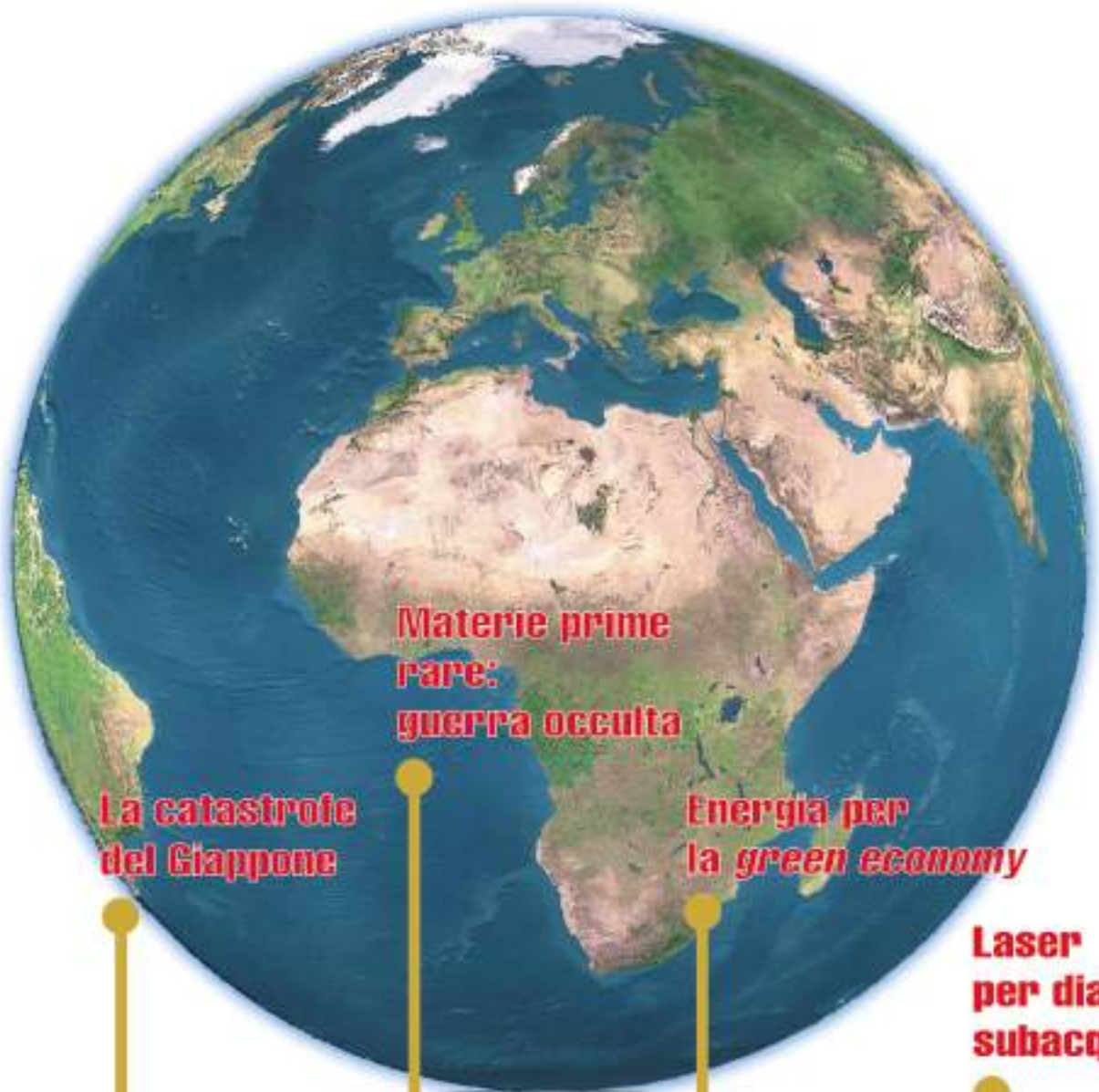




bimestrale dell'ENEA
anno 57
gennaio - aprile 2011

Energia, Ambiente e Innovazione

1-2/2011



**Materie prime
rare:
guerra occulta**

**La catastrofe
del Giappone**

**Energia per
la *green economy***

**Laser
per diagnosi
subacquea**



Direttore Responsabile
Vincenzo Ferrara

Comitato di Direzione

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

Comitato tecnico-scientifico

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

Direttore editoriale
Diana Savelli

Coordinamento editoriale
Paola Molinas
ENEA

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

Comitato editoriale

Valerio Abbadessa, Flavia Amato, Daniela Bertuzzi, Paola Ciochetti, Maria Luisa Cipullo, Antonino Dattola, Laura Di Pietro, Andrea Fidanza, Giuliano Ghisu, Michele Mazzeo, Laura Migliorini, Rita Pascucci, Caterina Vinci

Promozione
Paola Crocianielli

Traduzioni
Carla Costigliola

Progetto grafico
Paola Carabotta, Bruno Giovannetti

Segreteria
Antonella Calamita

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

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

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

Finito di stampare nel mese di giugno 2011



Prodotto realizzato impiegando carta Symbol Freelifce certificata FSC

- 1 **Presentazione**
- 3 **Editoriale**

World view 4

Focus 16
la catastrofe del Giappone

- 16 **Il terremoto di Tohoku dell'11 marzo 2011**
G. Bongiovanni, P. Clemente, V. Verrubbi
- 21 **Principi dell'isolamento sismico e applicazioni in campo nucleare**
G. Bongiovanni, P. Clemente, M. Forni, A. Martelli, F. Saitta
- 26 **L'incidente nucleare alla centrale di Fukushima-Dai-ichi**
F. De Rosa, G. Grasso, P. Meloni, S. Monti, M. Polidori

Primo piano 32
materie prime rare: guerra occulta

- 32 **Introduzione sulle materie prime critiche e le terre rare**
- 33 **Intervista all'Ing. Franco Terlizze**
a cura di V. Ferrara, con la collaborazione di R. De Ritis e C. Vinci
- 35 **Materie prime di critico approvvigionamento**
M. Vittori Antisari, D. della Sala, G. Braccio, M. Busuoli
- 37 **Terre rare: l'impianto pilota del Centro Ricerche della Trisaia**
M. Morgana

Anteprima 42
energia per la green economy

- 42 **Verso la conferenza Rio+20: stato dell'arte e prospettive delle energie rinnovabili**
A. Fidanza

Studi & ricerche 48

- review & assessment papers**
- 48 **L'eruzione del pozzo Macondo nel Golfo del Messico**
A. Martini, E. Vittori
- 54 **La contabilità delle emissioni dei gas ad effetto serra a livello locale: le emissioni regionali di CO₂**
E. Mancuso

- research papers**
- 61 **A procedure to estimate the hydrodynamic parameters of an Autonomous Underwater Vehicle (AUV)**
G. Cupertino, R. Dell'Erba, G. Sagratella
- 67 **Methods for Optical noise rejection in an Amplitude-Modulated Laser Optical Radars for Underwater Three-Dimensional Imaging**
R. Ricci, M. Francucci, L. De Dominicis, M. Ferri de Collibus, G. Fornetti, M. Guarneri, M. Nuvoli

- 74 **Imaging Chlorophyll a Fluorescence to early monitor Plant Pathology**
A. Lai, M. Sighicelli, F. Valente

- technical papers**
- 86 **Idrometallurgia delle polveri provenienti dalle acciaierie elettriche**
F. Baldassarre, con il contributo di G. Devincenzis e P. Garzone e la collaborazione di G. Chita per lo studio cristallografico delle polveri

Rubriche 93

- 93 dal **Mondo**
- 94 dall'**Unione Europea**
- 95 dalle **Istituzioni nazionali**
- 95 dai **Giornali**
- 96 **Calendario eventi**

La nuova rivista ENEA



È stato per me un grande onore essere nominato Direttore della Rivista *Energia, Ambiente e Innovazione*, con l'incarico di rinnovarla e di rilanciarla. I collaboratori e lo staff editoriale esistente mi hanno accolto con molto entusiasmo. Per cominciare bene abbiamo ampliato la partecipazione attiva alla Rivista, inserendo un Comitato di Direzione, allargando il Comitato Tecnico-Scientifico ad altre competenze professionali specialistiche (con funzioni anche di *peer review*) e coinvolgendo nella parte informativa alcuni esperti di relazioni, comunicazione e stampa.

Stiamo cercando di lavorare, tutti assieme, lungo due direzioni: innanzitutto per un rinnovamento editoriale, adeguando la Rivista alle nuove tecnologie della comunicazione per renderla completamente digitale e disponibile su internet, ma anche su alcuni *social network*, attraverso il sito web di ENEA, con aggiornamenti continui nei periodi che intercorrono

tra la pubblicazione di un numero e di quello successivo. In secondo luogo, intendiamo rilanciare la Rivista, sia come qualità degli articoli, sia come ricchezza delle informazioni, cercando di coinvolgere, nell'azione di rilancio, tutti i potenziali lettori.

Per il ruolo dell'Agenzia ENEA, la Rivista è destinata sia a partner, collaboratori e utenti dell'Agenzia, sia ai cittadini interessati sui temi dell'energia, dell'ambiente e dell'innovazione tecnologica, sia, infine, e non ultimi, agli scienziati e ai ricercatori interessati alle attività di ricerca nel campo energetico-ambientale. Pertanto, la nuova Rivista è stata organizzata con un taglio ben definito, in cui trovano spazio le novità della ricerca, le applicazioni della ricerca e l'approfondimento su temi di attualità o in discussione. Una seconda parte, più scientifica, riporta, invece, i risultati degli studi e delle ricerche in corso e, poiché si rivolge a tutti gli scienziati, e non solo a quelli italiani, sarà redatta prevalentemente in lingua inglese già da questo numero, mentre la prima parte rimarrà in lingua italiana.

La nuova Rivista è così articolata:

a) una prima parte che comprende le seguenti sezioni:

- **World view**, in cui si evidenziano le principali novità delle ricerche scientifiche internazionali nel campo dell'energia, dell'ambiente e dell'innovazione tecnologica, fornendo anche, quando necessario, il significato di tali ricerche, le interconnessioni fra ricerche e applicazioni ed una chiave di lettura delle informazioni scientifiche che circolano a livello internazionale;
- **Focus**, in cui si analizza un argomento di novità scientifica oppure si approfondiscono gli aspetti tecnico-scientifici di eventi che hanno interessato le cronache nazionali ed internazionali;
- **Primo piano**, in cui si pone in risalto un argomento di particolare rilevanza per lo sviluppo economico sostenibile e la competitività delle imprese, oppure si analizzano e si fa il punto su alcune questioni scientifiche controverse o con aspetti complessi;
- **Anteprima**, in cui si esaminano, con riferimento a grandi eventi o grandi appuntamenti previsti dalle agende internazionali, le questioni più scottanti o si analizzano particolari aspetti problematici ritenuti di interesse dei lettori;

b) una seconda parte che riguarda gli studi e le ricerche e che è suddivisa in:

- **Review and assessment papers**, articoli di rassegna scientifica e di studi, analisi e valutazioni tecnico scientifiche;
- **Research papers**, articoli sulle attività di ricerca scientifica sperimentale, in campo, in laboratorio o attraverso le nuove tecnologie di osservazione e di sperimentazione;
- **Technical papers**, articoli sulla messa a punto di nuove tecnologie o di applicazioni di nuove tecnologie nei diversi settori produttivi.

La parte finale della Rivista è riservata a rubriche di informazione sintetica su quanto accade nelle istituzioni nazionali e internazionali e su ciò che i *media* nazionali hanno preferibilmente raccontato sugli avvenimenti a carattere tecnico scientifico. Chiude la Rivista un calendario sui principali eventi in programma nelle agende internazionali.

In questo numero, da considerare come "numero zero", la sezione *Focus* è dedicata al terremoto del Giappone, l'associato maremoto e le conseguenze che hanno innescato l'incidente nucleare di Fukushima. Come argomento di *Primo piano* abbiamo proposto la guerra, sconosciuta ai più, che si sta combattendo a livello mondiale per gli approvvigionamenti di materie prime critiche o rare. Ling. Franco Terlizze, direttore generale del Ministero dello Sviluppo Economico, da noi intervistato, chiarisce il quadro della complessa situazione e indica le principali strategie di risposta a questo problema. Poiché l'anno prossimo si terrà la Conferenza mondiale delle Nazioni Unite sullo sviluppo sostenibile, a 20 anni da quella di Rio del 1992 (dove furono poste le basi dello sviluppo sostenibile), abbiamo proposto in *Anteprima* uno degli argomenti cruciali che saranno discussi e che sono alla base della *green economy*: le energie rinnovabili. Tra gli studi e le ricerche, segnaliamo l'analisi della situazione esistente nel Golfo del Messico a un anno di distanza dal disastro causato dall'esplosione della piattaforma petrolifera *Deepwater horizon* e alcune interessanti ricerche sperimentali riguardanti l'automazione di veicoli sottomarini, le applicazioni laser per diagnosi subacquee e il monitoraggio delle patologie vegetali attraverso la fluorescenza della clorofilla. Questo numero è corredato anche da un supplemento monografico sulle tecnologie CCS (*Carbon Capture & Storage*).

Per rendere la Rivista uno strumento di lavoro sempre più efficace, ma anche all'altezza di nuove sfide, riteniamo che, a questa impostazione di partenza, occorrerà apportare alcuni aggiustamenti successivi, cui saranno chiamati a contribuire, con i loro indispensabili consigli, i nostri lettori.

Abbiamo messo tutta la buona volontà per lanciarci verso un nuovo futuro senza, però, dimenticare l'illustre passato che è alle spalle della Rivista.

Buona lettura.

Vincenzo Ferrara



La grande Conferenza mondiale delle Nazioni Unite che si terrà a giugno del prossimo anno a Rio de Janeiro, denominata Rio+20 (organizzata in occasione del 20° anniversario della definizione dei principi sullo sviluppo sostenibile e dei relativi impegni di attuazione), ha come obiettivo principale quello di ridefinire il percorso sullo sviluppo sostenibile, alla luce delle nuove sfide poste dalla globalizzazione: una globalizzazione che riguarda eventi che spesso accadono in un dato settore e in un dato ambiente geografico, ma le cui ripercussioni si propagano a livello mondiale. Gli ultimi esempi ne sono un'efficace testimonianza.

La crisi economica generata da speculazioni finanziarie negli Stati Uniti nel 2008, si è poi propagata velocemente a tutti i Paesi industrializzati che hanno quindi coinvolto anche i paesi in via di sviluppo, dove gli effetti di tale crisi hanno colpito le economie più deboli. Le conseguenze di catastrofi naturali, come quelle accadute in Giappone, hanno avuto ripercussioni globali, sia per i problemi connessi con la prevenzione e la gestione dei rischi naturali, sia, soprattutto, per le scelte concernenti l'utilizzazione di impianti nucleari. Ma, a parte questi ultimi eventi più clamorosi, non bisogna dimenticare altri non meno importanti che si sono globalizzati, come i problemi di sicurezza alimentare e di sicurezza sanitaria e, non ultimi, i problemi di sicurezza nazionale e di cooperazione internazionale che riguardano più da vicino l'Italia. Il riferimento è al recente stato di crisi politica, determinato da questioni sui diritti umani e dalle esigenze di democrazia e di libertà, che riguarda la sponda sud del Mediterraneo, con effetti che si stanno propagando da un paese all'altro nel mondo arabo, dalla Libia e la Tunisia fino al Medio Oriente (Siria, Yemen). La globalizzazione dei problemi richiede sia un approccio integrato nella valutazione dell'impatto economico, sociale e ambientale delle decisioni di produzione e di consumo delle imprese e dei

Lo sviluppo sostenibile è lo sviluppo che soddisfa i bisogni delle attuali generazioni senza compromettere quelli delle generazioni future

consumatori, sia l'elaborazione di nuovi strumenti di misura e di valutazione della crescita, in grado di supportare il processo di formazione delle politiche. In tal senso si stanno elaborando i nuovi concetti di *green economy* a livello di Nazioni Unite¹ per disaccoppiare crescita economica e crescita del benessere umano, riducendo l'uso delle risorse naturali e minimizzando gli impatti ambientali. Ma anche le raccomandazioni della Commissione Europea fanno leva sugli stessi presupposti, quando chiedono di integrare il PIL, un indicatore strettamente economico, con indicatori di qualità ambientale e di benessere sociale a sostegno dei processi di governance, compresi i processi di verifica dello sviluppo, basati sulla contabilità nazionale estesa anche alle questioni ambientali e sociali².

“Lo sviluppo sostenibile è lo sviluppo che soddisfa i bisogni delle attuali generazioni senza compromettere quelli delle generazioni future”. Si tratta, in altri termini, di consegnare alle generazioni future gli stessi quantitativi di risorse che la generazione attuale ha a disposizione. Questa è la nota definizione del Rapporto Brundtland del 1987 che integra, nella definizione di sviluppo, tre tipi di capitale: un capitale economico, un capitale naturale e un capitale sociale. In termini generali, il concetto di sviluppo sostenibile richiama l'attenzione sulla non sostenibilità, nel medio e lungo periodo, dell'attuale modello d'uso delle risorse del pianeta, con particolare riguardo alla gestione e all'utilizzo delle risorse energetiche. La risposta, condivisa dalla comunità scientifica e istituzionale, ruota intorno alla consapevolezza e alla responsabilità nel corretto utilizzo del potenziale disponibile, in termini di stock di capitale umano, economico, e ambientale.

In ambito energetico, la soluzione per limitare i rischi del cambiamento climatico e incanalare la crescita economica lungo un percorso di sostenibilità risiede nella transizione da un'economia dipendente dalle fonti fossili, verso un'economia a basso contenuto di carbonio. Il tema delle risorse naturali rappresenta pertanto uno dei nodi cruciali non solo per le scelte dei paesi occidentali, ma soprattutto per tutti quei paesi emergenti che mirano a un analogo modello di crescita e sviluppo. Questo cambiamento implica un uso più razionale dell'energia, un

utilizzo pulito delle fonti fossili e del nucleare, nonché un ricorso sempre maggiore alle fonti energetiche rinnovabili, con conseguenti importanti ricadute, anche economiche, che rafforzano conoscenze e competenze tecnologiche. Se da un lato è forte la consapevolezza di come, da una tale strategia, derivino effetti positivi sul piano ambientale, energetico, tecnologico e sul sistema economico, dall'altro si va accentuando il dibattito sulle condizioni che maggiormente possono muovere, in ciascun sistema economico, una "dinamica virtuosa" che vede coinvolte innovazione tecnologica, crescita economica e rispetto dell'ambiente.

Mentre le Nazioni Unite, alla luce delle nuove sfide della globalizzazione, intendono stabilire i pilastri di una *green economy*, molti paesi, sull'esempio dell'amministrazione statunitense, stanno destinando notevoli risorse a "pacchetti di stimolo" all'economia caratterizzati da misure a favore di investimenti nelle tecnologie pulite. Ciò ha determinato importanti ricadute occupazionali e l'apertura di nuovi e interessanti mercati. La *green economy*, quindi, rappresenterà una grande opportunità non solo per i paesi occidentali, ma anche per quelli emergenti, come la Cina e il Brasile, che mirano ad affermare e a consolidare posizioni di rilievo nello scacchiere energetico internazionale e, al tempo stesso, un'opportunità per quei paesi del bacino Mediterraneo in cui stanno emergendo in maniera evidente i problemi legati all'accesso alle risorse (energia e acqua) delle fasce più povere della popolazione.

L'emergere di una "domanda" di nuova e profonda trasformazione di sistemi produttivi industriali impone al Paese, una volta di più, l'attuazione di politiche per l'innovazione del suo sistema produttivo. L'esperienza dei paesi europei, che già hanno iniziato a maturare benefici dallo sviluppo delle tecnologie per le rinnovabili, e in particolare da quelle di "seconda generazione", dimostra, infatti, che sono decisivi l'entità e il coordinamento di due fattori essenziali: quello della ricerca pubblica insieme con quello della ricerca privata. In questo quadro, l'Italia ha qualche difficoltà nella tenuta competitiva della propria base industriale, proprio nei nuovi settori delle tecnologie *low-carbon*. Gli investimenti italiani in questi settori, infatti, nonostante mostrino negli ultimi anni un apprezzabile tasso di crescita, sono ancora sbilanciati a favore di progetti per la generazione di energia, rispetto agli investimenti destinati all'innovazione tecnologica e al rafforzamento di una capacità produttiva. Tuttavia, sulla generazione di energia va anche rilevato che i grandi progetti di ricerca nei settori di frontiera, come per esempio la fusione nucleare, portano spesso a ricadute tecnologiche positive in molti altri settori diversi da quello energetico, perché le sfide tecnologiche poste stimolano nuovo know how, nuovi processi di produzione e nuovi prodotti, anche per tutte quelle imprese coinvolte per la messa a punto di soluzioni di assoluta avanguardia in tali grandi progetti.

In quest'ottica assume una particolare importanza il ruolo che gioca l'ENEA nelle nuove funzioni di Agenzia che si aggiungono a quelle tipiche di Ente di ricerca, rafforzando il suo mandato verso il sistema della produzione e dei servizi a supporto del decisore pubblico nel campo delle politiche e misure in campo energetico e ambientale, e verso il sistema imprenditoriale. Si amplificano in questo modo le capacità di intervento che l'ENEA è in grado di esplicare in ragione del grande bagaglio di competenze ed esperienze e del vasto repertorio di strumentazione di cui dispone nei suoi laboratori e centri di ricerca. Tale condizione aggiunge efficacia alle attività svolte con le imprese attraverso lo sviluppo di modalità di lavoro congiunte, incentrate sulle *facility* tecnologiche e sulle competenze tecnico-scientifiche presenti presso i suoi laboratori. Il "sistema Paese" non può comunque prescindere dal confrontarsi e interagire con le politiche e i programmi di ricerca e sviluppo tecnologico in ambito internazionale: a questo fine l'Agenzia ENEA svolge insieme un ruolo di raccordo e rappresentanza nelle istanze a livello comunitario e mondiale, e di stimolo in ambito nazionale per rafforzare le reti del sistema della ricerca e del sistema industriale, nella direzione di uno sviluppo ambientalmente ed economicamente sostenibile.

