze dei cambiamenti climatici nella UE;
2. l'integrazione della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici nelle principali politiche settoriali dei paesi UE;
3. l'utilizzo di una combinazione adeguata ed ottimale dei diversi strumenti politi-

ci ed economici (strumenti di mercato, linee-guida, strumenti di pianificazione, collaborazioni pubblico-privato ecc.) per garantire una applicazione efficace della strategia di adattamento nella UE;

4. il rafforzamento della cooperazione internazionale in materia di politiche di adattamento.

Per realizzare questo Quadro, la Commissione propone, tra le altre cose, di istituire (entro il 1 settembre 2009) un Gruppo di coordinamento europeo sugli impatti e l'adattamento ai cambiamenti climatici (IASG - Impacts and Adaptation Steering Group), composto da rappresentanti degli Stati membri coinvolti nella formulazione dei programmi e delle misure di adattamento.

A tal proposito, il Libro Bianco esorta gli Stati membri a sviluppare, nell'ambito delle specificità e peculiarità di ciascun paese, proprie Strategie di adattamento Nazionali o Regionali.

Il Libro Bianco, infine, sottolinea l'importanza che l'UE si faccia promotrice, a livello globale, di adeguate strategie di adattamento, così come sta facendo con la strategia di mitigazione, e presenterà alla prossima COP-15 di dicembre a Copenaghen il documento *Towards a comprehensive climate change agreement in Copenhagen*.

Il Libro Bianco è corredato da uno studio sulla valutazione degli impatti e da tre documenti su: le acque; le coste; il mare; la salute; l'agricoltura. Tutti i documenti e le informazioni sono disponibili in: http://ec.europa.eu/environment/clmat/adaptation/index_en.htm (Vincenzo Ferrara)

Lecture

Adapting to climate change: Towards a European framework for action

AIRU, che cos'è.

L'Associazione, senza scopi di lucro, ha le finalità di promuovere e divulgare l'applicazione e l'innovazione dell'impiantistica energetica Territoriale, nel settore dei sistemi di riscaldamento urbano e derivati.

Le suddette finalità sono parte di un impegno complessivo per fornire il massimo contributo del settore alla qualità ambientale ed energetica del sistema Italia e dei suoi centri urbani. In particolare l'Associazione è impegnata, attraverso accordi nazionali, regionali e locali con le istituzioni e gli operatori interessati, a fornire il massimo contributo agli impegni italiani sottoscritti nei trattati internazionali relativi ai settori di interesse, tra cui il Protocollo di Kyoto per la riduzione dei gas serra.

L'AIRU, nata per la cogenerazione ed il teleriscaldamento (con particolare attenzione a quello alimentato da fonti rinnovabili ed assimilate), estende ora il proprio interesse ad altri settori, quali il teleraffrescamento, ed in generale a tutti i vettori energetici, secondo un disegno interdisciplinare.

AIRU, che cosa fa.

- Stabilisce rapporti di collaborazione fra gli operatori dell'impiantistica energetica territoriale italiani e si tiene in collegamento con le analoghe associazioni estere.
- Promuove ed organizza studi e ricerche ponendo a confronto le diverse esperienze, in collaborazione con organismi di interessi convergenti.
- Fa conoscere i risultati scientifici e tecnici conseguiti in Italia e all'estero nel campo dell'impiantistica energetica territoriale per il riscaldamento urbano.
- Istituisce la formazione di commissioni ad hoc operanti in segmenti operativi di proprio interesse, per l'approfondimento di problemi specifici nonché l'organizzazione e la promozione di iniziative proprie di quel segmento operativo.

AIRU, chi sono i soci.

I soci di AIRU sono gestori di sistemi di teleriscaldamento, industriali che hanno fatto investimenti specifici nelle tecnologie proprie dei sistemi di Riscaldamento Urbano, associazioni, università, Comuni, persone fisiche.

L'AIRU è associata ad Euroheat & Power.

AIRU, chi si può iscrivere.

Possono essere soci collettivi gli enti, le associazioni, le società, gli istituti universitari, le imprese, ecc. sia italiane che estere, che abbiano interesse a perseguire gli obiettivi statutari dell'Associazione. Possono essere soci individuali coloro che, in Italia o all'estero, si interessino di impiantistica energetica territoriale e abbiano superato i 18 anni di età, di cittadinanza sia italiana che straniera.

Nota per i lettori

Al fine di instaurare un rapporto di sempre maggiore e concreta collaborazione, Vi invitiamo cortesemente a compilare, in stampatello, il seguente questionario e di inviarlo via fax (02 45412120) alla Segreteria AIRU:

Cognome e Nome Qualifica

Società (Ragione Sociale).....

Indirizzo CAP..... CITTÀ

Tel. Fax E-mail Internet

- Desidero ricevere informazioni per l'abbonamento al trimestrale "IL RISCALDAMENTO URBANO"
- Desidero ricevere informazioni per l'eventuale pubblicazione nei prossimi numeri di articoli originali o comunicati stampa
- Desidero ricevere informazioni per eventuali inserimenti pubblicitari
- Desidero ricevere informazioni per l'iscrizione come **Associato** AIRU

Suggerimenti:

I dati forniti verranno trattati in modo lecito, secondo correttezza e in conformità alla Legge 675/96 sulla tutela della privacy; saranno inoltre registrati, organizzati e conservati in archivi e utilizzati per l'invio di proposte commerciali e promozionali e potranno essere rettificati o cancellati su richiesta degli interessati.