1. UNEP – *Toward a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication* – Report ISBN: 978-92-807-3143-9, UNEP Nairobi, February 21, 2011.
2. *Report of the Commission on the measurement of economic performance et social progress*, September 14, 2009.

World View



2011: anno internazionale delle foreste, ma i cambiamenti climatici rimangono la priorità

Le foreste sono la struttura di base di un pianeta vivente ed in armonica evoluzione, l'elemento principale attorno a cui si sviluppa e si evolve la diversità biologica terrestre animale e vegetale. Le foreste sono anche un baluardo contro il degrado del suolo e i rischi di desertificazione. Inoltre, sono il principale fattore di regolazione dell'anidride carbonica atmosferica e di stabilizzazione del clima. Le foreste sono infine la casa ed il patrimonio dei popoli indigeni che vivono in simbiosi con esse e con cui hanno costruito la loro cultura e le loro tradizioni. Questi ruoli molteplici, evidenziati dalle Nazioni Unite, spesso sottovalutati, nei decenni più recenti sono stati messi in serio pericolo, nel terzo mondo, da una deforestazione selvaggia e premeditata, che alimenta sia il commercio illegale del legno e sia un'agricoltura meno interessata a produrre derrate alimentari per i popoli afflitti da fame o penuria, ma a produrre bio-carburanti, risorse organiche o genetiche e

perfino piante da droga, da cui trarre enormi profitti. Contro il degrado forestale, la gestione insostenibile delle foreste e la stessa distruzione del patrimonio forestale del pianeta, le Nazioni Unite hanno proclamato il 2011 anno internazionale delle foreste, da celebrare con una serie di eventi durante tutto il corso dell'anno. Il primo evento che ha dato l'avvio alle celebrazioni, è stato il "Forum delle Foreste" del 24 gennaio 2011, focalizzato su quattro tematiche principali: foreste come patrimonio dei popoli del mondo, foreste come base dell'evoluzione della vita sulla terra, foreste come presupposto per sradicare la povertà e le condizioni di sussistenza, e foreste come strumento portante per lo sviluppo della green economy. Al Forum ha fatto seguito la cerimonia inaugurale tenuta a New York il 4 febbraio. Con una discussione plenaria e l'approvazione di una risoluzione: "Omnibus Resolution" che è stata trasferita al Consiglio Economico e Sociale delle Nazioni

Unite per i seguiti di competenza e all'UNEP. Nel messaggio di inizio d'anno del Segretario Generale delle Nazioni Unite, Ban Ki-moon, pur sottolineando l'importanza di evidenziare nel 2011 il ruolo delle foreste, ha sottolineato che non bisogna perdere di vista le priorità di azione che le Nazioni Unite intendono portare avanti oltre il 2011. Innanzitutto, è necessario aggiornare, a circa 65 anni dalla sua fondazione, il ruolo delle Nazioni Unite, in un mondo come quello attuale che cambia rapidamente e che è molto diverso da quello del dopoguerra, in cui le Nazioni Unite presero avvio. Lo spirito con cui era nata questa grande organizzazione intergovernativa mondiale era quello di un grande forum mondiale per prevenire i conflitti, risolvere i contenziosi, combattere le discriminazioni, aiutare i paesi più bisognosi ecc. Pur rimanendo intatti questi valori di base, deve tuttavia essere rafforzato il ruolo delle Nazioni Unite e le sue capacità di intervento, perché le azioni che le Nazioni Unite sono ora chiamate a compiere devono poter essere effettivamente utili per un futuro mondiale migliore. Per quanto riguarda le azioni, nell'attuale contesto mondiale, le Nazioni Unite



devono perseguire alcune priorità:

- i cambiamenti climatici (ed i problemi collegati di sviluppo sostenibile, protezione dell'ambiente, sicurezza alimentare ecc.);
- il disarmo e la messa a bando delle armi nucleari (bandire le guerre come strumento di risoluzione delle controversie, bandire armi nucleari e di distruzione di massa);
- la crisi finanziaria e la povertà (regolamentare i mercati internazionali, eliminare le barriere e garantire a tutti l'accesso ai mercati, sviluppare la nuova economia verde);
- la pace e la sicurezza dei popoli (prevenire le controversie ed i conflitti fra i popoli, costruire processi di pace e di convivenza pacifica, consolidare la pace);
- la salute (garantire la sicurezza sanitaria dei popoli, prevenire le pandemie, ridurre la mortalità infantile);
- l'uguaglianza di genere (assicurare alle donne uguali diritti e uguali libertà di autodeterminazione, eliminare violenze e discriminazioni, proteggere la maternità).

Il secondo decennio del terzo millennio deve rappresentare una vera svolta di cui la Conferenza delle Nazioni Unite sullo sviluppo sostenibile che si terrà nel 2012 (detta Conferenza Rio+20) sarà allo stesso tempo una verifica di quanto finora fatto a partire dalla Conferenza di Rio del 1992 ed una premessa delle tante cose che ancora si dovranno fare per raggiungere l'obiettivo di uno sviluppo socio-economico mondiale sostenibile, ma anche equo e responsabile.

(Giuliano Ghisu)

Gli alisei che spirano sull'Atlantico si sono indeboliti

I venti alisei che spirano sull'oceano Atlantico intertropicale non sono più intensi come una volta, quando favorivano una veloce navigazione a vela per attraversare l'Atlantico dalle coste africane a quelle dell'America centrale e del Nord del Brasile. Questi venti quasi costanti, che sono originati dalla circolazione generale dell'atmosfera, appaiono ora in declino a causa del riscaldamento delle acque dell'oceano Atlantico nella fascia equatoriale centro-orientale. È quanto hanno scoperto due ricercatori (un oceanografo ed un meteorologo) dell'Università delle Hawaii. La ricerca, pubblicata da Nature Geoscience (<http://www.nature.com/ngo/journal/vaop/ncurrent/abs/ngo1078.html>), si basa su una serie di osservazioni condotte per oltre mezzo secolo sulla temperatura superficiale delle acque oceaniche e su una nuova analisi dei dati anemologici storici che in quell'area erano affetti da errori, essendo stati rilevati da navi di linea tra l'Africa e l'America. I risultati ottenuti mostrano che la lingua di acqua calda che parte dalle coste del Golfo di Guinea, in Africa, e si estende verso la parte settentrionale del Brasile, è molto pronunciata durante l'estate boreale e sta provocando due conseguenze molto significative. Da una parte sta modificando l'andamento, ma soprattutto le naturali oscillazioni, delle grandi correnti marine atlantiche nella zona intertropicale. Dall'altra,

la superficie oceanica surriscaldata sta modificando le caratteristiche delle correnti aeree sovrastanti, sia in termini di riduzione dell'intensità dei venti alisei, sia in termini di maggiore instabilità dell'atmosfera, cosa che favorisce più intensi fenomeni termococonvettivi con forti precipitazioni di carattere temporalesco, o alluvionale, che si estendono anche nell'entroterra africano del Golfo di Guinea e che rinforzano il monzone africano (le precipitazioni negli ultimi 60 anni sono aumentate di oltre il 90%). Questa situazione porta ad altre conseguenze secondarie sulla stessa fascia di latitudini, come l'aumento della siccità nell'Africa subsahariana verso est, e l'aumento delle precipitazioni nell'area amazzonica orientale verso ovest. Tutti questi fenomeni derivano dai cambiamenti climatici, non quelli associati al riscaldamento globale derivante dalle maggiori emissioni di anidride carbonica, quanto piuttosto quelli legati all'aumento delle emissioni di aerosol (che hanno un effetto raffreddante), aumento che è maggiore nell'emisfero nord e minore nell'emisfero sud. La diversa distribuzione di aerosol in atmosfera innesca una serie di effetti asimmetrici sulla radiazione solare che viene assorbita dalle acque oceaniche e che porta ad una differenza di temperatura a cavallo dell'equatore, con una minore radiazione termica e solare assorbita a nord dell'equatore (derivante dalla maggiore diffusione degli aerosol) ed una maggiore radiazione termica e solare assorbita a sud dell'equatore (per la minore diffusione degli aerosol).

(Paola Molinas)



La lotta alla deforestazione si vince con una nuova concezione di sviluppo economico

La IUFRO (International Union of Forest Research Organizations) ha pubblicato un nuovo studio (*Embracing complexity: Meeting the challenges of international forest governance. A global assessment report*, IUFRO World Series, vol. 28, Vienna 2011, pp. 172) in cui si afferma che gli sforzi internazionali per frenare la deforestazione continueranno a fallire in quanto le azioni condotte non agiscono sulle cause, ma sono azioni di rimedio, quali la riforestazione, o misure volte a contrastare i processi di degrado delle foreste. Le cause della deforestazione,

infatti, vengono viste solo in una concezione di sviluppo legato al parametro economico, come quello della produzione agricola industriale o quello energetico fondato su pratiche e comportamenti non sostenibili. Nonostante le iniziative intraprese dalle Nazioni Unite per la salvaguardia delle biodiversità e per bloccare il commercio illegale del legno, le foreste tropicali perdono in Sudamerica più 40 mila km quadrati per anno e in Africa 340 mila km quadrati tra il 2000 ed il 2010 (più della superficie italiana che è di 300 mila km quadrati), con una media di 34 mila km quadrati per anno.

Il meccanismo REDD (Riduzione di Emissioni per Deforestazione e Degrado), di cui si sta discutendo nei negoziati sui cambiamenti climatici, quantunque apparentemente vada nella direzione giusta mettendo in primo piano le specificità locali non solo ambientali, ma anche economiche e sociali, ripercorre in realtà gli errori del passato poiché il modello di sviluppo socio-economico di riferimento è quello globalizzato e non quello locale. Il REDD, infatti, assegna alle foreste l'unico ruolo di assorbitore dell'anidride carbonica atmosferica (carbon sink), ignorando il loro contributo fondamentale per la sussistenza delle popolazioni locali, oltre che di struttura portante per gli ecosistemi.

Secondo la IUFRO, il meccanismo

REDD dovrebbe essere ripensato, mettendo in primo piano gli interessi delle popolazioni indigene sia ai fini dello sviluppo agricolo e di uso locale del territorio per l'eradicazione della povertà, sia ai fini della gestione e della conservazione delle foreste. Senza la partecipazione di chi ha vissuto e vive dentro e con le foreste, e senza tener conto delle giuste esigenze di sviluppo di tali popolazioni, i meccanismi di lotta alla deforestazione messi a punto con modelli calati dall'alto per risolvere i problemi globali causati dai paesi ricchi, siano essi di lotta ai cambiamenti climatici, che di protezione delle risorse genetiche e della biodiversità, che di lotta al commercio illegale del legno, si tradurranno inevitabilmente in un ennesimo fallimento.

(Paola Molinas)

Iniziata la sesta estinzione di massa nella storia della Terra? Studio su rivista *Nature*

In un articolo pubblicato sul numero di *Nature* del 3 marzo 2011 (<http://www.nature.com/nature/journal/v471/n7336/full/nature09678.html>), alcuni scienziati dell'Università della California affermano che l'attuale velocità di perdita della biodiversità e di estinzione di molte specie animali



terrestri e marini è tale da aver avviato la sesta grande estinzione di massa della storia della nostra terra. Questa affermazione deriva da uno studio comparato con le precedenti 5 estinzioni di massa avvenute negli ultimi 540 milioni di anni, in ciascuna delle quali si estinse circa il 75% delle specie animali allora esistenti. I periodi durante i quali avvennero tali estinzioni si aggirano intorno al migliaio di anni, tempi brevissimi nella scala di quelli geologici. Ebbene, la velocità media di perdita delle attuali specie critiche (soprattutto tra i mammiferi e gli anfibi) è tale da far prevedere una loro estinzione in meno di 1.000 anni. In una valutazione complessiva, il tasso di perdita delle diverse specie esistenti, considerato in diversi scenari di criticità futura, porta alla conclusione che, tra un minimo di 300 anni ed un massimo di 2.200 anni, la terra andrà incontro alla sua sesta grande estinzione di massa. Poiché questo rischio potrà diventare realtà se non si fa nulla per contrastarlo, gli autori suggeriscono di agire fin da subito per ripristinare gli equilibri degli ecosistemi, deframmentare gli habitat naturali, stabilire reti ecologiche, ma soprattutto combattere i cambiamenti climatici che sono tra l'altro causa principale di migrazione di specie invasive, di destabilizzazione degli equilibri naturali e di perdita della biodiversità.

(Paola Molinas)

Per un'economia *low-carbon* al 2050: la roadmap della Commissione Europea

Un'economia competitiva ma caratterizzata da basse emissioni di carbonio (*low-carbon*). È l'obiettivo a lungo termine, per l'anno 2050, fissato in una Comunicazione – COM(2011) 112 – della Commissione Europea.

Nel testo, pubblicato lo scorso 8 marzo, vengono innanzitutto ricordati gli obiettivi a breve termine (anno 2020) nel campo energetico-ambientale: riduzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto al 1990; portare al 20% la quota delle fonti rinnovabili nel mix energetico; migliorare l'efficienza energetica del 20%. La Commissione ritiene che, per il 2020, questi obiettivi saranno raggiunti per le emissioni di gas serra e le fonti rinnovabili mentre per l'efficienza energetica occorreranno ulteriori e sostanziosi sforzi. Se i Piani nazionali di efficienza energetica fossero interamente realizzati, la riduzione delle emissioni potrebbe persino arrivare al 25%.

L'Agenzia Europea per l'Ambiente stima che nel 2009 vi sia stata una riduzione delle emissioni di gas serra da parte dei 27 Stati membri di circa il 16% (incluse le emissioni generate dal trasporto aereo internazionale) rispetto ai livelli del 1990 (le stime per il 2010 saranno disponibili tra qualche mese). Nello stesso periodo l'economia europea è cresciuta di circa il 40%, riuscendo a scindere l'andamento delle proprie emissioni (verso il basso) dal proprio sviluppo

economico (verso l'alto).

La Commissione, proiettandosi oltre il 2020, fissa quindi gli obiettivi a più lungo termine per contrastare i cambiamenti climatici e ridurre i consumi di energia. Gli obiettivi per il 2050 sono molto ambiziosi: la riduzione delle emissioni di gas serra dell'80% rispetto ai livelli del 1990, quota ritenuta necessaria per limitare il riscaldamento globale a 2 C° sopra l'attuale livello, comporta infatti il potenziamento delle iniziative già in corso in tutti i settori coinvolti: settore elettrico, trasporto, industria, residenziale e terziario, agricoltura. Due sono gli obiettivi fissati per le tappe intermedie: il 2030, in cui si prevede un 40% di riduzione dei gas serra rispetto all'anno di riferimento (il 1990), e il 2040, con target il 60%.

I costi – Sarà necessario, per quattro decenni, un aumento di 270 miliardi annui di € negli investimenti pubblici e privati (l'1,5% di PIL annuo) perché i paesi dell'Unione Europea godano dei frutti di una economia "decarbonizzata": fino ad 1,5 milioni di posti di lavoro addizionali già nel 2020, abbattimento della fattura petrolifera e delle importazioni di combustibili fossili, riduzione dell'inquinamento nelle città con l'adozione di "tecnologie pulite" (edifici a basso consumo, auto ibride ed elettriche). In breve, entriamo nel dettaglio degli obiettivi previsti nei vari settori.

Settore elettrico – Si prevede la quasi totale eliminazione delle emissioni di CO₂ nel 2050, senza ridurre, anzi aumentando la produzione di energia elettrica, che dovrà soddisfare anche parte del fabbisogno nel trasporto e nel riscaldamento. Prevista anche la crescita progressiva e la competitività economica delle tecnologie energetiche *low-carbon* (fotovoltaico ecc.), soprattutto se accompagnate da limiti alle emissioni generate dai combustibili fossili e da *carbon tax*. Saranno necessari investimenti massicci sulle reti di trasmissione per facilitare l'immissione in rete di energia elettrica generata da fonti rinnovabili variabili e la generazione distribuita (smart grids).

Trasporto – Per una mobilità sostenibile occorrerà intervenire su più fronti: veicoli con motori più efficienti, nuovi design e materiali; nuovi sistemi di propulsione e combustibili; sistemi di informazione e comunicazione per la gestione dei flussi di traffico. Nella fase di transizione occorrerà intervenire con misure di disincentivo economico all'uso dell'auto in città (tariffe di entrata e per l'uso delle infrastrutture viarie), misure di favore verso il trasporto pubblico e i veicoli ibridi ed elettrici, rimodulazione degli orari, promozione dei biocombustibili a partire dal settore aereo e dal trasporto pesante, e successivamente negli altri settori ecc. In arrivo il Libro Bianco sul Trasporto, con cui la Commissione

firmerà iniziative specifiche e *roadmap* di settore.

Edifici – L'ambiente costruito riveste grandi potenzialità di riduzione delle emissioni, fino al 90% nel 2050. Ma già a breve termine, e a basso costo, si possono ottenere risultati migliorando la *performance* energetica degli edifici. Secondo le Direttive già emanate o le Comunicazioni in arrivo, i nuovi edifici, a partire da quelli pubblici, dovranno osservare standard di efficienza energetica e, dal 2021, dovranno essere "intelligenti" e a basso o nullo consumo di energia.

Settore industriale – La Commissione ritiene che le emissioni di gas serra del settore (CO₂, protossido di azoto e metano) possano essere complessivamente ridotte per il 2050 dell'83-87%, quelle delle industrie *energy intensive* per almeno la metà. I mezzi che lo renderanno possibile saranno soprattutto l'introduzione di processi industriali e di macchinari più avanzati, ma dopo il 2035 diventeranno rilevanti, in settori come quello del cemento e dell'acciaio, la cattura e il sequestro dell'anidride carbonica emessa. I costi per le industrie coinvolte non dovrebbero essere eccessivi, ma la UE ha previsto delle contromisure se i costi aggiuntivi dovessero determinare rischi di chiusura di impianti e delocalizzazione, soprattutto se nelle altre aree geopolitiche non fossero adottate misure simili verso i propri settori industriali.

Agricoltura sostenibile – Per la Commissione le emissioni di gas serra (esclusa la CO₂) possono essere ridotte dal 42 al 49% entro il 2050. Per far questo le politiche agricole dovrebbero focalizzarsi su aumenti ambientalmente sostenibili di efficienza nella produzione agricola, uso efficiente dei fertilizzanti, biogassificazione dei liquami e residui organici, migliore gestione di questi liquami e residui, migliori alimenti per animali, diversificazione e commercializzazione della produzione, produttività degli allevamenti. Le migliori pratiche agroforestali conserveranno il carbonio presente nei suoli e nella vegetazione salvaguardando e ripristinando praterie, zone umide, torbiere e terre non coltivate, riducendo così l'erosione dei suoli e sviluppando le foreste. Agricoltura e silvicoltura dovranno anche fornire le risorse crescenti per la bioenergia e l'industria. Tutte queste misure saranno in seguito oggetto della nuova Politica Agricola Comune a partire dal 2013.

Dimensione internazionale – Dato che l'Unione Europea contribuisce con poco più del 10% delle emissioni globali di gas serra, la Commissione prevede di coinvolgere gli altri partner internazionali, i maggiori produttori di gas serra, nei negoziati per un'azione coordinata a livello globale e di aumentare la cooperazione con le aree più prossime geograficamente alla UE.

(Valerio Abbadessa, Giuliano Ghisu)



Un pianeta polveroso e l'Italia ne soffre di più

Polveri ed aerosol presenti in atmosfera sono causati da fenomeni naturali (erosione del suolo, vulcanismo, sali nelle gocce d'acqua ecc.), vento e attività umane. La maggior parte delle polveri naturali proviene dai deserti e la loro quantità in atmosfera dovrebbe mantenersi costante sul lungo periodo. Ricercatori di alcune università USA avrebbero scoperto, con una ricostruzione storica di dati tratti da laghi, coralli e ghiacci (pubblicata sulla rivista *Atmospheric Chemistry and Physics*), che nel XX secolo la concentrazione di polveri desertiche in atmosfera è raddoppiata, con conseguenze sia sull'effetto serra atmosferico (le polveri hanno un effetto raffreddante), sia sull'aumento delle precipitazioni (le polveri favoriscono la formazione di nubi). L'aumento deriverebbe sia dai cambiamenti climatici, causa di maggiore estensione di aree aride, sia da attività agricole e di pascolo, che degradano i suoli. Per il Mediterraneo,

sulla base di misure effettuate presso la stazione ENEA di osservazioni climatiche di Lampedusa, le polveri provenienti dal deserto del Sahara causano in Italia e nel sud Europa effetti più rilevanti, soprattutto sul bilancio energetico dell'atmosfera, di quelli osservati in altre regioni del pianeta o connessi con altri tipi di particolato. Nel caso di consistenti flussi di polveri desertiche sull'Italia, le misure ENEA mostrano una forte riduzione della radiazione solare al suolo, assorbita in atmosfera dalle polveri. Queste, dopo aver assorbito la radiazione solare, emettono radiazione infrarossa (termica) diretta verso il suolo, determinando un riscaldamento dell'aria nei bassi strati atmosferici, che bilancia per un 20-50% il raffreddamento prodotto dalle polveri desertiche in atmosfera. Tali fenomeni generano spesso instabilità locali delle masse d'aria atmosferiche, con l'innesco di moti convettivi verticali e la formazione di nubi anche a carattere temporalesco. In altri casi, le polveri invadono la nostra penisola inglobate nelle perturbazioni meteorologiche a carattere caldo provenienti da sud. L'esposizione dell'Italia alle polveri del deserto si manifesta anche nell'inquinamento atmosferico. Dal 5% al 50% circa dei casi (secondo le località e le situazioni meteorologiche), il superamento della soglia di inquinamento da polveri sottili (PM-10) è causato dalle polveri desertiche che invadono l'Italia piuttosto che dal traffico e da attività umane inquinanti.

(Alcide Di Sarra, Giuliano Ghisu, Gabriele Zanini)

Dal 2012 le emissioni di CO₂ dal trasporto aereo europeo dovranno diminuire

A partire dal 2012, in attuazione di una Decisione della Commissione Europea del 7 marzo scorso, le emissioni dei voli nazionali ed internazionali che arrivano e partono dagli aeroporti europei faranno parte dell'*Emissions Trading Scheme* (ETS) dell'Unione Europea (EU ETS). Questo rappresenta un ulteriore passo avanti nella politica energetico-ambientale dell'Unione Europea per limitare l'impatto sui cambiamenti climatici di settori energivori, quali il settore aeronautico.

L'EU ETS è iniziato il 1° gennaio 2005 e, nella sua fase iniziale, comprendeva circa 10.000 impianti industriali ad alta intensità energetica, responsabili di quasi la metà delle emissioni di CO₂ dell'Unione Europea.

Al pari dei suddetti impianti, le compagnie aeree riceveranno permessi commerciabili che coprono una parte delle emissioni annue di CO₂ dei loro voli. Alla fine di ogni anno ciascuna compagnia dovrà restituire un numero di permessi pari alle loro reali emissioni.

Il numero totale dei permessi del settore aereo è stato calcolato come media annua delle emissioni storiche di CO₂ relative agli anni 2003, 2004 e 2005. Nel 2012 il



numero di permessi che verrà assegnato sarà il 97% delle media delle emissioni storiche. Nel periodo 2013-2020 questa percentuale sarà ridotta fino al 95%.

Le emissioni dirette del settore aereo rappresentano circa il 3% delle emissioni totali di gas serra dell'Unione Europea.

La maggior parte delle emissioni derivano dai voli internazionali.

Tale valore non comprende gli effetti indiretti sui cambiamenti climatici, come le emissioni di NOx dalla combustione dei sistemi di propulsione e gli effetti dovuti alla formazione delle scie di condensazione e della formazione delle nuvole a cirro.

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ha stimato che l'impatto totale del settore aereo sia da 2 a 4 volte maggiore del solo effetto dovuto alla CO₂.

Studi recenti delle UE stimano però una minore incidenza. Le emissioni della UE derivanti dai voli internazionali stanno aumentando in modo rapido come conseguenza della diminuzione del costo dei viaggi: si stima che tali emissioni siano raddoppiate a partire dal 1990. L'entità delle emissioni del settore aereo sono tali che, al momento in cui il settore aereo entrerà a far parte dell'EU ETS, tali emissioni saranno seconde solo a quelle prodotte dalla generazione elettrica.

(Domenico Santino)

Formazione di biossido di azoto in atmosfera

Nel numero di marzo della rivista *Environmental Science & Technology* (Rubasinghege et al., Mechanism for the Formation of Atmospheric Nitrous Oxide from Ammonium Nitrate, *Environ. Sci. Technol.*, 45, pp 2691-2697, 2011) ricercatori della University of Iowa comunicano la scoperta di un nuovo meccanismo di produzione di N₂O, importante gas serra dannoso per lo strato di ozono.

La maggior parte degli studi era finora focalizzata su processi biologici di produzione di N₂O al suolo, considerata predominante. Il nuovo meccanismo è invece caratterizzato dall'interazione della radiazione luminosa con il nitrato di ammonio (un fertilizzante) presente in particelle sospese per aria. Gli autori stimano che questo meccanismo contribuisca per il 5% alle emissioni antropiche di N₂O degli USA e che sia rilevante soprattutto nelle regioni agricole e urbane. Come precisa l'esperto dell'ENEA Alcide Di Sarra, alcide.disarra@enea.it, che abbiamo interpellato in proposito, esistono incertezze consistenti nella determinazione dei processi di produzione di N₂O e nel peso delle varie sorgenti. Questo gas gioca un ruolo rilevante in atmosfera: per importanza è il quarto gas ad effetto serra ed è la principale sorgente di composti in grado di distruggere

l'ozono in stratosfera. Le variazioni del rapporto di mescolamento di N₂O in atmosfera (numero di sue molecole in un numero fisso di molecole d'aria) sono in genere molto piccole, e sono necessarie misure molto accurate per studiarne la variabilità e identificare i vari fattori che ne determinano l'evoluzione. L'ENEA effettua misure di N₂O atmosferico dal 1996 a Lampedusa. Da queste osservazioni si evidenzia un tasso di crescita di circa 0,8 ppb/anno (parti per miliardo/anno, Artuso et al., Tropospheric halocarbons and nitrous oxide monitored at a remote site in the Mediterranean, *Atmos. Environ.*, 44, 4944-4953, 2010). Oltre ai gas ad effetto serra, a Lampedusa vengono effettuate molte altre misure di parametri rilevanti per il clima. Le misure, inserite in grandi programmi internazionali di ricerca, riguardano sia proprietà e composizione del particolato che flussi di radiazione, e potranno permettere di verificare la rilevanza dei meccanismi di produzione di N₂O in ambiente remoto.

(Alcide Di Sarra, Antonino Dattola)





Elettricità salata: energia dalla differenza di salinità

Alla foce di un fiume avviene una silenziosa ma immane dissipazione di energia: si tratta della perdita di "energia libera", cioè dell'energia che si sviluppa quando si miscelano liquidi con diversa concentrazione salina. La portata d'acqua del Tevere, per esempio, dissipa un flusso medio di energia di 500 MW pari al fabbisogno energetico di una città. Già dagli anni 70 era nota la possibilità di intercettare questo flusso di "energia libera", convertendolo in energia meccanica o elettrica. Le principali tecnologie utilizzate sono quella a pressione osmotica e quella a elettrodialisi inversa.

La prima tecnologia, basata sullo sfruttamento della pressione osmotica, consiste nel mettere a contatto acqua dolce e acqua salata attraverso una membrana. Il liquido a più alta concentrazione di sale richiama acqua dall'altro comparto: questo flusso genera una pressione sull'acqua salata che aziona una turbina per la produzione di energia elettrica.

La seconda tecnologia, l'elettrodialisi inversa, sfrutta, invece, la mobilità degli ioni, elettricamente carichi, presenti nell'acqua salata. Ioni con carica elettrica positiva e ioni con carica elettrica negativa vengono separati per mezzo di membrane permeabili soltanto alle cariche

elettriche. Le cariche elettriche, poi, vengono attratte da elettrodi immersi nell'acqua dolce. In questo modo, gli elettrodi raccolgono la corrente elettrica generata dal flusso di ioni. Queste tecnologie, però, quando applicate su scala industriale per la produzione effettiva di elettricità, si sono dimostrate molto inefficienti. Solo grazie a recenti miglioramenti tecnologici si è potuto iniziare a costruire piccoli impianti pilota, come quello esistente in Norvegia, che sfrutta la pressione osmotica, e quello in fase di realizzazione nei Paesi Bassi, che sfrutta l'elettrodialisi inversa. Ma, anche con tali miglioramenti dell'efficienza, la convenienza economica di questi impianti pilota si basa soprattutto sulle dimensioni, cioè sulla grande abbondanza di acqua dolce che si riversa in mare nei paesi nei quali saranno installati. In Italia, questo tipo di impianti, per essere competitivi, potrebbero sfruttare la più alta differenza di salinità tra acqua di mare e acqua satura di sale ottenuta dalle saline, con notevoli vantaggi ecologici ed economici, nonché di semplificazione dell'impianto, rispetto agli impianti pilota sopradetti. Recentemente Dorian Brogioli, ricercatore ENEA, ha proposto, sulla base di un nuovo principio fisico, una soluzione diversa per effettuare la conversione della

differenza di salinità in energia elettrica (D. Brogioli, *Phys. Rev. Lett.* 103, 058501 (2009); *Energy & Environmental Science* 4, 772 (2011)). La tecnologia messa a punto, denominata "espansione del doppio strato capacitivo", utilizza elettrodi di carbone attivo immersi in acqua salata che vengono caricati elettricamente. L'acqua salata viene, poi, sostituita dall'acqua dolce: in questo modo l'energia immagazzinata dagli elettrodi aumenta, fino a generare un surplus di elettricità che può essere estratto. Una volta estratta l'elettricità, si inizia un nuovo ciclo di ricarica elettrica con acqua salata e di successiva sostituzione dell'acqua salata con acqua dolce, e così via. Una variante di questa tecnologia, che utilizza materiali alternativi per gli elettrodi, come l'ossido di manganese e il cloruro d'argento, è stata proposta in USA dalla Stanford University (La Mantia et al., *Nano Letters*, in corso di pubblicazione (2011)). I risultati sperimentali preliminari finora ottenuti mostrano che è possibile estrarre energia in modo efficiente. Ma il vantaggio maggiore, rispetto alle tecnologie già note, è che la nuova tecnologia proposta da Brogioli non ha bisogno di costose membrane (che pongono, tra l'altro, grossi problemi di manutenzione), perché utilizza soltanto elettrodi costituiti da un materiale poroso di basso costo come il carbone attivo.

(Stefania Marconi)

Energia svincolata dai combustibili fossili?

Si può fare!

L'energia proveniente dal vento, dall'acqua e dal sole potrebbe soddisfare la domanda mondiale di energia al 2030 e sostituire completamente i combustibili fossili al 2050 a costi pari agli attuali costi di produzione di energia da fossili. Lo afferma un poderoso studio, in due parti, pubblicato da *Nature - Climate Change*, che può essere visualizzato nella pagina web <http://www.nature.com/nclimate/2011/110118/full/nclimate1032.html>. Due ricercatori, uno dell'Università di Stanford e l'altro dell'Università di California, hanno dapprima esaminato le fonti energetiche, le tecnologie energetiche, le infrastrutture energetiche e gli usi dell'energia, poi hanno valutato la fattibilità della sostituzione degli attuali usi dell'energia da combustibili fossili con energia proveniente da vento, acqua e sole, esaminando anche i sistemi di produzione e di trasmissione dell'energia, compresi i costi e le politiche necessarie per una conversione totale. I risultati si possono così sintetizzare. Nel 2030 la domanda mondiale di energia (usi finali) sarà attorno agli 11,5 trilioni di watt, pari a 11.500 GW. Utilizzando vento, acqua e sole si potrebbero ricavare nel 2030 almeno 100.000 GW, cioè un ordine di grandezza in più del necessario, di cui circa 84% potrà essere fornito da 4 milioni di turbine

eoliche da 5 MW e da 90 mila impianti solari da 300 MW. Il rimanente 16% potrà essere, invece fornito, da piccoli impianti solari fotovoltaici installati sui tetti degli edifici, dall'energia geotermica, dall'energia ricavabile dalle maree e da impianti idroelettrici. L'occupazione di suolo in più, rispetto all'occupazione attuale, sarebbe valutabile tra 0,41% e 0,59%.

In dettaglio si tratta di:

- 3,8 milioni di turbine eoliche da 5 MW;
- 49 mila impianti solari a concentrazione da 300 MW;
- 40 mila impianti solari fotovoltaici da 300 MW;
- 1,7 miliardi di impianti fotovoltaici da 3 kW da installare sugli edifici;
- 5.350 impianti geotermici da 100 MW;
- 270 nuovi impianti idroelettrici da 1.300 MW;
- oltre 1 milione di piccoli impianti che sfruttano le maree e le correnti marine.

Per poter realizzare tutto ciò a grande scala, le infrastrutture di trasporto dell'energia e la rete di trasmissione dell'energia elettrica deve essere ristrutturata utilizzando le nuove tecnologie (comprese quelle informatiche). Per procedere a tale ristrutturazione occorrerebbe eliminare sussidi e incentivi elargiti a favore dei combustibili fossili e investirli nei sistemi alternativi in modo da incoraggiare la riconversione. Ma servirebbero anche opportune politiche industriali e sociali per favorire questa transizione.

(Giuliano Ghisu)

Batteri geneticamente modificati per produrre biocombustibili

Secundo recenti ricerche sulla produzione di biocombustibili mediante microorganismi, un particolare batterio (*Escherichia coli*) geneticamente modificato ha prodotto alcol butilico in quantitativi fino a 30 volte superiori a quanto ottenuto in precedenza (*Retooling a Bacterial Biofuel Factory*, <http://pubs.acs.org/cen/news/89/i14/8914news5.html>).

L'alcol butilico (n-Butanolo), oggi tra i migliori candidati all'uso come biocombustibile, è da tempo usato come solvente per l'estrazione di antibiotici dai liquidi di coltura e nella preparazione di vari prodotti chimici, e ricavato quasi esclusivamente da processi chimici, il principale dei quali si basa su un derivato del petrolio.

Poiché quantità considerevoli di alcol butilico si formano anche nella fermentazione dei carboidrati per opera di taluni microrganismi, in molti laboratori si studiano metodi per produrlo su larga scala attraverso questa via.

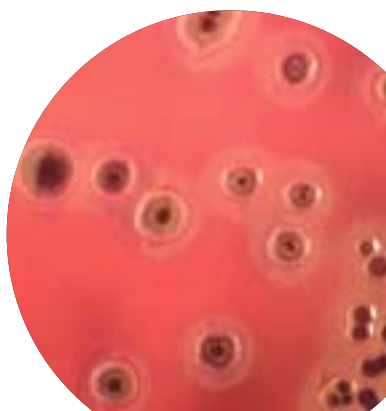
Come ci ha chiarito l'esperto dell'ENEA Giulio Izzo (giulio.izzo@enea.it), i lavori presentati al recente meeting dell'America Chemical Society riguardano la manipolazione genetica di un batterio che, su scala di laboratorio, mostra una buona resa



di produzione di n-Butanolo, tuttavia ciò non garantisce che il processo sia controllabile su grande scala. Tale batterio infatti, appartenente alla famiglia delle Enterobacteriacee, per produrre il biocombustibile richiede degli zuccheri. È però impensabile un'alimentazione con zuccheri già estratti da una biomassa (ad es. canna da zucchero, o barbabietola), mentre è più realistico partire da rifiuti lignocellulosici. Tali rifiuti possiedono già una ricca comunità di Enterobacteriacee, che competeranno con il batterio alieno senza grandi garanzie per la sua sopravvivenza o semplicemente dominanza.

Nei laboratori dell'ENEA viene studiata l'efficacia di comunità naturali di batteri anaerobi facoltativi (cioè in grado di vivere sia in presenza che in assenza di ossigeno) nel ricavare energia da rifiuti lignocellulosici. Applicando la tecnica della selezione e dell'amplificazione delle comunità naturali sono stati ottenuti risultati molto buoni che saranno presentati all'International Conference on Hydrogen Production 2011, in giugno (ICH2P-11).

(Antonino Dattola)



Conversione di proteine in biocombustibile.

Una prospettiva promettente

Nature Biotechnology segnala i risultati ottenuti nella messa a punto di un innovativo processo per la conversione delle proteine in biocombustibile (*Conversion of proteins into biofuels by engineering nitrogen flux*, <http://www.nature.com/nbt/journal/vaop/ncurrent/full/nbt.1789.html>). Il lavoro è stato effettuato in collaborazione tra ricercatori del Department of Chemical and Biomolecular Engineering e dell'Institute for Genomics and Proteomics, entrambi dell'Università della California, Los Angeles. Secondo questo studio il *Saccharomyces cerevisiae* (un lievito), batteri quali l'*Escherichia coli* (ospite abituale dell'intestino) e il *Bacillus subtilis* (conosciuto anche come bacillo del fieno, comunemente presente nel suolo) e le microalghe, possono essere usati come fonte di proteine per ottenere fino a 4,035 mg/l di alcol da una biomassa contenente circa 22 g/l di amminoacidi.

I biocombustibili derivati dalle biomasse sono un'alternativa ai combustibili fossili, ma la loro diffusione è ancora limitata dai costi non competitivi. Come ci ha chiarito l'esperto dell'ENEA, Giulio Izzo (giulio.izzo@enea.it), le biomasse, quali ad esempio le microalghe, sono composte in proporzioni quasi uguali

da zuccheri, da cui si ricava l'etanolo, da grassi, da cui si ricava il biodiesel e da proteine che spesso diventano un rifiuto da smaltire. Riguardo quest'ultimo aspetto, lo studio citato offre una prospettiva nuova e più conveniente per la valorizzazione della componente proteica. L'ENEA possiede la tecnologia per lo sviluppo massivo di microalghe su grandi estensioni ed è impegnata nella risoluzione dei vari aspetti tecnico-economici che ancora limitano l'uso dei biocombustibili derivati da questa biomassa. In tale direzione va lo sviluppo di nuovi processi di fermentazione per ottimizzare la resa energetica degli zuccheri e del glicerolo grezzo che è uno scarto della produzione del biodiesel. Con il nuovo processo, da poco sviluppato nei laboratori ENEA, una tonnellata di glicerolo produce circa 700 kg di etanolo e 200 m³ di idrogeno.

(Antonino Dattola)

Curiosa iniziativa di risparmio energetico in Gran Bretagna

La necessità di azioni efficaci, non solo a livello internazionale, ma anche nazionale e locale, per combattere il cambiamento climatico è ormai una priorità riconosciuta. Regioni, città, comunità locali, in molti casi, competono fra loro per definire programmi ed interventi per



l'efficienza energetica e l'uso razionale dell'energia. Ma il caso di Redditch, una piccola città inglese a circa 20 km a sud di Birmingham, ha destato un certo scalpore, quando alla fine del 2010 il consiglio comunale ha deliberato un programma di interventi innovativi di risparmio energetico uno dei quali, più che innovativo, è apparso certamente singolare. Si tratta, in particolare, del sistema di riscaldamento dei locali e dell'acqua della nuova piscina comunale, progettata per essere utilizzata sia per le competizioni agonistiche, sia per attività ricreative e di tempo libero. Il riscaldamento sarà fornito dal calore prodotto dall'inceneritore del forno crematorio esistente nel vicino cimitero. L'idea che i resti mortali dei propri cari siano trasformati in una fonte energetica per riscaldare una piscina, dove si va per rilassarsi e divertirsi, non è piaciuta a molti. La contea di Warwickshire, entro i cui confini amministrativi si trova Redditch, e che ha promosso e sponsorizzato il progetto, deve fare ora i conti con le proteste di gruppi religiosi, agenzie funebri, associazioni umanitarie di vario tipo e perfino con il personale del cimitero. La soluzione della controversia è stata demandata ad una commissione, in cui saranno rappresentati tutti i soggetti interessati e che dovrà trovare una soluzione di compromesso condivisa, nel rispetto, da una parte delle esigenze di uso efficiente dell'energia e, dall'altra, delle esigenze affettive e di memoria dei propri cari defunti.

(Giuliano Ghisu)

Innovazione tecnologica: l'Italia arranca in Europa

La Commissione europea ha presentato il nuovo "Quadro valutativo dell'Unione dell'innovazione" (febbraio 2011), rapporto annuale sullo stato dell'Europa dei 27 in materia di innovazione tecnologica e di competitività delle imprese. Il rapporto evidenzia che l'Europa non raggiunge ancora i livelli di Stati Uniti e Giappone, ma mantiene la leadership rispetto a Russia, Brasile, Cina e India. Il ritardo rispetto a Stati Uniti e Giappone riguarda il grado di innovazione tecnologica delle imprese, la ricerca scientifica e lo sviluppo tecnologico, in quanto gli investimenti privati europei, e i brevetti, sono inferiori a quelli americani e giapponesi. Migliore appare la situazione degli investimenti pubblici in ricerca e sviluppo e nei settori di eccellenza. Nonostante l'alta qualità della ricerca europea, il trasferimento tecnologico e le applicazioni non appaiono adeguati e il numero di occupati in settori ad alto contenuto di *know-how* è inferiore. Emergono grandi differenze tra i singoli paesi europei. Al primo posto la Svezia, seguita da Danimarca, Finlandia e Germania. Subito dopo si attestano nell'ordine: Gran Bretagna, Belgio, Austria, Irlanda,

Lussemburgo, Francia, Cipro, Slovenia ed Estonia. L'Italia non tiene il passo, sta sotto la media e compare nel gruppo diplomaticamente denominato degli "innovatori moderati", dove condivide la posizione con Polonia, Spagna, Portogallo, Grecia, Repubblica Ceca, Ungheria e Croazia, Slovacchia e Malta. Come parametri di valutazione il rapporto considera (in parentesi la posizione dell'Italia):

- risorse umane di alta qualificazione (24^a);
- ricerca scientifica (16^a);
- investimenti pubblici nell'innovazione (16^a);
- investimenti privati nell'innovazione (22^a);
- imprenditorialità e reti di imprese (collaborazioni fra imprese e fra pubblico e privato, spin-off della ricerca, 18^a);
- proprietà intellettuale (brevetti, patenti, applicazioni del know-how, 9^a);
- assetti innovatori (innovazione produttiva, innovazione di processi e di prodotti, 12^a);
- effetti dell'innovazione sull'economia (nuova occupazione, nuovi mercati, nuovi servizi, 20^a).

Scarseggiano da noi decisamente le risorse umane altamente qualificate, gli investimenti in ricerca e sviluppo, soprattutto da parte dei privati. Qualcosa riusciamo ad inventare ma mancano gli effetti in termini di nuova occupazione, di nuovi servizi e di nuovi mercati.

(Antonino Dattola)

LED tossici? L'Europa vigila, la ricerca offre la soluzione

L'Università della California-Irvine ha effettuato una ricerca sperimentale pubblicata sulla rivista *Environmental Science & Technology* (Environ. Sci. Technol., 2011, 45 (1), pp 320-327), i cui risultati mostrano che le comuni lampade a LED, per illuminazione, decorazione e mezzi di trasporto, sono potenzialmente tossiche e pericolose in caso di loro rottura e dispersione di frammenti nell'ambiente. Come noto, le lampade a LED trovano sempre maggiore diffusione non solo per la loro lunga durata ed elevata affidabilità, ma soprattutto per l'alta efficienza energetica, e concorrono alla riduzione delle emissioni di gas serra.

La tossicità di queste lampade deriva dal contenuto, nei diodi emettitori di luce e nel materiale di supporto, di piombo, arsenico, nichel e altre sostanze tossiche per l'ambiente e la salute, in quantità superiori ai limiti delle legge USA.

Come chiarito dall'esperto Simonetta Fumagalli (simonetta.fumagalli@enea.it) del Centro ENEA di Ispra, dove si svolgono ricerche sull'efficienza delle lampade a LED, questo problema è già noto in quanto per i LED si usano materiali molto specifici per ottenere emissioni luminose con determinate caratteristiche.

Il progresso scientifico e tecnologico è tuttavia in grado di controllare gli eventuali rischi connessi. La sicurezza per la popolazione in Europa viene garantita dalla direttiva RAEE (sui rifiuti elettrici ed elettronici) e dalla direttiva ROHS (sui limiti massimi ammissibili delle sostanze tossiche nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche), entrambe recepite in Italia (con DL n. 151/2005).

Il problema di possibili rischi sanitari si pone per i lavoratori professionalmente esposti nella fase di produzione industriale di tali dispositivi che, certamente, devono rispettare procedure molto severe sia per tutelare la propria salute, sia per proteggere l'ambiente.

Nuove e più avanzate ricerche dell'elettronica organica riguardano la messa a punto degli OLED, cioè nuovi LED che utilizzano, grazie alle nanotecnologie, diversi tipi di sostanze organiche (in genere polimeri) e non più i vecchi composti chimici. L'ENEA è presente in tali ricerche e, secondo Carla Minarini del Centro Ricerche ENEA di Portici (carla.minarini@enea.it) con gli OLED migliora ulteriormente l'efficienza energetica e aumentano le applicazioni e la flessibilità di uso, oltre al drastico ridursi dei rischi di tossicità.

(Antonino Dattola)



Il terremoto di Tohoku dell'11 marzo 2011

La sequenza sismica che ha interessato la costa orientale del Giappone ha visto diversi eventi di magnitudo elevata. A seguito della scossa principale dell'11 marzo, le strutture hanno vibrato a lungo in tutto il Giappone ma i danni principali sono stati dovuti allo tsunami. L'allarme è stato diramato e ha salvato numerose persone. Ottimo è stato il comportamento degli edifici dotati di isolamento sismico

■ Giovanni Bongiovanni, Paolo Clemente, Vladimiro Verrubbi

L'evento sismico

La scossa dell'11 marzo 2011 (05:46 UTC) è stato l'evento principale di una sequenza sismica iniziata qualche giorno prima e proseguita per diversi giorni con numerosi eventi di particolare rilevanza. Già il 9 marzo (02:45 UTC) era stato registrato un evento di magnitudo $M = 7.2$ (Lat. 38.424 °N, Long. 142.836 °E) seguito da 16 eventi di $M > 5$ (tre di $M > 6$, uno $M > 7$). Altre 5 scosse con $M > 5$ si sono verificate il giorno dopo. L'11 marzo, dopo l'evento principale di $M = 9.0$, che ha avuto una durata di alcuni minuti, ci sono state più di cento scosse di $M > 5$, di cui venti con $M > 6$. Nei giorni successivi sono state registrate diverse decine di scosse al giorno di $M \geq 5$, di cui alcune con $M \geq 6$. La sequenza sismica è andata, quindi, lentamente riducendosi, ma alcune scosse con $M > 7.0$ hanno fatto vibrare ancora le strutture in tutto il Giappone.

L'evento principale si è verificato a circa 130 km dalla costa dell'isola di Honshu, ad una profondità di 24,4 km. La città più vicina è Sendai (130 km); altre città in-

teressate sono Yamagata (178 km E) e Fukushima (178 km ENE); Tokyo è a 373 km dall'epicentro. Altri eventi di minore intensità hanno avuto epicentro più vicino a Tokyo.

Come è noto, il Giappone è vicino al margine convergente tra la placca pacifica e quella euro-asiatica; la prima si immerge sotto la seconda (subduzione) con una velocità di circa 83 mm/anno. La rottura, avvenuta secondo un meccanismo di tipo *thrust fault*, ha interessato un'estensione della faglia di oltre 500 km. L'evento ha causato uno tsunami che ha investito la vicina costa giapponese ma anche quella russa, a nord, e dopo diverse ore quella californiana. Alcune osservazioni, quali la variazione dell'asse terrestre, l'aumento della velocità di rotazione terrestre, con conseguente accorciamento della durata del giorno di 1.6 microsecondi, e lo spostamento di alcuni metri dell'isola di Honshu, dimostrano l'eccezionalità del fenomeno.

La rete accelerometrica giapponese K-Net (figura 1) ha registrato i valori di picco riportati in figura 2, da cui è evidente che l'area delle centrali di Fukushima ha subito accelerazioni con picco fino a 0.5 g.

In figura 3 la registrazione al sito FKS011, poco a sud dell'impianto nucleare di Fukushima Daiichi; a nord si sono avuti valori di accelerazione massima maggiori; diverse stazioni quali la FKS007 e la FKS010 in prossi-

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

mità degli impianti nucleari sono state danneggiate e da esse non si hanno registrazioni. Vanno evidenziati il valore massimo di accelerazione (2.7g) registrato alla stazione MYG004, a 183 km dall'epicentro, nella prefettura di Miyagi (figura 4), e il contenuto in frequenza della registrazione CHB002 nella prefettura di Chiba (figure 5-6), a 363 km dall'epicentro.

In figura 7 si riporta la mappa della pericolosità sismica per il Giappone in termini della scala JMA (*Japan Meteorological Agency*), che prevede valori di intensità da 0 a VII al sito, con i livelli V e VI divisi in due sottolivelli. Le diverse gradazioni di colore indicano probabilità di accadimento di eventi che danno intensità JMA maggiore o uguale a "VI bassa", corrispondente a circa 0.4g. Va osservato come la mappa, che risale al 1995, sia in disaccordo con quanto realmente accaduto negli anni successivi e, in particolare, con la distribuzione dei picchi di figura 2.

Lo tsunami

Come detto, l'evento ha causato uno tsunami che ha investito la vicina costa giapponese ma anche quella russa, a nord, e dopo diverse ore quella californiana.

Anche l'allarme tsunami è stato diramato, ma è vivo il dubbio che diversi allarmi precedenti non concretizzati abbiano indotto molti cittadini a sottovalutare l'allarme stesso. Come è noto, la velocità di propagazione delle onde dello tsunami cresce con legge non lineare con la profondità del mare e varia, in genere, tra 300 e 1.000 km/h. Nella figura 8 è riportata la registrazione di un mareografo in posizione non molto distante dalla costa dell'area di Fukushima. Si legge un intervallo di circa 25 min tra sisma (14:46) e tsunami (15:10).

Le onde hanno raggiunto sulle coste giapponesi un'altezza massima misurata di oltre 7.0 m e immagini video diffuse successivamente mostrano onde di circa 15 m sulla centrale di Fukushima.

Dai dati diffusi relativi alle previsioni e alle letture degli orari relativi agli arrivi delle prime onde e quelli dei massimi, per diversi siti sulla costa, sono stati individuati i siti più vicini a quello delle centrali di Fukushima: a Soma, a nord delle centrali, le prime onde sono arrivate dopo meno di 10 min, con altezza di 0.30 m, mentre il picco si è avuto dopo oltre 1 ora con onde di 7.30 m, pari al massimo osservato su tutta la costa; a Fukushima Onahama-oki, a sud delle centrali, ma più vicino ad esse rispetto a Soma, le onde sono arrivate

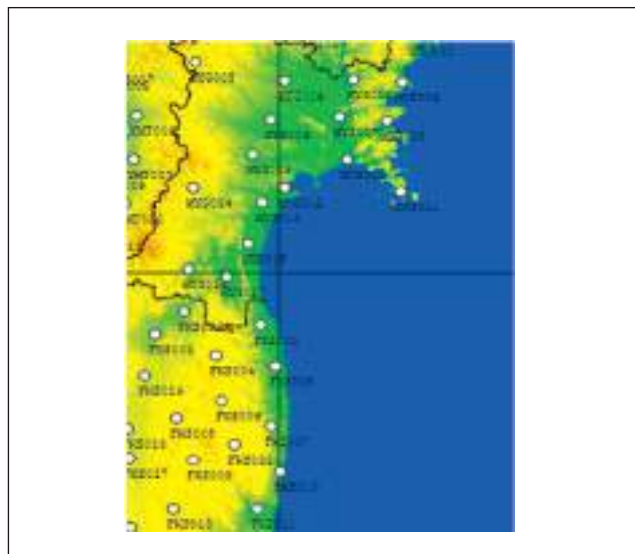


FIGURA 1 Localizzazione delle stazioni accelerometriche
Fonte: <http://www.bosai.go.jp/e/>

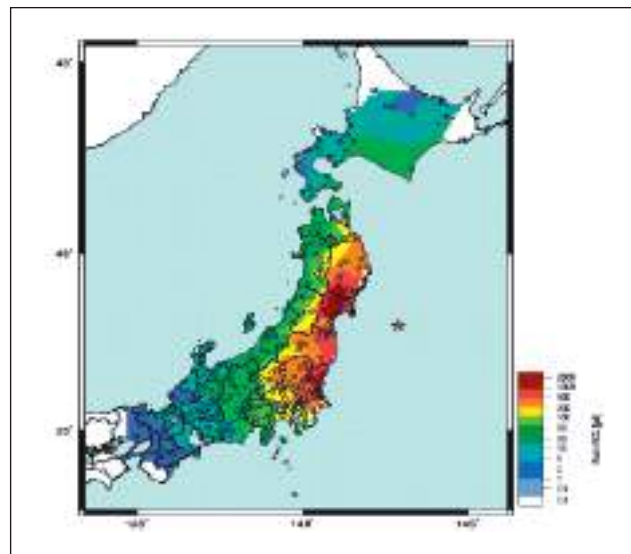


FIGURA 2 Valori di picco registrati durante l'evento dell'11/03/2011
Fonte: <http://www.bosai.go.jp/e/>

addirittura dopo soli 6 min, ma non si ha notizia del massimo, che potrebbe essere stato anche maggiore di quello di Soma. In definitiva, si può asserire che ai siti degli impianti di Fukushima le onde significative sono giunte in 30-50 min, mentre il picco si è verificato 65 min dopo l'evento sismico. Ciò è coerente anche con alcune simulazioni che, tarate su altri siti, forniscono per l'area delle centrali di Fukushima tempi compresi tra 45 e 50 min.

L'early warning

L'allarme è stato tempestivo ed efficace, dando diversi secondi di vantaggio per intervenire su impianti a rischio e treni ad alta velocità. Va ricordato che il sistema *early warning* funziona su elementi di valutazione concettualmente semplici.

Il terremoto genera onde P, più veloci, e onde S, circa 1.7 volte più lente delle P, ma più pericolose; al primo arrivo delle onde P va valutata la magnitudo; se la magnitudo è alta può essere diramato un allarme con un preavviso pari all'intervallo tra l'istante di valutazione e il tempo di arrivo delle onde S al punto di misurazione; tale preavviso diventa maggiore man mano che ci si allontana dal punto di misurazione.

Il sistema di allarme ha un'utilità immediata per sistemi particolari, per i quali alcuni secondi possono essere vitali per portarsi in condizioni di sicurezza o di minore vulnerabilità, come ad esempio i treni ad alta velocità. Nel caso del terremoto di Tohoku il tempo a disposizione è stato di 8-30 s per le coste più vicine.

Principali effetti del sisma e dello tsunami

I danni dovuti al sisma sono relativamente limitati e, comunque, sono stati "oscurati" dagli effetti successivi dello tsunami, che ha anche causato la maggior parte delle vittime.

L'area più vicina all'epicentro è quella della città di Sendai, di circa 1 milione di abitanti, dove il porto, dotato anche di terminale petrolifero, e l'aeroporto sono stati devastati dallo tsunami, che si è spinto fino a 5 km all'interno della prefettura di Fukushima. In città si sono verificati diversi incendi, uno dei quali ha fatto esplodere un impianto petrolchimico della JX Nippon Oil di Shiogama. Un altro incendio, scoppiato vicino a una scuola media nel quartiere Miyagino, ha costretto circa 600 persone a rifugiarsi sul tetto dell'istituto.

La diga di Fujinuma, vicina alla località di Sukagawa

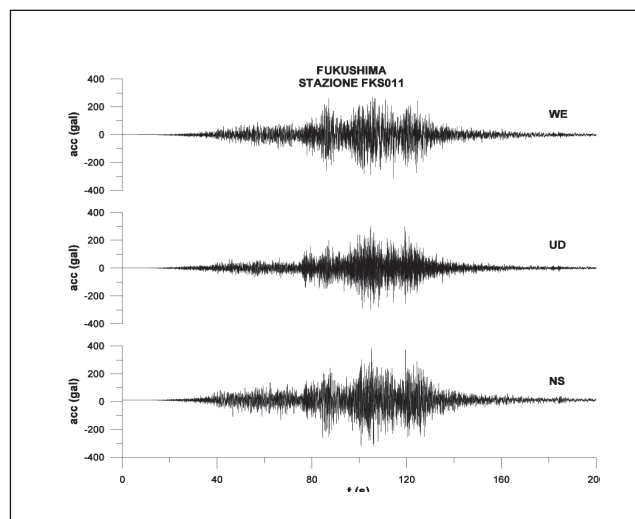


FIGURA 3 Time history al sito FKS011

Fonte: elaborazioni ENEA su dati <http://www.j-shis.bosai.go.jp>

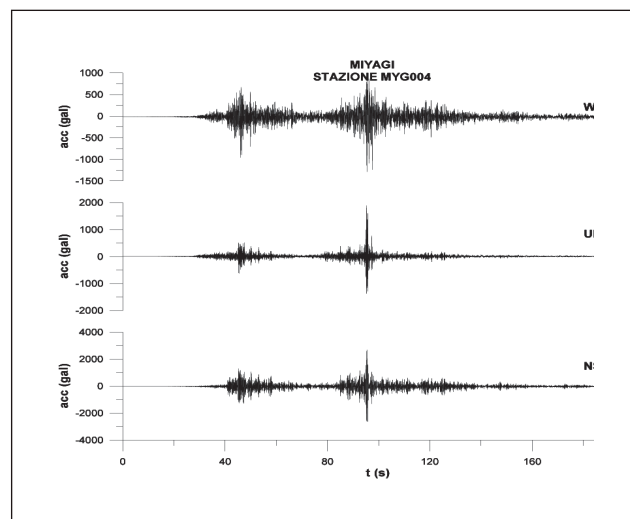


FIGURA 4 Time history al sito MYG004

Fonte: elaborazioni ENEA su dati <http://www.j-shis.bosai.go.jp>

nella prefettura di Fukushima. Il cui vaso veniva utilizzato per l'irrigazione delle terre circostanti, è crollata e un'ondata di acqua e fango si è riversata nella vallata sottostante, travolgendo decine di abitazioni.

Una nave con 100 persone a bordo è stata travolta dall'onda di tsunami. Sono scomparsi quattro treni operativi lungo la zona costiera delle prefetture di Miyagi e Iwate, poi ritrovati. Molti treni sono stati travolti dal fango accumulato dallo tsunami.

A Tokyo gli edifici hanno tremato per diversi minuti (testimonianze raccontano di oscillazioni degli edifici alti fino a 15-20 min) e circa 4 milioni di abitazioni sono rimaste senza luce. Al momento della scossa, avvenuta in orario lavorativo, la popolazione presente nella capitale era il doppio di quella residente, pari a 13 milioni.

Gravi sono stati i problemi ai trasporti: sono stati bloccati gli aeroporti di Narita e Haneda, nonché treni e metropolitane, che hanno ripreso a funzionare dopo diverse ore. L'antenna della Tokyo Tower, simbolo della città e della ricostruzione post-bellica, che trasmette segnali TV e radio per conto di importanti emittenti giapponesi, si è piegata (la Tokyo Tower, alta 332,6 m, fu costruita nel 1958 dallo studio Nikken Sekkei, ispirandosi alla Torre Eiffel).

Ha retto bene, invece, la Tokyo Sky Tree, torre per telecomunicazioni, in costruzione su progetto dell'architetto Tadao Ando e dello scultore Kiichi Sumikawa e commissionata da un gruppo di sei emittenti terrestri con a capo l'emittente pubblico giapponese (NHK) che, alla conclusione dei lavori prevista per la fine del 2011, raggiungerà un'altezza complessiva di circa 610 m e sostituirà la Tokyo Tower, non più sufficientemente alta per garantire la copertura del segnale nella città, a causa dei molti grattacieli.

Sempre nell'area di Tokyo sono andate in tilt le comunicazioni telefoniche, sia da telefono fisso che da cellulare; ha invece funzionato regolarmente internet, consentendo le comunicazioni in tempo reale. Le connessioni dati dei cellulari hanno retto a singhiozzo consentendo le comunicazioni via Twitter e, in alcuni casi, anche di chiamate mediante servizi di voce su dati (Voip) come Skype.

Nell'area di Tohoku ci sono circa 130 edifici isolati sismicamente che hanno superato bene il sisma e non sono stati colpiti dallo tsunami. Anche nell'area di Tokyo, a oltre 450 km dall'epicentro, edifici isolati hanno sopportato molto bene il sisma. Oscillazioni estremamente lunghe (15-20 min) hanno interessato alcuni edifici isolati a Kobe e Osaka, a circa 850 km dall'epicentro,

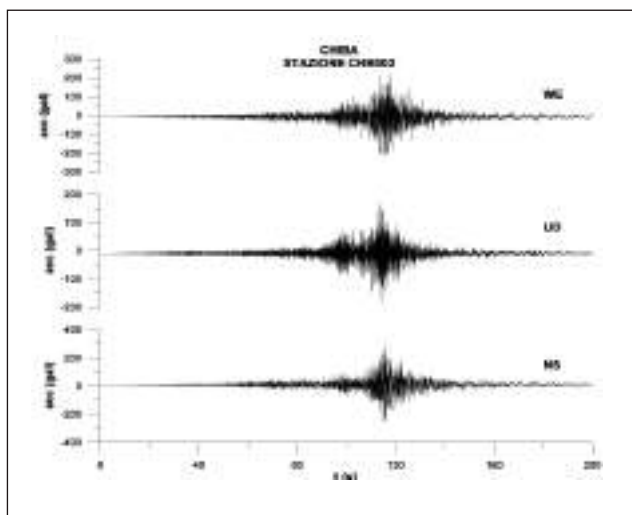


FIGURA 5 Time history al sito CHB002
Fonte: elaborazioni ENEA su dati <http://www.j-shis.bosai.go.jp>

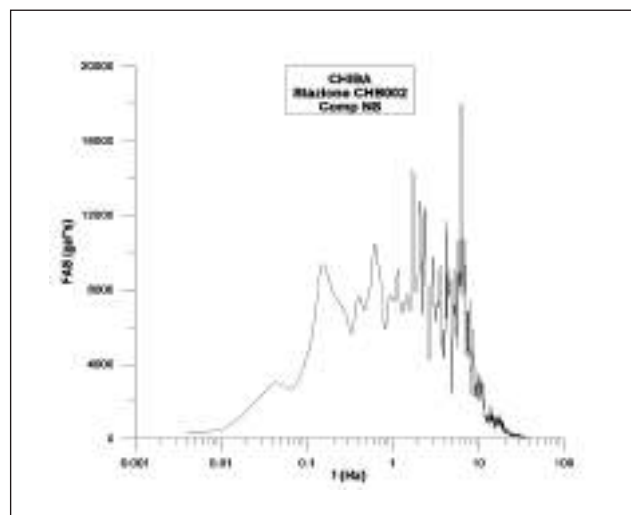


FIGURA 6 Spettro di Fourier della registrazione al sito CHB002
Fonte: elaborazioni ENEA su dati <http://www.j-shis.bosai.go.jp>

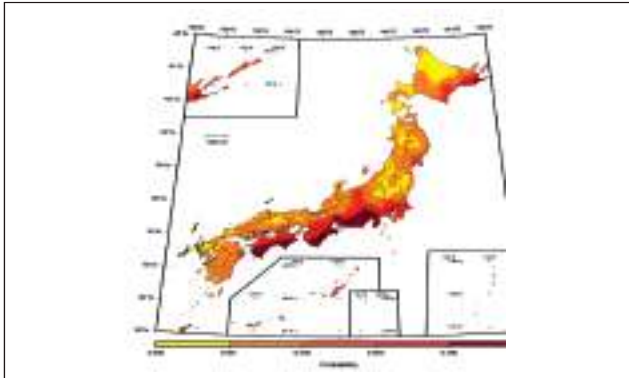


FIGURA 7 Probabilità di eventi con JMA > VI bassa
 Fonte: <http://www.j-shis.bosai.go.jp>

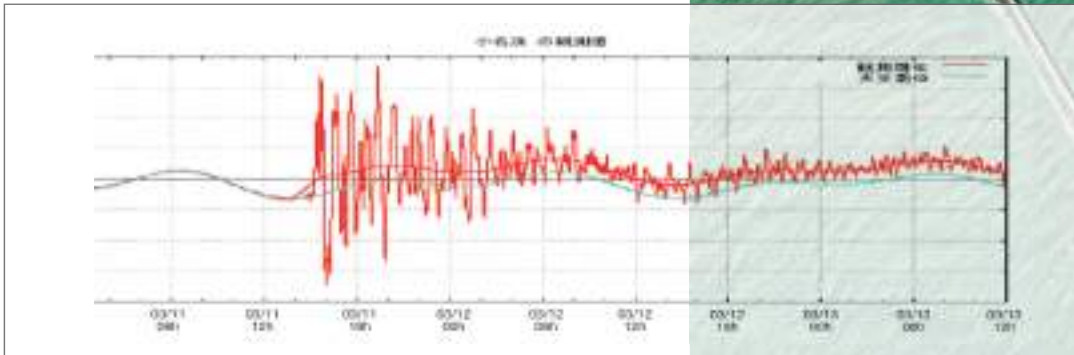


FIGURA 8 Andamento delle onde registrato a largo di Fukushima
 Fonte: <http://senweb03.senate.ca.gov/focus/static/sd10/earthquakeUSGS.pdf>

dovute anche al basso valore dello smorzamento dei dispositivi di isolamento adottati. A Fukushima un edificio isolato è stato uno dei pochi luoghi sicuri per la gestione dell'emergenza ma, purtroppo, in area pericolosa per la radioattività.

Conclusioni

Come sempre da un evento sismico c'è molto da imparare:

- le mappe di pericolosità giapponesi sono state ampiamente smentite dalla realtà: ciò pone seri inter-

rogativi sulle tecniche di valutazione della pericolosità sismica;

- l'*early warning* ha funzionato, ma non ha potuto far molto a fronte dello tsunami, a causa dello scarso tempo tra l'allarme e l'arrivo delle onde sulle coste;
- le strutture hanno resistito piuttosto bene al sisma ma, quelle di scarsa consistenza, non hanno potuto nulla a fronte dell'onda anomala, mentre gli edifici più alti e meglio incastrati al suolo hanno sopportato bene anche lo tsunami, fornendo ricovero a molte persone.

Principi dell'isolamento sismico e applicazioni in campo nucleare

Un evento sismico può mettere in crisi l'assetto socio-economico anche di grandi aree, oltre a mettere a rischio, anche indirettamente, la vita di migliaia di persone, come ha confermato il recente evento sismico giapponese. La questione sismica, pertanto, deve essere affrontata con tecniche moderne più affidabili, che garantiscono un grado di sicurezza non perseguibile con tecniche tradizionali

■ Giovanni Bongiovanni, Paolo Clemente, Massimo Forni, Alessandro Martelli, Fernando Saitta

La sicurezza sismica

Il terremoto ha da sempre messo a dura prova gli ingegneri, capaci di progettare strutture soggette, nel corso della loro vita, prevalentemente a carichi gravitazionali. Le azioni sismiche, invece, soprattutto con le loro componenti orizzontali, hanno sempre rappresentato delle "illustri sconosciute", spesso associate nel lontano passato a punizioni divine, che mettevano a dura prova costruzioni pensate per sopportare azioni di caratteristiche ben diverse. Le strutture, infatti, sono da sempre state concepite per sopportare azioni verticali statiche, associate nelle antiche costruzioni quasi esclusivamente ai pesi propri degli elementi strutturali.

La storia ci racconta di tante città e civiltà letteralmente distrutte da eventi sismici: un violento terremoto poteva spazzare via in pochi istanti il lavoro di numerose generazioni e le civiltà faticosamente costruite in lunghi secoli. In realtà, già nell'antichità gli ingegneri hanno cercato di capire l'essenza di tali azioni, basandosi sulle esperienze precedenti e comprendendo subito che per fronteggiare le azioni sismiche c'era bisogno di un'idea geniale.

E idee geniali non mancarono. Plinio Il Vecchio nella *Naturalis Historia* scriveva che il tempio di Diana ad Efeso era poggiato su stati di frammenti di carboni co-stipati e di velli di lana per separare una così imponente costruzione da un terreno poco dignitoso: in realtà

nel sistema adottato c'era l'intuizione di disaccoppiare il moto della struttura da quello del terreno, realizzando un isolamento che, in caso di sisma, avrebbe consentito alla struttura di scorrere sul sito di fondazione preservandola dal crollo. L'idea del disaccoppiamento suolo-struttura come sistema di protezione sismica era stato già applicato in precedenza, fu applicato anche in tempi successivi e tornò a galla alla fine del XIX secolo. Nel 1870 Touvaillon progettò un edificio residenziale, inserendo tra la sovrastruttura dalla fondazione dei rulli che potevano scorrere in apposite nicchie di geometria ellittica che garantivano il ritorno alla posizione iniziale. Nel 1909 Calantarientes propose l'interposizione di uno strato di talco fra la struttura e le sue fondazioni, capace di disaccoppiare il moto della struttura da quello del suolo, preoccupandosi anche di progettare dispositivi che consentissero l'elongazione delle condotte in caso di importanti spostamenti.

- **Giovanni Bongiovanni, Paolo Clemente**
ENEA, Unità Tecnica Caratterizzazione, Prevenzione e Risanamento Ambientale
- **Massimo Forni**
ENEA, Unità Tecnica Ingegneria Sismica
- **Alessandro Martelli**
ENEA, Centro Ricerche di Bologna
- **Fernando Saitta**
ENEA, Unità Tecnica Metodi per la Sicurezza dei Reattori e del Ciclo del Combustibile

Purtroppo le normative, normalmente emanate a seguito di eventi sismici, come quello che nel 1908 aveva distrutto Messina e Reggio Calabria, non presero in considerazione queste idee, preferendo la via della rigidità e della resistenza per fronteggiare le azioni sismiche. Tale scelta non teneva conto che un edificio di tipo tradizionale, ben progettato e ben realizzato, sarebbe certamente in grado di evitare il crollo, anche in occasione di un evento sismico violento, ma potrebbe riportare danni notevoli. La capacità di evitare il crollo è, infatti, affidata alla duttilità della struttura, ossia alla sua capacità di dissipare energia danneggiandosi senza crollare. Tale principio, certamente non sostenibile se si pensa ai costi di ricostruzione, diventa addirittura non applicabile per strutture strategiche e impianti a rischio di incidente rilevante (nucleari e chimici), che devono rispettare stringenti requisiti di sicurezza e per i quali non può essere tollerato il minimo danneggiamento.

L'isolamento sismico alla base

Queste considerazioni portano, come già intuito dagli antichi ingegneri, a soluzioni diverse, che si basano sulla drastica riduzione delle forze sismiche agenti sulla struttura, piuttosto che affidarsi alla sua resistenza.

Tra queste, l'isolamento sismico alla base, che consiste nell'interporre tra la fondazione, incassata al suolo, e la sovrastruttura dei dispositivi molto deformabili in direzione orizzontale (figura 1). Il vantaggio che si ottiene è ben



FIGURA 1 Isolatori sismici della nuova scuola Romita di Campobasso
Fonte: ENEA

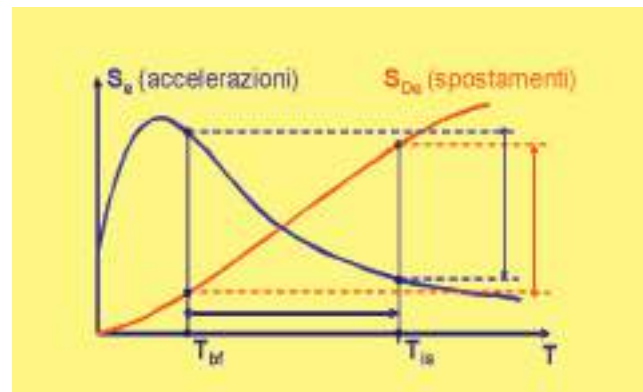


FIGURA 2 Spettro di risposta elastico
Fonte: ENEA

illustrato dallo spettro di risposta elastico che assume, in genere, la forma di figura 2: le strutture con periodo proprio di oscillazione corto ($T_{bf} < 1.0$ s) sono quelle maggiormente sensibili agli effetti sismici; una struttura isolata, invece, con periodo di vibrazione $T_{is} > 2.0$ s, è soggetta ad accelerazioni ridotte.

Al contrario, ad un aumento del periodo corrisponde un incremento dello spostamento, che dovrà essere totalmente assorbito dal sistema di isolamento e che richiederà adeguati giunti strutturali intorno alla costruzione. L'incremento di smorzamento, $\geq 10\%$ negli attuali dispositivi di isolamento, attenua sia gli spostamenti che le accelerazioni. Va subito osservato che, ai fini di un buon isolamento, la sovrastruttura (cioè la parte della struttura posta sopra il sistema di isolamento) deve essere sufficientemente rigida, il sottosuolo non deve essere molto soffice e, infine, deve essere possibile realizzare i giunti tra la sovrastruttura e il terreno circostante per consentire gli spostamenti relativi di cui detto.

I dispositivi d'isolamento, oltre a garantire la funzione di appoggio, devono avere: una bassa rigidità orizzontale; un'adeguata rigidità nei confronti delle azioni orizzontali di piccola entità; una buona capacità dissipativa, di ricentraggio e di vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio. Le ultime proprietà possono essere affidate anche a dispositivi ausiliari.

Esistono vari tipi di isolatori: gli isolatori elastomerici armati, gli isolatori a scorrimento a superfici piane, gli isolatori "a pendolo scorrevole" e gli isolatori a rotolamento. Nei nuovi progetti di impianti nucleari isolati sono usualmente considerati gli isolatori elastomerici armati (*High Damping Rubber Bearing* o HDRB) e in gomma-

piombo (*Lead Rubber Bearing* o LRB), ottenuti dai precedenti mediante inserti in piombo in uno o più fori centrali per incrementare lo smorzamento. È da ricordare che, a partire da agosto 2011, l'applicazione dell'isolamento sismico sarà regolato in Europa dalla norma EN15129. Tale norma non comprende specificatamente gli impianti nucleari e, pertanto, le prescrizioni contenute devono essere considerate requisiti minimi per tali strutture: ad esempio, nel caso degli impianti nucleari sarebbe opportuno effettuare prove di qualificazione su isolatori in scala piena, applicando dinamicamente il carico sismico contemporaneamente nelle tre direzioni; inoltre, le prove di accettazione dovrebbero essere effettuate su tutti gli isolatori da installare, anziché soltanto su una percentuale di essi.

L'utilizzo dell'isolamento sismico richiede l'adozione di particolari accorgimenti costruttivi, soprattutto nel caso di impianti a rischio di incidente rilevante, quali un adeguato giunto strutturale (*gap*) tra la struttura da isolare e le parti solidali al suolo, efficaci "elementi d'interfaccia", che collegano le parti solidali alla struttura isolata con quelle solidali al suolo, e i *fail-safe system*, che impediscano spostamenti agli isolatori oltre il loro limite, garantendo anche un "martellamento soffice".

L'alloggiamento dei dispositivi d'isolamento ed il loro collegamento alla struttura devono essere concepiti in modo da assicurarne l'accesso e rendere i dispositivi stessi ispezionabili e sostituibili. I dispositivi di isolamento elastomerici ad alto smorzamento e in gomma-piombo non richiedono particolare manutenzione. Infine, deve essere prevista la possibilità di sostituire il singolo dispositivo, perché difettoso o a seguito di un evento sismico violento (od altro) che possa averlo danneggiato.

In fase di esecuzione sono di fondamentale importanza il controllo della posa in opera dei dispositivi e la verifica della completa separazione tra sottostruttura e sovrastruttura e tra quest'ultima ed altre strutture adiacenti. Per gli impianti nucleari devono essere disposte speciali prove per la caratterizzazione dinamica del sistema di isolamento e deve essere previsto un idoneo sistema di monitoraggio sia durante le suddette prove sia per l'intera vita dell'opera. Il sistema di isolamento, in particolare, deve essere monitorato in continuo per seguirne il comportamento e individuare eventuali anomalie, soprattutto in occasione di un terremoto.

Applicazioni in campo nucleare

Attualmente per gli impianti a rischio di incidente rilevante si considerano usualmente due eventi sismici di riferimento:

- l'*Operational Basis Earthquake* (OBE), ossia un sisma massimo di operatività in occasione del quale tali impianti devono poter rimanere funzionanti in condizioni di sicurezza;
- il *Safe Shutdown Earthquake* (SSE), ossia il "Terremoto di Spegnimento in Sicurezza", il massimo evento per il quale non devono verificarsi incidenti rilevanti, tali da pregiudicare lo spegnimento del reattore ed il successivo mantenimento dello stato di reattore spento, in piena sicurezza.



FIGURA 3 Le 4 unità PWR di Cruas, Francia, dotate di isolamento sismico
Fonte: <http://www.icjt.org/>

L'impianto deve continuare a funzionare regolarmente per eventi sismici inferiori all'OBE, mentre deve spegnersi e mantenersi in sicurezza per eventi superiori. L'SSE rappresenta il massimo evento di progetto; l'OBE è usualmente fissato in modo da ottenere azioni sismiche pari ad almeno il 50% di quelle dell'SSE.

L'isolamento sismico consente la standardizzazione del progetto di impianti nucleari, rendendolo praticamente indipendente dalla sismicità del sito (almeno per quel che riguarda la componente orizzontale dell'accelerazione). Questo è particolarmente importante nella fase iniziale dello sviluppo di nuovi reattori, come quelli di IV Genera-

zione, quando il sito di costruzione è ancora sconosciuto, o nel caso di utilizzazione in un paese ad alta sismicità di un reattore progettato per un paese e sismicità minore, come sarebbe il caso degli EPR francesi se fossero realizzati in paesi a maggiore sismicità.

I pionieri dell'utilizzazione dell'isolamento sismico nel settore nucleare sono stati i francesi. Le loro prime applicazioni risalgono all'inizio degli anni 60, con l'utilizzazione di isolatori orizzontali in neoprene (*Neoprene Bearing* o NB) per supportare le tanche (vessel) di alcuni reattori, come quelli termici raffreddati a gas (*Gas Cooled Reactors* o GCR) dell'unità A3 di Chinon, di Saint Laurent e Bugey in Francia e di Vandellos in Spagna e quello veloce sperimentale Phénix in Francia: sebbene, per questi impianti, l'applicazione dei NB fosse finalizzata al controllo delle deformazioni termiche, tali dispositivi si dimostrarono efficaci anche per la protezione sismica e non hanno successivamente evidenziato effetti negativi d'invecchiamento.

Reattori ad acqua leggera

Nel 1978 iniziò a Cruas in Francia la costruzione del primo impianto nucleare espressamente dotato di isolamento sismico, composto da 4 PWR, aventi una potenza totale di 3600 MWe, entrati poi in funzione nel 1984 (figura 3). L'isolamento consentì di utilizzare al sito di Cruas, caratterizzato da $a_g = 0.3g$, lo stesso progetto standardizzato degli altri impianti realizzati in siti con $a_g = 0.2g$. Il sistema di isolamento è composto da 3600 (900 per ciascuna unità) isolatori NB di sezione quadrata, di lato 500 mm e altezza di 65 mm, che riducono a 1 Hz la prima frequenza naturale orizzontale dell'isola nucleare (300.000 t, dimensioni in pianta 140x80 m).

Nel 1976 era stata iniziata dalla Framatome francese, in Sudafrica a Koeberg, circa 30 km a nord di Città del Capo, la costruzione di 2 PWR di 900 MWe, entrati in funzione soltanto nel 1985. Ai complessivi 1829 isolatori NB di questo impianto, di 700 mm di lato e 130 mm di altezza, sono sovrapposti isolatori a scorrimento (utilizzando l'ottone, materiale ad alto attrito, pari al 20%) per limitare gli sforzi nella gomma alle elevate deformazioni angolari e utilizzare il progetto standardizzato francese. I dispositivi a scorrimento, testati a distanza di 14 anni, hanno mostrato un aumento del coefficiente d'attrito di quasi il 70%, che li rende inattivi: ciò, però,

non è stato considerato un problema, in quanto si è anche verificato che la parte in gomma degli isolatori è in grado di sostenere le deformazioni di progetto.

Un'ulteriore applicazione francese dell'isolamento sismico avrebbe dovuto riguardare il PWR di Karun River in Iran, ma questa realizzazione è stata interrotta nel 1978, a progetto già licenziato, a seguito della rivoluzione khomeinista.

Si noti, infine, che le applicazioni francesi dell'isolamento sismico nel settore nucleare non si limitarono ai reattori, ma riguardarono anche:

- tre piscine di decadimento del combustibile irraggiato (di forma ad U) a La Hague, nei pressi del Canale della Manica, protette nel 1980 da 364 NB di lato 700 mm ed alti 130 mm, tali da ridurre la prima frequenza naturale a 0,8 Hz;
- il laboratorio STAR del centro di ricerca di Cadarache del Commissariato per l'Energia Atomica Francese (Commissariat à l'Energie Atomique o CEA), situato nel sud-est della Francia, con PGA = 0,32 g al SSE;
- un edificio di due piani della marina militare francese (24x13 m in pianta) a Tolone, contenente scorie radioattive, sismicamente isolato nel 1981 con 32 NB di diametro 400 mm e 20 NB di diametro 500 mm;
- un impianto di arricchimento dell'uranio, isolato recentemente, coperto da segreto militare.

Altre applicazioni dell'isolamento sismico a strutture nucleari già ultimate riguardano un impianto di riprocessamento del combustibile nucleare nel Regno Unito, basi missilistiche nell'Unione Sovietica (ai fini della protezione dalle vibrazioni indotte da possibili esplosioni atomiche nei pressi delle basi) e, più recentemente, una *Nuclear Fuel Related Facility* in Giappone, unica applicazione in quel paese.

A Cadarache è in costruzione il Jules Horowitz (100 MWth), un moderno reattore per prove sui materiali (d'irraggiamento) e di ricerca e sviluppo sul combustibile nucleare, ed è prevista la costruzione, con isolamento sismico, della macchina di prova per la fusione nucleare ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*).

È in fase di progettazione il reattore 4S (*Super Safe, Small and Simple*), sviluppato da Toshiba-Westinghouse, che dovrebbe vedere la prima applicazione con

un'unità da 10 MWe a Galena in Alaska, con un sistema di isolamento composto da 20 isolatori elastomerici con inserti in piombo, che conferisce alla struttura una frequenza di 0.5 Hz. Il progetto del sistema di isolamento deve seguire le prescrizioni della *Japan Electric Association Guide JAEG 4614-2000, Technical Guideline on Seismic Base Isolated System for Structural Safety and Design of Nuclear Power Plants*. Al riguardo va ricordato che, tra il 1987 e il 1996, il *Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)* ha sviluppato uno studio su *Verification Test of the FBR Seismic Isolation*, pubblicando un *Draft Technical Guidelines for Seismic Isolation of fast breeder Reactors*. Da questi la Toshiba ha anche sviluppato le linee guida per il controllo di qualità e manutenzione dei dispositivi di isolamento. Il progetto 4S non ha ancora avuto l'approvazione della Nuclear Regulatory Commission.

Un team inizialmente guidato dalla Westinghouse (che però ha recentemente abbandonato l'iniziativa), ha sviluppato IRIS (*International Reactor Innovative and Secure*) che, su proposta dell'ENEA, prevede un sistema di isolamento sismico messo a punto in collaborazione con il Politecnico di Milano e l'Università di Pisa e composto da 99 HRDB, con modulo tangenziale della gomma $G = 1.4 \text{ N/mm}^2$, diametro compreso tra 1.000 e 1.200 mm e altezza della gomma $t_e = 100 \text{ mm}$, pari allo spostamento in presenza dell'evento di spegnimento in sicurezza SSE ($PGA = 0.3g$). Modelli in scala degli isolatori sono anche stati testati, mostrando segni di cedimenti soltanto per deformazioni pari al 300% quelle di progetto.

Reattori veloci

Il comportamento sismico dei reattori veloci è molto complesso, a causa dell'architettura dell'impianto che prevede la presenza sia di strutture molto rigide che flessibili. Infatti, i progetti più recenti (elencati in questo paragrafo) prevedono la soluzione isolamento sismico, che consente di soddisfare i requisiti dei reattori di IV generazione e di standardizzare la progettazione dell'impianto, in modo indipendente dal sito e, quindi, dall'intensità sismica.

Negli anni 80 la General Electric-Hitachi Nuclear Energy sviluppò l'ALMR, un reattore al sodio, sponsorizzato dallo U.S. Department of Energy (DOE) e il reattore modula-

re S-PRISM (*Power Reactor Innovative Small Module* 41, 5 MW per ciascun modulo), entrambi dotati di isolamento sismico.

La Argonne National Laboratory (ANL) sta sviluppando il reattore STAR-LM (*Secure Transportable Autonomous Reactor-Liquid Metal*) per il quale è in corso uno studio per l'isolamento anche in direzione verticale con frequenza di 1.1 Hz.

Il Korea Atomic Energy Research Institute sta sviluppando il KALIMER (*Korea Advanced LIquid METal Reactor*), un reattore raffreddato a sodio, economicamente competitivo, intrinsecamente sicuro e resistente alla proliferazione, dotato di isolamento sismico. In Giappone negli anni 90 fu dato avvio agli studi per l'isolamento sismico dei reattori veloci con il DFBR (*Demonstration Fast Breeder Reactor*).

Una nuova generazione di reattori veloci è in corso di sviluppo, con un sistema di isolamento sismico composto da LRB con diametro di 1600 mm; modelli in scala di questi isolatori sono stati testati sulla tavola vibrante della E-Defense of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention in Giappone. Come per il reattore 4S, il riferimento normativo è quello delle *Technical Guidelines on Seismic Base Isolation System for Structural Safety and Design of Nuclear Power Plants*.

Agli anni 90 risalgono anche i primi studi per l'isolamento sismico dell'EFR (*European Fast Breeder Reactor*). Il sistema prevedeva l'isolamento orizzontale per l'intera struttura e quello verticale per il solo reattore.

Attualmente è in corso di sviluppo l'ESFR (*European Sodium Fast Reactor*) nell'ambito del European Collaborative Project CP-ESFR. Obiettivo del progetto, nel quale l'ENEA è responsabile della task *Design measures for consequence mitigation of seismic loads*, è la messa a punto di linee guida e raccomandazioni per la riduzione della vulnerabilità sismica.

È infine da notare che è stata presentata alla Commissione Europea una proposta progettuale, coordinata da ENEA, per l'applicazione dell'isolamento sismico a reattori nucleari di IV generazione raffreddati a piombo. Il progetto (SILER: *Seismic-Initiated events risk mitigation in LEad-cooled Reactors*) si propone, fra l'altro, di apportare modifiche all'attuale normativa per gli isolatori sismici in modo da renderla estendibile agli impianti nucleari e di qualificare isolatori e giunti in scala piena in severe condizioni dinamiche tridirezionali. ●

L'incidente nucleare alla centrale di Fukushima-Dai-ichi

Ovvero, l'uomo contro la natura: storie di guai, storie di eroi

In seguito al terremoto e allo tsunami occorsi lo scorso 11 marzo in Giappone, presso la centrale nucleare di Fukushima-Dai-ichi si è determinata – simultaneamente nei tre reattori in esercizio – una complessa situazione incidentale che, successivamente, ha coinvolto anche le piscine di stoccaggio degli elementi di combustibile irraggiati. Gli incidenti sono stati innescati da una delle condizioni più penalizzanti: il blackout completo degli impianti a seguito di un'onda di tsunami di ben 14 metri che ha provocato lo spegnimento dei diesel di emergenza necessari per garantire l'asportazione del calore di decadimento anche dopo l'arresto della reazione a catena. Le conseguenze radiologiche all'esterno dell'impianto sono rilevanti tanto da indurre l'Agenzia di Sicurezza giapponese a proporre, temporaneamente, una classificazione 7 della scala INES, ma hanno interessato prevalentemente le prefetture attorno al sito di Fukushima

■ Felice De Rosa, Giacomo Grasso, Paride Meloni, Stefano Monti, Massimiliano Polidori

Alle 14:46 ora locale (06:46 ora italiana) dell'11 marzo 2011 il Giappone è stato sconvolto da un violento terremoto (di magnitudo 9.0 della scala Richter, 30.000 volte più energetico di quello che ha colpito l'Aquila), con epicentro localizzato nel Pacifico, 130 km a est della costa dell'isola di Honshu. La localizzazione dell'epicentro in pieno oceano ha inoltre provocato uno tsunami di incredibili proporzioni (con onde oltre i dieci metri di altezza), che ha raggiunto le coste nord-orientali del Giappone fra i 30 ed i 50 minuti dopo l'evento sismico principale.

All'arrivo della scossa di terremoto i sensori sismici

dei quattro siti nucleari più vicini all'epicentro (Onagawa, Fukushima-Dai-ichi, Fukushima-Dai-ni e Tokai) hanno attivato – sui reattori in esercizio – la sequenza automatica di SCRAM; una procedura rapida di spegnimento che inserisce le barre di controllo nel nocciolo del reattore arrestando la reazione nucleare. L'intera sequenza richiede meno di due secondi. Allo stesso tempo, le linee che portano l'acqua e il vapore dalla e alla turbina sono state intercettate da coppie di valvole poste dentro e fuori al contenimento primario, isolando il reattore. Questa misura è operata automaticamente per scongiurare la possibilità di una perdita di refrigerante nella parte convenzionale dell'impianto, in cui tanto la turbina quanto il condensatore – per la loro ingente mole – rappresenterebbero punti deboli del circuito primario durante un sisma. La procedura automatica è stata attuata con successo su tutti i reattori dei quattro siti suddetti ad eccezione delle unità 4, 5 e

■ Felice De Rosa, Giacomo Grasso, Paride Meloni, Stefano Monti e Massimiliano Polidori
ENEA, Unità Tecnica Metodi per la Sicurezza dei Reattori e del Ciclo del Combustibile

6 della centrale di Fukushima-Dai-ichi, essendo queste in condizione di arresto già prima del sisma per operazioni ordinarie e programmate di manutenzione.

Dopo lo spegnimento, la potenza prodotta dal nocciolo, posto all'interno del vessel del reattore, scende rapidamente ad una frazione (circa 6%) di quella nominale ma non si annulla a causa del calore generato dal decadimento dei prodotti di fissione. Nonostante la potenza di decadimento si riduca rapidamente (al di sotto dell'1% di quella nominale) già nelle prime ore successive allo spegnimento del reattore, è comunque fondamentale garantire l'asportazione del calore dal nocciolo per preservare l'integrità delle strutture fino al raggiungimento della condizione di "arresto freddo", che corrisponde al completo allagamento del nocciolo e al mantenimento di una temperatura inferiore a 100 °C senza ulteriori interventi.

A tal fine, in ogni impianto è prevista una serie di sistemi di sicurezza propriamente progettati per raffreddare il reattore iniettando acqua fredda nel vessel. Allo stesso modo, è necessario assicurare il continuo raffreddamento anche degli elementi di combustibile esauriti, collocati in una apposita piscina che, nel caso dei reattori in questione, si trova all'interno dell'edificio reattore.

Quasi tutti i sistemi installati negli impianti interessati dal sisma richiedono alimentazione elettrica per il loro funzionamento. All'esterno dei complessi nucleari in esame, il terremoto ha però abbattuto tutte le linee elettriche che alimentano le centrali, determinando il blackout degli impianti. Per scongiurare l'impossibilità di refrigerare il reattore, tutte le centrali sono dotate di generatori diesel di emergenza. Secondo il criterio di ridondanza, questi sono in numero superiore ad uno e indipendenti, singolarmente sufficienti ad assicurare la necessaria fornitura di potenza elettrica ai sistemi di sicurezza. Grazie ai generatori diesel, la refrigerazione degli elementi di combustibile nei reattori in esercizio e nelle piscine di stoccaggio è stata così regolarmente garantita sin dai primi secondi immediatamente successivi al terremoto.

Quando, alle 15:42, lo tsunami si è abbattuto sui quattro complessi nucleari, l'evoluzione della situazione di emergenza si è profondamente differenziata. Mentre ad Onagawa, Fukushima-Dai-ichi e Tokai le conseguenze dello tsunami sono state praticamente nulle, permettendo ai tecnici di continuare le operazioni di gestione dei reattori fino al raggiungimento – pur in tempi differenti – dell'arresto freddo, negli impianti di Fukushima-Dai-ichi si è determinata una condizione di

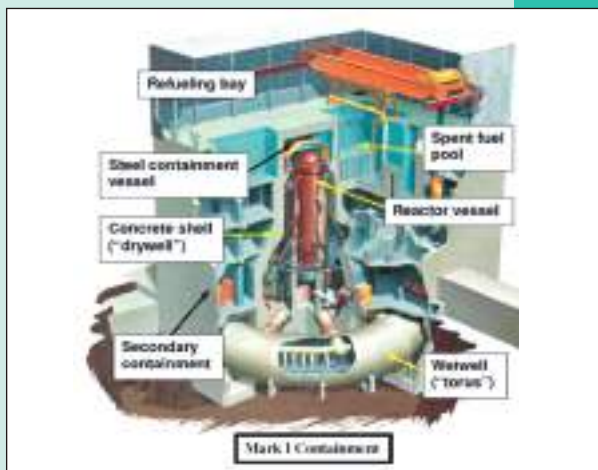


FIGURA 1 Spaccato di un tipico contenimento Mark-I per un reattore ad acqua bollente
Fonte: General Electric

I reattori installati presso la centrale di Fukushima sono del tipo ad "acqua bollente" (*Boiling Water Reactor, BWR*), nei quali la produzione di vapore per l'azionamento della turbina avviene direttamente all'interno del nocciolo del reattore, dove hanno luogo le reazioni di fissione nucleare a catena. Il nocciolo, che contiene gli elementi di combustibile, è racchiuso da un vessel di acciaio (dello spessore di circa 15 cm) da cui si diparte la linea di vapore diretto in turbina ed in cui entra la linea di rimando dell'acqua di alimento. Il vessel è a sua volta rinchiuso in un *contenimento primario* a tenuta stagna, costituito da una parete di acciaio di 1,5 cm di spessore sagomato secondo una caratteristica forma a "bulbo di lampadina rovesciato", e collegato mediante una rete di tubazioni ad una piscina toroidale (*piscina di soppressione delle sovrappressioni*), concepita per condensare il vapore liberato da un'eventuale rottura delle tubazioni di refrigerante all'interno del contenimento primario, riducendo la pressurizzazione dell'ambiente interno a quest'ultimo. L'intero sistema, insieme alla piscina di stoccaggio degli elementi di combustione esauriti, è infine confinato all'interno di un edificio (detto *contenimento secondario* o *edificio reattore*) che, pur non avendo alcuna funzione di contenimento, delimita l'impianto.

completo blackout. Infatti, presso tale sito (di proprietà della Tokyo Electric Power Co., TEPCO), i generatori diesel sono installati all'interno di un edificio interrato nel terrapieno antistante le strutture principali della centrale, a pochi metri dal mare. Le ondate di marea, che presso il sito della centrale di Fukushima-Dai-ichi hanno raggiunto un'altezza superiore ai 14 m, hanno scavalcato le barriere frangiflutti previste per mitigare gli effetti di uno tsunami (l'altezza massima assunta a progetto per le onde era di 6 metri) e inondato l'intero complesso, sommergendo i locali dei generatori diesel che, in breve tempo, hanno smesso di funzionare. La completa perdita di alimentazione elettrica è annoverata tra le peggiori cause iniziatrici di un incidente con conseguenze potenzialmente gravi: i sistemi di protezione di cui è dotata una centrale di seconda generazione come quella di Fukushima sono infatti capaci di assicurare un limitato "tempo di grazia", oltre il quale il raffreddamento del nocciolo non è più garantito e diventa fondamentale ripristinare l'alimentazione elettrica per il riavvio dei sistemi attivi ausiliari. È in questo momento che – di fatto – ha avuto inizio l'incidente vero e proprio; i reattori delle unità 1, 2 e 3 (le uniche in funzione al momento del sisma) hanno seguito, con tempi e modi diversi, un'analogia evoluzione, caratterizzata da quella che, nell'ingegneria dei sistemi, è definita "emergenza progressiva": una con-



FIGURA 2 Le onde si ritirano dal sito della centrale di Fukushima-Dai-ichi dopo lo tsunami
Fonte: Ministero del Territorio, delle Infrastrutture, dei Trasporti e del Turismo giapponese

catenazione di eventi per cui la perdita di un componente genera una catena di emergenze, con una sorta di effetto valanga.

Sfruttando il tempo di grazia concesso dai sistemi passivi, gli operai della TEPCO hanno approntato linee di iniezione di acqua di mare nel vessel dei tre reattori, collegando le manichette delle autopompe dei vigili del fuoco – accorsi sul sito nel frattempo – ad una derivazione delle linee antincendio. Il passaggio dai sistemi passivi di sicurezza alle linee volanti di iniezione d'acqua non è però stato immediato: durante il periodo di transizione l'asportazione del calore dai tre reattori si è interrotta, provocando una riduzione del livello d'acqua nei vessel e determinando l'esposizione dei noccioli al vapore surriscaldato. In queste condizioni, il vapore ad alta temperatura ha avuto modo di ossidare il metallo delle guaine che rivestono le barrette di combustibile, generando una ingente quantità di idrogeno e deteriorando le guaine stesse fino a far fuoriuscire i prodotti di fissione gassosi e semi volatili (principalmente iodio, xeno, kripto e cesio), fortemente radioattivi, contenuti nelle barrette. Per ridurre la pressione sviluppatasi nei vessel dei tre reattori, si sono quindi operati sfiati di vapore – ricco di idrogeno e contaminato dai prodotti di fissione gassosi – dapprima verso il contenitore primario, quindi, per non minare l'integrità di quest'ultimo, dal contenitore primario all'edificio reattore.

Nei reattori 1 e 3, l'idrogeno presente nei vapori dello sfiato si è accumulato ai piani superiori dell'edificio, raggiungendo le concentrazioni che hanno provocato l'esplosione registrata dalle televisioni giapponesi. È importante sottolineare che l'evenienza di una esplosione di idrogeno nell'edificio reattore era stata prevista in fase di progetto: per questo motivo, il tetto e le pareti laterali dei piani superiori dell'edificio reattore erano stati concepiti come "sacrificiali", appositamente cedevoli per attenuare l'onda d'urto sulle strutture sottostanti. Nell'unità 2, invece, l'entità dello sfiato dal vessel al contenimento primario è stata tale da provocare una parziale rottura nella parte bassa toroidale (piscina di soppressione del vapore), con una fuoriuscita incontrollata di vapore radioattivo nell'edificio reattore e, da lì, all'ambiente esterno. Dalla medesima apertura della piscina di soppressione del vapore è

anche fuoriuscita l'acqua altamente radioattiva che ha allagato i locali dell'adiacente edificio turbina, connesso da un corridoio all'edificio reattore.

A queste operazioni di sfiato sono imputabili i maggiori rilasci radioattivi dai tre reattori, come dimostrato dalla sequenza temporale dei picchi delle misure di radioattività ambientale, costantemente monitorata dagli organismi nazionali ed internazionali di controllo. Proprio in conseguenza di questi eventi, il primo ministro Naoto Kan ha diramato, in via cautelativa, dapprima un ordine di evacuazione degli abitanti che vivono in un raggio di 2 chilometri dalla centrale, per poi estendere progressivamente la zona di evacuazione ad un raggio di 3, 10 ed infine 20 chilometri.

Per quanto, ad un mese dal sisma, l'incidente non possa ancora dirsi concluso, l'iniezione di acqua nei tre reattori e in tutte le piscine di stoccaggio del combustibile esaurito, insieme al ripristino nei giorni successivi dell'alimentazione elettrica dalla rete, hanno arrestato l'evoluzione dell'incidente, portando gli impianti ad una situazione stazionaria, sebbene in presenza di ulteriore rilascio di radioattività trasportata dall'acqua di raffreddamento del nocciolo. Solamente quando sarà possibile ripristinare la corretta circolazione in ciclo chiuso nel circuito di raffreddamento del reattore la sequenza incidentale potrà dirsi definitivamente conclusa.

Le prime stime del termine sorgente indicano un rilascio complessivo di radioattività dai quattro reattori interessati pari a circa un decimo di quello che si ebbe in conseguenza dell'incidente alla centrale nucleare di Chernobyl nel 1986 dove, peraltro, oltre ai prodotti di fissione, vi fu una notevole dispersione anche di materiale combustibile dovuta all'esplosione del reattore in funzione determinando l'esposizione del nocciolo a cielo aperto. Questa stima della radioattività emessa ha portato l'Agenzia per la Sicurezza Nucleare e Industriale giapponese (NISA) a proporre, temporaneamente, una classificazione al livello INES 7 dell'incidente occorso presso la centrale di Fukushima. Tuttavia, la valutazione ufficiale della gravità dei singoli incidenti occorsi a ogni impianto verrà stabilita dalla IAEA, l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica dell'ONU, unico ente preposto a tale compito, solamente alla completa conclusione dell'incidente,

anche alla luce dell'analisi dettagliata della sequenza di eventi occorsa e delle più precise valutazioni dell'effetto dei rilasci di radioattività sulla popolazione e sull'ambiente.

A titolo di esempio, i valori rilevati al cancello di in-

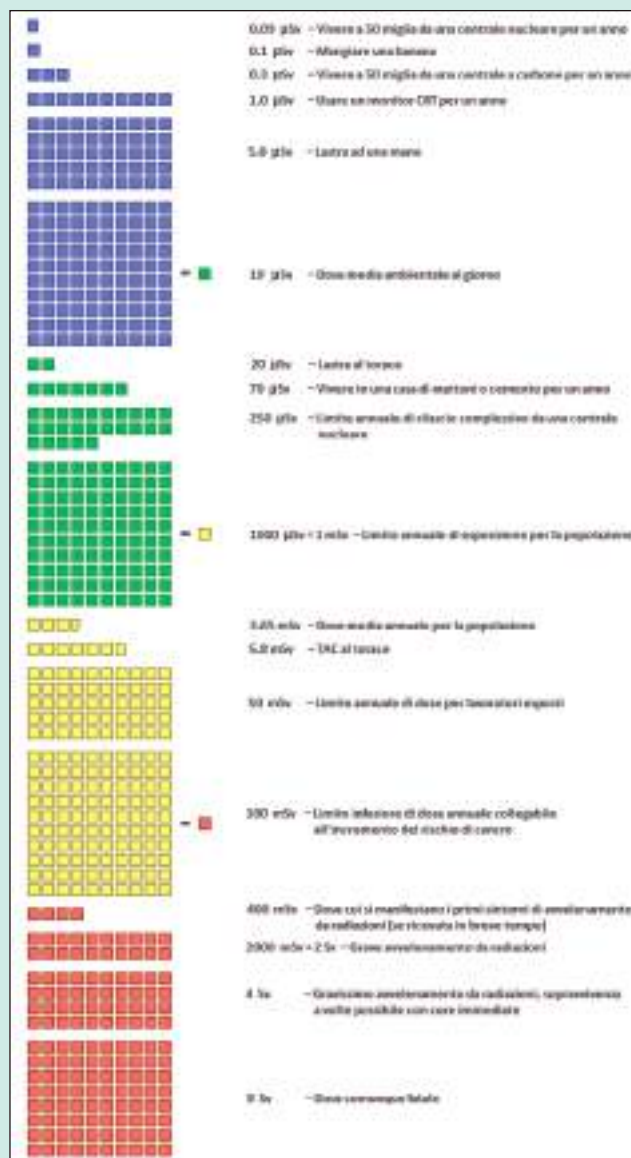


FIGURA 3 Tavola dei livelli di dose di radiazione
Fonte: NRC, INL

gresso di Fukushima, molto elevati nei primi tre giorni, sono poi progressivamente diminuiti: già il 21 marzo – a 10 giorni dal terremoto – si registravano 258 $\mu\text{Sv/h}$ al cancello di ingresso principale mentre nella palazzina di servizio si rilevavano ancora 2.015 $\mu\text{Sv/h}$. Sono certamente valori elevati che hanno generato non poca preoccupazione, ma destinati a diminuire. Ad un mese dal sisma, i valori di radioattività sono infatti scesi a 78 $\mu\text{Sv/h}$ al cancello di ingresso e 560 $\mu\text{Sv/h}$ presso la palazzina di servizio.

Se, all'interno del sito della centrale, i livelli di radiazione sono sensibilmente maggiori del fondo radioattivo naturale, diversa è la situazione per quanto

superiore al fondo. Nell'incidente giapponese, in quasi tutte le prefetture, i livelli di radiazione a 10 giorni dal sisma non mostrano variazioni rispetto ai valori normali. Solo nelle 5 prefetture più prossime al sito di Fukushima si è osservato, a 10 giorni dal sisma, un incremento della radioattività di un fattore compreso tra 2 e 2.5. Questo dato va interpretato però con grande cautela: a Tokyo, per esempio, la rilevazione del 22 marzo (0.138 $\mu\text{Sv/h}$) è di un valore due volte superiore a quello massimo naturale, ma comunque minore rispetto al fondo radioattivo naturale di altre località giapponesi dove c'è presenza di radon naturale. Nella prefettura di Fukushima le verdure a foglia lar-

La scala INES (*International Nuclear and radiological Event Scale*) è uno strumento ideato per comunicare in modo coerente e chiaro al pubblico la significatività – in termini di sicurezza – di ogni evento di natura nucleare o radiologica in generale, inclusi quelli derivanti dall'uso industriale o medico delle radiazioni, dall'esercizio di un impianto nucleare o dal trasporto di materiale radioattivo. Così come la scala Richter, ogni evento è catalogato assegnando ad esso un valore compreso tra 0 (deviazione insignificante) e 7 (grande incidente), valutando in funzione di tre diverse aree di impatto.

Popolazione e Ambiente, considera le dosi ricevute dalla popolazione nelle prossimità del luogo ove l'evento è accaduto, così come la diffusione del materiale radioattivo rilasciato.

Barriere Radiologiche e Controllo, per eventi occorsi all'interno di grandi facility, senza conseguenze dirette per la popolazione o l'ambiente, considera i livelli di radiazione e la diffusione di materiali radioattivi all'interno dell'installazione.

Difesa in Profondità, per eventi occorsi senza alcun impatto diretto sulla popolazione o l'ambiente, considera l'efficacia delle contromisure implementate per prevenire l'incidente.

Ad ogni livello corrisponde una gravità dell'evento associato 10 volte superiore di quella di un evento catalogato al livello immediatamente inferiore.

riguarda la contaminazione dell'ambiente dovuta alla diffusione delle sostanze radioattive.

Pur essendo i rilasci di prodotti di fissione seguiti agli incidenti di Fukushima e Chernobyl confrontabili, gli impatti della radioattività sulla popolazione sono completamente differenti, grazie anche alla tempestiva diramazione dell'ordine di evacuazione dell'area circostante il sito e alle misure di profilassi adottate. Nel caso di Chernobyl, a causa dell'incendio della grafite (non presente nei reattori di Fukushima) che trasportò materiale radioattivo negli strati alti dell'atmosfera, la nube investì l'intera Europa, provocando ovunque un rilevante innalzamento della radioattività rispetto al fondo naturale. Persino nel nord Italia, a circa 1.500 km dalla centrale, si rilevò un incremento quasi 4 volte

ga risultano contaminate e il governo ne vieta l'ingresso nella catena di distribuzione, ma potrebbe essere una misura temporanea. I dati diffusi dalla IAEA infatti confermano che la maggiore contaminazione è dovuta a Iodio 131 (con un valore massimo di 150.000 Bq/kg) ma, in considerazione del fatto che questo isotopo ha un'emivita di 8 giorni, la radioattività è destinata a raggiungere valori trascurabili entro un paio di mesi. I valori di Cesio 137 negli spinaci e nelle cipolle sono prossimi al limite consentito dalla legge per la vendita al pubblico. Questo fatto è rilevante poiché nel caso del Cesio l'emivita è di circa 30 anni, quindi un quantitativo maggiore di Cesio avrebbe significato una contaminazione ambientale di lungo periodo.

I controlli effettuati sull'acqua di rubinetto a Tokyo indicano una contaminazione di Iodio 131 dentro i limiti di legge (la soglia è di 300 Bq/l), ma superiore a quella prevista per gli alimenti per l'infanzia, per cui se ne sconsiglia l'uso ai bambini. Anche questo problema si dovrebbe risolvere in poco tempo.

Sarebbe semplice attribuire le cause dell'incidente occorso alla centrale nucleare di Fukushima-Dai-ichi all'età del progetto, o agli errori di valutazione del massimo tsunami possibile. D'altra parte, i più moderni impianti sono forniti di sistemi passivi di sicurezza capaci di garantire tempi di grazia notevolmente superiori, così come i criteri di ridondanza e il consolida-

sia dai progettisti degli impianti sia dagli organi di controllo della sicurezza, ed acquisite come nuove informazioni da includere nella definizione di più stringenti criteri di sicurezza e di controllo. Come fu per l'incidente alla centrale di Three Mile Island, avvenuto nel 1979, successivamente alla realizzazione dei reattori della centrale di Fukushima-Dai-ichi, che ha dato il via allo sviluppo degli attuali reattori di III Generazione. Allora l'industria nucleare comprese la necessità di rivisitare completamente i requisiti di sicurezza, i criteri di progettazione degli impianti e l'addestramento degli operatori, analizzando il progetto dei reattori alla ricerca di tutti i possibili eventi iniziatori di un in-

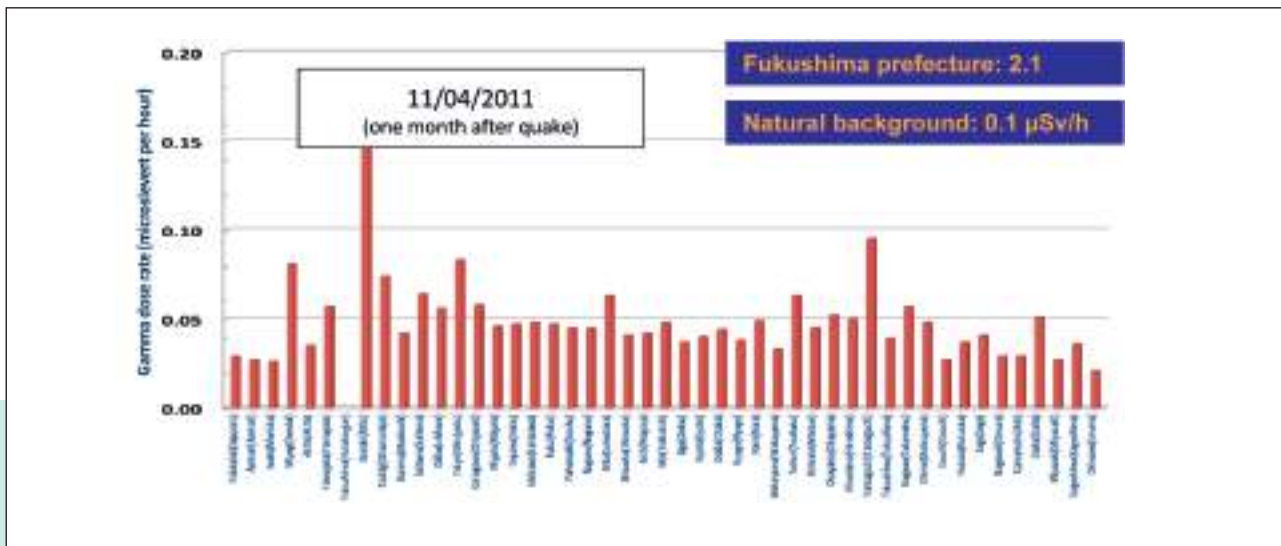


FIGURA 4 Ratei di dose gamma misurati presso le 47 prefetture giapponesi

Fonte: IAEA

mento di barriere multiple sono concetti che si sono evoluti grandemente nell'industria nucleare. Ciascuno dei "se" implicitamente contenuti nelle precedenti considerazioni sarebbe bastato a scongiurare l'evoluzione dell'incidente, che si sarebbe risolto senza alcun rilascio di radiazione, così come è successo presso le altre centrali colpite dal sisma.

Queste considerazioni devono invece essere recepite

incidente, trovando nuove soluzioni e nuovi sistemi per prevenire le cause e mitigare gli effetti di ogni evento. L'obiettivo comune è e rimane quello di ridurre i rischi di incidente per l'impianto e minimizzarne l'impatto sulla popolazione e sull'ambiente, per giungere ad un progetto per il quale non sia richiesto il piano di evacuazione della popolazione, anche nell'ipotetico caso di incidente severo con fusione del nocciolo. ●

Introduzione sulle materie prime critiche e le terre rare

Per materie prime critiche si intendono quelle materie prime non energetiche e non alimentari o di origine organica, il cui accesso risulta molto difficoltoso e la cui scarsa possibilità di approvvigionamenti rende cruciale lo sviluppo di nuove tecnologie *high tech*.

Secondo la Commissione Europea le importazioni complessive di materie prime critiche rappresenta circa 1/3 delle importazioni europee. La dipendenza dalle importazioni varia dal 48% per i minerali di rame, al 64% per i minerali di zinco e la bauxite, al 78% per il nickel fino ad arrivare al 100% per il cobalto, il titanio, il platino, il vanadio e le cosiddette "terre rare". Ma sono diventate materie prime rare anche il legno, la pelletteria, il cuoio, molte sostanze chimiche di uso industriale, che in questo contesto delle materie prime critiche non vengono direttamente prese in esame. Non essendoci un adeguato sistema di protezione e di controllo alle frontiere europee, molti di questi materiali entrano illegalmente in Europa e non sempre le statistiche ufficiali rispecchiano la realtà. Il mercato internazionale delle materie prime critiche è inoltre distorto da una serie di barriere economiche che i paesi detentori pongono (tasse sulle esportazioni, divieti, discriminazioni sulle licenze o sulle concessioni, regole restrittive sulle esplorazioni geologiche o le estrazioni minerarie delle sopraddette materie prime, doppi sistemi di tariffe e prezzi ecc.) e che spesso favoriscono anche i commerci illegali. Se tali barriere vengono poste da un numero molto limitato di paesi detentori (quasi a livello di monopolio), è facile intuire che la scarsità di molte materie prime non è in realtà una scarsità effettiva, ma un impedimento all'accesso, vale a dire che si tratta di una scarsità regolata da posizioni dominanti. Questo è il caso soprattutto delle terre rare di cui la Cina, con il 97% della produzione mondiale, ha imposto negli ultimi anni una riduzione progressiva delle esportazioni, fino al blocco totale da attuarsi a partire dal 2015. La Cina detiene, inoltre, la maggiore produzione mondiale di tungsteno, indio, magnesio, grafite, germanio, antimONIO e di altre materie prime anche se, per ora non ha imposto restrizioni sulle esportazione. Ma ci sono anche altri casi che destano preoccupazione per le condizioni di quasi

monopolio della produzione: il Sudafrica detiene il 79% della produzione mondiale di platino e il Brasile il 92% della produzione mondiale di niobio.

Le restrizioni della Cina sulle esportazioni di terre rare, ma anche le altre situazioni di produzione in condizioni di quasi monopolio, hanno portato a una serie di tensioni sui mercati internazionali e a conflitti commerciali (comprese misure di ritorsioni commerciali) che spesso non appaiono palesi nelle relazioni internazionali fra i diversi paesi, in particolare tra paesi industrializzati, che hanno la necessità di approvvigionarsi di tali materie prime e cercano di difendere i principi del libero mercato, ed i paesi in via di sviluppo, che hanno la necessità di svilupparsi e che cercano di difendere il loro diritto a impedire l'accesso, perché tali materie prime sono fondamentali per il loro sviluppo tecnologico. Le esigenze di sviluppo socio-economico sostenibile e di uso sostenibile ed efficiente delle risorse naturali richiedono un ripensamento su quello che abbiamo fatto e stiamo facendo, su dove andare, ma soprattutto su come andare. La strategia europea è un tentativo di trovare soluzioni alternative, sia in termini di riequilibrio degli approvvigionamenti e di accesso competitivo alle materie prime rare, sia in termini di nuove opportunità di ricerca scientifica e tecnologica per individuare nuovi materiali e nanomateriali sostitutivi delle materie prime rare, sia in termini di risparmio delle risorse naturali utilizzando i rifiuti, opportunamente riciclati, contenenti le materie prime cercate.

Nel seguito, abbiamo cercato di portare in primo piano alcuni aspetti dell'intera problematica, cominciando innanzitutto con l'intervista all'ing. Franco Terlizze, Direttore Generale del Ministero dello Sviluppo Economico per le risorse minerarie ed energetiche, seguita da una sintesi sul quadro di riferimento europeo e, infine, da un approfondimento sul primo contributo che l'ENEA può fornire attraverso il suo impianto pilota sulle terre rare e sul recupero delle materie prime critiche. Altri contributi potranno essere messi a punto sia sul versante del know how e delle nuove tecnologie, sia su quello della ricerca di nuovi materiali sostitutivi e su altri settori, come l'intervista all'ing. Terlizze prospetta. ●

Intervista all'Ing. Franco Terlizzone

Direttore Generale della Direzione per le Risorse Minerarie ed Energetiche, Dipartimento Energia del Ministero dello Sviluppo Economico

■ a cura di Vincenzo Ferrara, con la collaborazione di Roberto De Ritis e Caterina Vinci



Che cosa sono le materie prime rare e perché il problema è diventato così importante?

Per materie prime rare non intendiamo solo quelle la cui disponibilità in natura è limitata rispetto alla domanda, ma anche e soprattutto quelle che sono prodotte da pochi Paesi al mondo, tanto da trasformare questo mercato in una sorta di oligopolio. Qui, però, ci riferiamo, specificamente ad una serie di minerali che rivestono grande importanza nei settori dell'alta tecnologia elettronica, la cui dipendenza dall'estero per l'Italia è praticamente totale. È il caso delle cosiddette "terre rare", ma anche di antimonio, berillio, cobalto, gallio, germanio, niobio, tantalio, platino ed altre ancora. Stiamo parlando di un gruppo di 41 elementi, di cui 14 sono considerati critici dall'Unione Europea e la cui produzione è concentrata in pochi Paesi tra cui la Cina, il Sudafrica e il Brasile (terre rare, tungsteno, indio, niobio, antimonio). Ma le terre rare, così come le altre materie prime strategiche, non sono, poi, così rare. La concentrazione della produzione non corrisponde ad

una concentrazione geografica, perché giacimenti sfruttabili sono stati già individuati anche in Groenlandia, Canada, California, Mongolia, Vietnam, Australia e perfino nel nord Europa (area baltica).

Ma, se queste materie prime non sono, poi, così rare perché si sono consolidate condizioni di oligopolio?

L'estrazione ed il trattamento dei minerali, per ottenere queste materie prime, comportano attività talvolta invasive del territorio. Inoltre, per essere competitive sui mercati internazionali, le imprese che operano in questo settore devono essere necessariamente di grandi dimensioni. L'Europa, che pure aveva una lunga tradizione mineraria, ha via via ridotto le proprie capacità esplorative e di intervento minerario preferendo approvvisionarsi all'estero, dove però le condizioni stanno ora diventando particolarmente difficili, soprattutto in riferimento alle restrizioni sulle esportazioni di paesi come la Cina. Contemporaneamente, la domanda mondiale sta crescendo come anche i costi e le tensioni sui mercati interna-

zionali. Tra le priorità dalla UE rientrano anche le esigenze di sviluppo sostenibile, che richiedono un uso più efficace ed efficiente delle risorse naturali lungo il loro ciclo di vita. Il quadro, quindi, è tale che sarà necessario considerare nuove strategie, le quali tengano conto del contesto ambientale e sociale, oltre che economico ed industriale. Fin dal 2008 la Commissione Europea si è mossa per definire nuove strategie nel settore delle materie prime critiche che sono fondamentali per l'innovazione e lo sviluppo di nuove tecnologie.

Quali sono queste strategie?

Le strategie europee, di recente formulate in un documento della Commissione, sono basate sulla ricerca di soluzioni di medio e lungo periodo per ridurre la dipendenza dell'Europa dai Paesi extra UE e per permettere l'accesso competitivo alle materie prime critiche. Dal punto di vista operativo questo significa che è necessario innanzitutto porre le basi per una politica europea di produzione delle materie prime strategiche, promuovendone una diversificazione

per aree geografiche. Tale diversificazione può essere perseguita con un rilancio dell'opzione estrattiva a livello europeo favorendo la ricerca e l'estrazione nel territorio della UE, ma anche proponendo una politica di incentivazione alle imprese estrattive europee per operare nel mercato mondiale, ad esempio con la promozione di joint venture con paesi produttori di materie prime strategiche. Ciò vale soprattutto per l'Italia, nella quale la dimensione delle imprese di settore non permette una adeguata competitività con i grandi gruppi multinazionali. In secondo luogo, si dovrà promuovere e favorire il riciclo di apparecchiature elettriche ed elettroniche per il riutilizzo delle materie prime rare in esse contenute e sfruttare pienamente l'*urban mining*, ovvero l'intero potenziale delle risorse "rifiuti urbani" per il riciclo di tutti quei minerali che attualmente hanno un basso indice di recupero. Infine, bisognerà incentivare la ricerca scientifica e tecnologica europea per approfondire lo studio della problematica della sostituibilità delle materie prime critiche con altre materie prime che non risentono delle stesse limitazioni e per individuare nuove tecnologie alternative. In questo contesto, il ruolo dell'ENEA appare di fondamentale importanza. Il Ministero dello Sviluppo Economico, e quindi anche la mia Direzione Generale, intende attuare le strategie europee avvalendosi delle competenze ENEA sviluppate da anni ad esempio con l'impianto di trattamento per le terre rare del Centro della Trisaia, non solo per avviare una produzione sostenibile e competitiva di terre rare, ma anche per concorrere alla realizzazione delle strategie europee per tutte le altre materie prime rare o critiche.

Quale sarà il contributo dell'ENEA?

Innanzitutto, dovremo stabilire quali sono effettivamente le materie prime critiche per il nostro Paese, al fine di valutarne la scarsità relativa, individuare le criticità ambientali e definire le relative normative di protezione ambientale. Questo ci permetterà di programmare i necessari approvvigionamenti. Il territorio italiano non dispone né di giacimenti significativi, né di una situazione ambientale tale da poter ipotizzare l'avvio di eventuali attività minerarie in questo settore. Quindi, ci muoveremo lungo due direttrici: da una parte definiremo specifici accordi bilaterali con quei Paesi dove le disponibilità sono maggiori, dall'altra parte procederemo ad un adeguato sviluppo nazionale delle capacità esplorative e di ricerca, delle tecnologie di produzione primaria e delle tecniche di recupero, in modo che le imprese italiane possano adeguatamente intervenire all'estero in progetti di cooperazione. Sto pensando, per esempio, all'Afghanistan, dove la nostra presenza militare ed umanitaria ha permesso di costruire buoni rapporti con quel governo. Attraverso la collaborazione con l'ENEA, le Università e gli altri Istituti di ricerca italiani, il MiSE potrà individuare e promuovere lo sviluppo delle migliori tecnologie ambientalmente sostenibili. Il Ministero ha inoltre promosso e aderito al "Laboratorio Materie Prime", una iniziativa volta a favorire lo sviluppo sostenibile delle risorse minerarie attraverso la creazione di una community fra gli operatori di settore, le istituzioni, le associazioni di categoria e tutti i soggetti coinvolti a vario titolo nelle attività estrattive. Il laboratorio, composto da una pluralità di soggetti, tra cui ENEA, si occuperà come prima tematica dei minerali

strategici rari e comunque critici a livello nazionale, elaborando proposte di strategia mineraria basate sulle deliberazioni assunte in ambito comunitario. Il rapporto con l'ENEA sarà, in particolare, importante in due ambiti: nell'utilizzo dell'impianto di trattamento di terre rare della Trisaia, come impianto pilota per la produzione industriale, e nell'accelerare il recupero di terre rare dal riciclo di prodotti elettronici in disuso.

Quindi l'ENEA come braccio tecnico operativo in questo settore?

Non solo nel settore delle materie prime rare. L'ENEA già svolge con il MiSE il suo ruolo di Agenzia per l'energia e l'efficienza energetica, ma la collaborazione con l'ENEA è di rilevante importanza per il MiSE e la mia Direzione anche nel campo delle tecnologie di CCS (*carbon capture and storage*) per l'abbattimento delle emissioni di anidride carbonica nei grandi impianti che utilizzano combustibili fossili. Altro campo in cui l'ENEA potrà giocare un ruolo importante è quello della valorizzazione delle risorse geotermiche che concorrono a ridurre la nostra dipendenza energetica dall'estero e di cui l'Italia ha abbondante disponibilità. Infine, mi auguro che, attraverso la vostra Rivista, potremo far conoscere anche le altre attività di natura tecnica che la mia Direzione Generale è chiamata a svolgere, come per esempio quelle relative alla sicurezza nei lavori di ricerca petrolifera offshore, alla luce dell'incidente alla piattaforma petrolifera del Golfo del Messico dello scorso anno, dello stoccaggio sotterraneo di gas naturale e più in generale del contributo alla strategia energetica nazionale rappresentato dalle risorse minerarie ed energetiche del nostro Paese. ●

Materie prime di critico approvvigionamento

Una sfida tecnologica per la sostenibilità dello sviluppo europeo

Nel prossimo decennio l'Europa si troverà ad affrontare sfide non solo economiche, ma anche sociali, poiché gli obiettivi principali di una società moderna dipendono dalla presenza di prodotti che può essere messa in discussione dalla disponibilità o meno dei materiali necessari per la loro realizzazione. In questo contesto, la Commissione ha messo in atto una serie di strategie per ovviare alla criticità di 14 materie prime, in grado di determinare una possibile emergenza per lo sviluppo del sistema industriale europeo

■ Marco Vittori Antisari, Dario della Sala, Giacobbe Braccio, Massimo Busuoli

Nel marzo 2010, la Commissione Europea ha presentato la strategia *Europa 2020* concepita per uscire dalla crisi e preparare l'economia dell'UE ad affrontare le sfide del prossimo decennio. In essa, la CE individua 5 obiettivi da raggiungere entro il 2020 mediante una serie di iniziative faro:

- il 75% delle persone di età compresa tra 20 e 64 anni deve avere un lavoro;
- il 3% del PIL dell'UE deve essere investito in ricerca e sviluppo (R&S);
- i traguardi "20/20/20" in materia di clima/energia devono essere raggiunti;
- il tasso di abbandono scolastico deve essere inferiore al 10% e almeno il 40% dei giovani deve avere una laurea o un diploma;
- 20 milioni di persone in meno devono essere a rischio povertà.

Tali obiettivi dovranno essere raggiunti mediante una serie di sette iniziative faro tra cui compare quella relativa alla Unione della Innovazione, dove si intende riorientare la politica in materia di Ricerca, Sviluppo e In-

novazione in funzione di grandi sfide principali (*societal challenges*), riducendo il divario tra scienza e mercato per accelerare la trasformazione di invenzioni in prodotti. Un ruolo chiave in tal senso lo svolgono i partenariati europei per l'innovazione (EIP) (uno dei dieci elementi chiave che compongono l'Unione dell'Innovazione) che mirano a coinvolgere gli stakeholder europei pubblici e privati per raggiungere obiettivi ben definiti sulle tematiche identificate come sfide della società a livello politico, al fine di permettere all'Europa di affermarsi come leader mondiale.

All'inizio del 2011 è stato avviato il primo di questi partenariati sull'invecchiamento "di qualità" della popolazione come pilota e sono attualmente in fase di definizione quelli relativi a settori come le *Smart Cities*, la efficienza idrica, l'agricoltura produttiva e sostenibile e le materie prime non energetiche. Quest'ultima partnership nasce dalla necessità per l'Europa di fare un significativo passo avanti entro il 2020 per migliorare la sicurezza della fornitura e raggiungere una

gestione efficiente e sostenibile delle materie prime non energetiche. È infatti indubbio che l'evoluzione demografica, l'urbanizzazione e l'industrializzazione delle economie emergenti stiano creando nuove sfide sia per l'Europa che altrove.

Si tratta di sfide non soltanto economiche, ma anche sociali, poiché i principali obiettivi politici di una società moderna (ambiente, tecnologia, salute...) dipendono dalla presenza di appropriati prodotti e tecnologie che può essere messa in discussione dalla disponibilità o meno dei materiali necessari per la loro realizzazione.

Tornando al problema dell'approvvigionamento di materie prime, è stato pubblicato nel mese di giugno 2010 il Report of the ad hoc *Working Group on defining critical raw materials* che contiene uno studio sulle criticità di

- Marco Vittori Antisari, Dario della Sala
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali
- Giacobbe Braccio
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Trisaia
- Massimo Busuoli
ENEA, Ufficio di Bruxelles

approvvigionamento delle materie prime nella Unione Europea nel prossimo decennio. Si tratta di uno studio estremamente autorevole redatto da un gruppo di esperti selezionato all'interno del Raw Materials Supply Group e presieduto dalla Commissione Europea. Il gruppo di lavoro, basandosi su di una metodologia di assestamento del rischio, ha valutato la disponibilità di materie prime nel continente, soprattutto in relazione alle esigenze di tecnologie considerate emergenti e pervasive nel prossimo decennio. È bene notare che lo studio si riferisce a materie prime non energetiche e non alimentari.

Combinando diversi fattori quali la rilevanza economica, la disponibilità nel sottosuolo europeo e gli aspetti geopolitici, sono risultate critiche per lo sviluppo del sistema industriale europeo 14 materie prime. A fronte di questa analisi il Directorate of Enterprise and Industry della Commissione Europea sta mettendo in atto una serie di strategie per organizzare una risposta a questa possibile emergenza. In questo quadro nasce la *European Innovation Partnership* (EIP) sopra citata, che potrebbe essere varata prima dell'estate 2011.

In vista del varo dell'iniziativa è stata indetta una riunione preparatoria che si è tenuta a Bruxelles lo scorso 28 febbraio per analizzare gli aspetti organizzativi di una possibile EIP sulle materie prime, orientata ad affrontare l'argomento in generale, considerando l'individuazione delle materie prime critiche come un campanello d'allarme. Gli orientamenti della Commissione in tal senso sono contenuti nella Comunicazione *Tackling the challenges in commodity markets and on raw materials* (COM(2011) 25 final). Per la EIP sulla materie prime si pre-

vede una struttura organizzativa basata su di uno *Steering Board* di alto livello politico supportato da cinque gruppi di esperti organizzati in gruppi di lavoro. Gli argomenti che riflettono le linee di intervento riguardano aspetti tecnologici, aspetti non tecnologici e cooperazione internazionale e sono i seguenti.

Sviluppare nuove tecnologie innovative e soluzioni per l'approvvigionamento sostenibile delle materie prime - Tecnologie innovative che coprono l'intera catena del valore, per l'esplorazione, l'estrazione (anche in miniera), il processamento, il recupero ed il riciclo di materie prime primarie e secondarie, che siano economiche, sicure, compatibili con l'ambiente e la società, ad esempio partendo dagli scarti di miniera.

Sviluppare nuove tecnologie innovative e soluzioni per la sostituzione dei materiali critici - Mettere a punto soluzioni per ridurre l'uso delle risorse o identificare sostituti per materiali critici, scarsi o pericolosi.

Migliorare la conoscenza delle materie prime e le relative infrastrutture in Europa - Costruire una conoscenza innovativa delle risorse d'Europa, compresa la ricerca di materie prime primarie e secondarie (in ambito terrestre e marino) e la valutazione della disponibilità, comprese le miniere urbane.

Migliorare il contesto normativo, attraverso la promozione dell'eccellenza e del riciclo, mediante l'approvvigionamento del settore pubblico ed iniziative private - Connettere l'uso efficiente delle risorse lungo l'intera catena del valore al fine di ottimizzare la percentuale globale di riciclo.

Cooperazione internazionale - Curare gli aspetti trasversali, concernen-

ti la dimensione internazionale ed il contesto normativo di tutti e quattro gli argomenti menzionati, comprendendo iniziative di cooperazione per gli aspetti della ricerca, del commercio, dell'ambiente e dello sviluppo.

Su questi argomenti è prevedibile quindi un notevole sforzo economico e normativo, nonché il supporto ad attività di ricerca da parte della Commissione.

È interessante notare come, pur trattandosi di materie prime non direttamente energetiche, la maggior parte delle 14 materie prime critiche abbia a che fare con dispositivi per la generazione o la gestione dell'energia.

Alcune delle criticità sono state già da tempo individuate dalla comunità scientifica e rappresentano argomento di studio e sperimentazione anche nei laboratori ENEA, come ad esempio i materiali sostitutivi dei catalizzatori a base di metalli nobili utilizzati nelle marmitte catalitiche e in proiezione di largo utilizzo per le celle a combustibile, gli ossidi trasparenti e conduttori alternativi all'ossido di Indio e Stagno (ITO) utilizzato principalmente nei display piatti o il recupero di terre rare da materiali di scarto o esausti.

Questo nuovo settore di ricerca, strettamente correlato con la sostenibilità dello sviluppo industriale del nostro continente, rappresenterà una importante sfida nel corso dei prossimi anni, all'interno della quale valorizzare le capacità ENEA, soprattutto nel settore della sintesi e del collaudo di materiali innovativi e delle tecnologie di riciclo, ma anche nell'impiantistica e nell'approccio integrato caratteristico dell'Agenzia, in grado di unire innovazione tecnica, supporto agli enti pubblici, consulenza per nuove normative e comunicazione sociale. ●



Baotou	55,000 t
<ul style="list-style-type: none"> • Relocation of iron ore mining • Tailing facilities near capacity 	
Sichuan	10,000 t
<ul style="list-style-type: none"> • Target to increase separation • Low value distribution 	
Ionic clay regions	45,000 t
<ul style="list-style-type: none"> • Large amount of illegal mining 	
Others	15,000 t
<ul style="list-style-type: none"> • Recycling - 5,000 t • Russia - 4,000 t • India - 3,000 t • Mountain Pass ~ 3,000 t 	
Total	125,000 t

un enorme incremento del consumo interno di terre rare dettando nel contempo una progressiva riduzione della quota di esportazione (tabella 2). L'obiettivo cinese sembra quello di arrivare entro il 2015 al totale consumo interno della risorsa prodotta lasciando come unica scelta, alle industrie straniere *high tech* che vogliono utilizzare le terre rare cinesi, di spostare in Cina la produzione. Questo sta portando, come prevedibile, ad un impennata dei prezzi di queste materie prime (figura 4).

TABELLA 1 Produzione di terre rare nel 2010
Fonte: Lynas Corporation Ltd

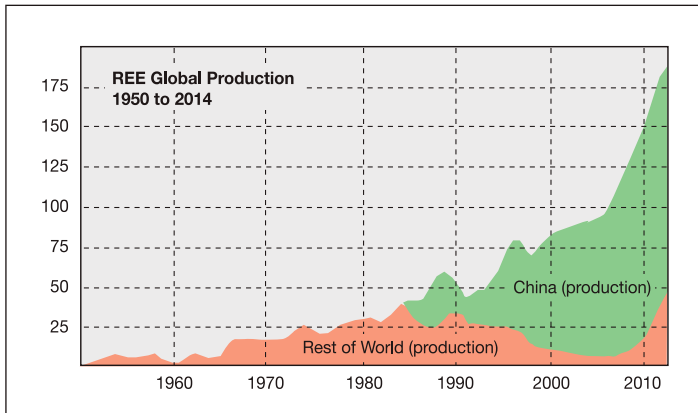


FIGURA 2 Produzione mondiale di terre rare
Fonte: USGS (2010)

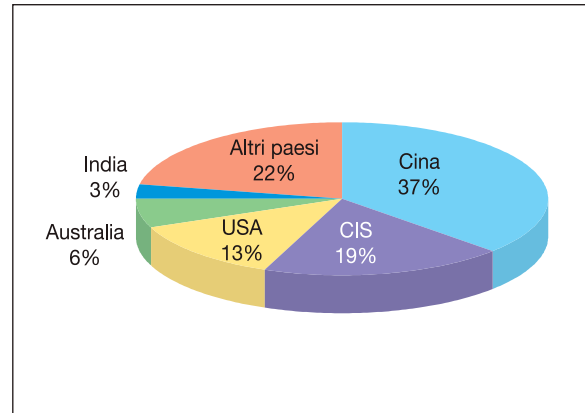


FIGURA 3 Depositi mondiali di terre rare
Fonte: Lanthanide Resources and Alternatives

	Export quotas (tonnes REO)	Change from previous year	ROW demand (tonnes)	ROW supply (tonnes)
2005	65,609	-	46,000	3,850
2006	61,821	-6%	50,000	3,850
2007	59,643	-4%	50,000	3,730
2008	59,939	-5%	50,000	3,730
2009	60,145	-12%	25,000	3,730
2010	30,258	-40%	48,000	5,700-7,700

TABELLA 2 Quote di esportazione della CINA e produzione e domanda di terre rare del resto del mondo (ROW)
Fonte: Kingsnorth 2010, Koven 2010 and Hatch 2010

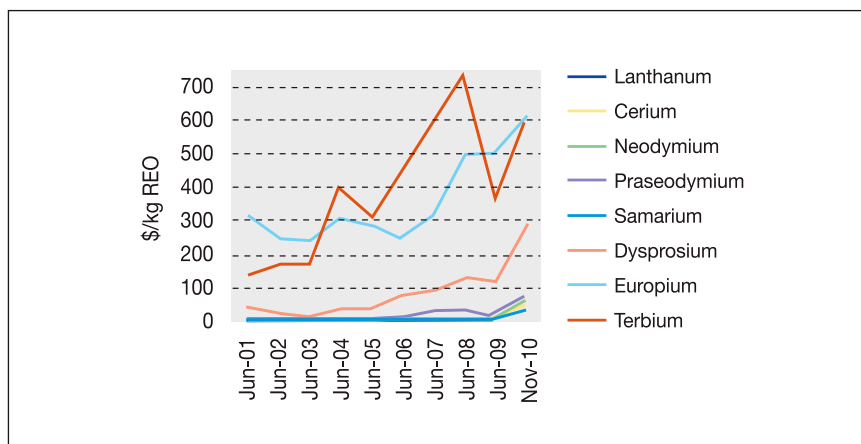


FIGURA 4 Andamento del prezzo degli ossidi di terre rare con purezza minima del 99%
Fonte: Lynas corporation ltd

Come risposta alla politica monopolistica cinese si è avuto un fiorire d'iniziative per l'estrazione mineraria delle terre rare in tutto il mondo (figura 5 e tabella 3). I cinesi non sono rimasti a guardare e hanno

da tempo iniziato una politica di espansione, all'esterno della Cina, per assumere il controllo di una fetta ancora più rilevante dei depositi mondiali.

La speranza della comunità inter-

nazionale è che si possa arrivare velocemente ad una riduzione dell'attuale cronica dipendenza dalle terre rare cinesi. Considerando che le previsioni di produzione sono fatte da qui a 4 anni (tempo minimo per l'avvio delle produzioni progettate) e potrebbero nel frattempo insorgere ostacoli non prevedibili al momento, sarebbe consigliabile adottare delle politiche alternative parallele al semplice "trovare nuove risorse minerarie".

La comunità europea, che non può contare sulla possibilità di aprire nuovi giacimenti (visto che non ne possiede), sta agendo su tre differenti fronti per affrontare il problema "terre rare cinesi".

Come prima cosa si sta cercando di stringere forti legami con produttori alternativi (sia attuali che futuri) che siano caratterizzati da affidabilità e da una stabilità geopolitica dell'area di produzione (non dimentichiamo che affidarsi a paesi in via di sviluppo con situazioni politiche "traballanti" potrebbe essere estremamente controproducente).

In secondo luogo si è deciso d'incentivare la ricerca di alternative tecnologiche all'utilizzo di questi metalli. Infine, nell'ottica di una gestione sostenibile dei materiali, si vuole puntare molto su un riciclo sempre più massiccio dei rifiuti che li contengono (la percentuale odierna di riciclo è assurdammente bassa).

Il recupero di metalli da rifiuti viene effettuato generalmente per via pirometallurgica o idrometallurgica. Nel caso delle terre rare la strada idrometallurgica (sulla quale si basa tra l'altro la produzione industriale dal minerale) è solitamente la pre-

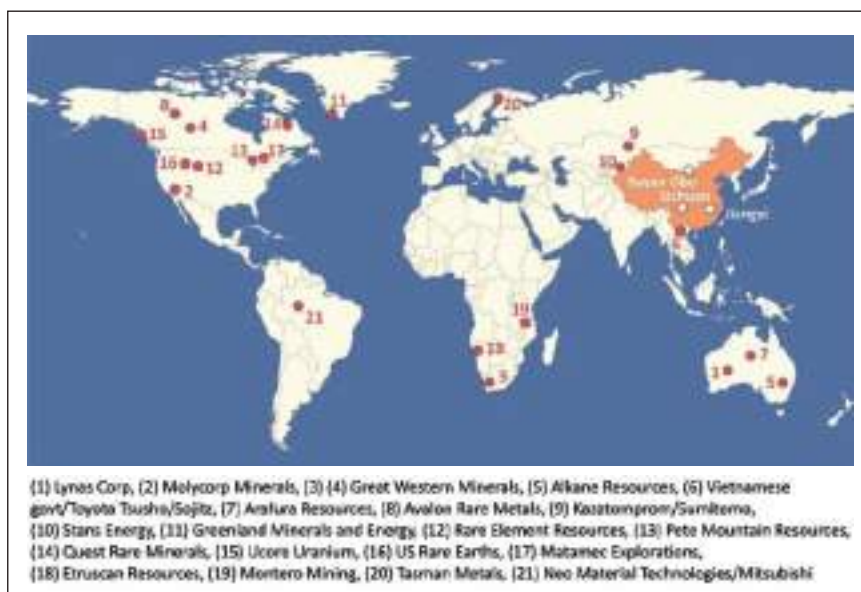


FIGURA 5 Progetti di estrazione mineraria di terre rare
Fonte: Industrial Minerals via Watts (2010)

	Estimated 2010 production	Assumed additional production by 2015							Total additional production by 2015	Estimated 2015 production
		Mountain Pass (USA)	Mt. Weld (Australia)	Nolans Bore (Australia)	Nechalacho (Canada)	Dong Pao (Vietnam)	Hoidas Lake (Canada)	Dubbo Zirconia (Australia)		
Lanthanum	33,887	6,640	3,900	2,000	845	1,620	594	585	16,184	50,071
Cerium	49,935	9,820	7,650	4,820	2,070	2,520	1,368	1,101	29,349	79,284
Praseodymium	6,292	868	600	590	240	200	174	120	2,792	9,084
Neodymium	21,307	2,400	2,250	2,150	935	535	657	423	9,350	30,657
Samarium	2,666	160	270	240	175	45	87	75	1,052	3,718
Europium	592	20	60	40	20	0	18	3	161	753
Gadolinium	2,257	40	150	100	145	0	39	63	537	2,794
Terbium	252	0	15	10	90	0	3	9	127	379
Dysprosium	1,377	0	30	30	35	0	12	60	167	1,544
Yttrium	8,750	20	0	0	370	4	39	474	907	9,657
Total	127,315	19,968	14,925	9,980	4,925	4,955	2,991	2,913	60,657	187,972

TABELLA 3 Progetti correnti e futuri per la produzione di terre rare (per elemento)
 Fonte: Kingsnorth, Roskill (2010) and USGS (2010)

ferita. Questo è dovuto all'estrema difficoltà nel separare e purificare i singoli metalli (o gruppi di metalli) delle terra rare. La tecnica utilizzata è l'estrazione con solvente in stadi

multipli controcorrente (figura 6). Nel Centro ricerche ENEA della Trisaia è stato realizzato un impianto pilota idrometallurgico per l'applicazione delle tecniche di separazione

dei metalli attraverso estrazione con solvente e cromatografia (figura 7). L'impianto è dotato di un laboratorio di supporto per lo sviluppo scala banco dei processi (figura 8) e di un

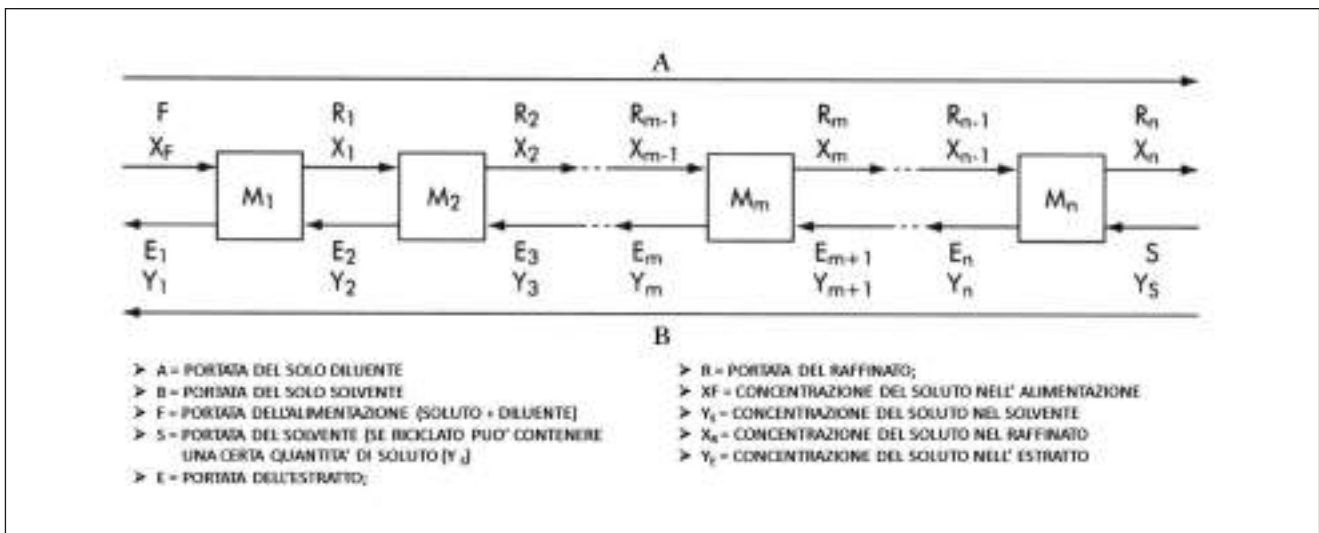


FIGURA 6 Estrazione a stadi multipli in controcorrente
 Fonte: ENEA

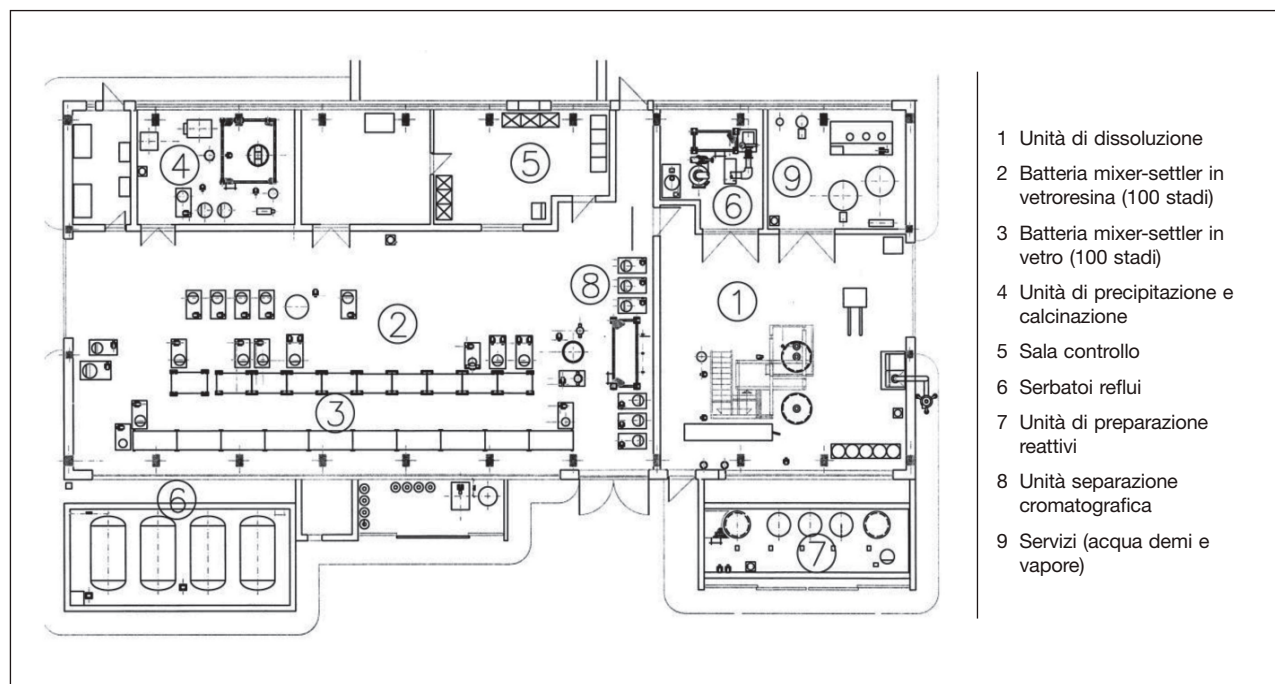


FIGURA 7 Planimetria impianto "terre rare"
 Fonte: ENEA



FIGURA 8
 Laboratorio Terre rare, Centro Ricerche ENEA della Trisaia
 Fonte: ENEA

laboratorio di supporto chimico-analitico per il controllo processo. Lo studio e lo sviluppo di processi in scala banco e pilota, così come l'innovazione tecnologica sulle tecniche impiegate per un abbattimento dell'im-

patto ambientale e un miglioramento del processo produttivo sono i target principali di queste *facilities*. L'impianto è pensato per trattare e recuperare metalli dalle matrici più disparate sia solide che liquide, sia

da minerali che da rifiuti o scarti industriali. Si propone dunque come banco di prova ideale per lo sviluppo dei processi di recupero (in scala banco e pre-industriale) di tutti i metalli d'interesse strategico. ●



Verso la conferenza Rio+20: stato dell'arte e prospettive delle energie rinnovabili

A vent'anni dal primo Summit della Terra le fonti rinnovabili di energia sono ancora al centro del dibattito internazionale sullo sviluppo sostenibile. Da allora sono stati fatti importanti progressi in campo tecnologico e in termini d'investimenti ma la corsa alla *green economy* non deve arrestarsi. Nuove e urgenti sfide attendono l'intero sistema energetico mondiale e le fonti rinnovabili costituiscono parte integrante della risposta globale

■ *Andrea Fidanza*

A giugno dell'anno prossimo si terrà in Brasile la conferenza delle Nazioni Unite sullo sviluppo sostenibile, detta anche Rio+20¹, che fa seguito al primo Summit della Terra tenutosi venti anni prima sempre nella stessa città e a quello di Johannesburg nel 2002. Gli obiettivi principali verso i quali punterà la conferenza di Rio sono essenzialmente il rinnovo dell'impegno politico in ambito di sviluppo sostenibile, la valutazione dei progressi fatti sino ad oggi nell'implementazione degli obiettivi internazionali di sostenibilità e, infine, l'individuazione di risposte alle nuove e urgenti sfide per il futuro. Nel corso del Summit i lavori si concentreranno in particolare su due temi chiave quali: il ruolo della *green economy* nel contesto dello sviluppo sostenibile e dell'eradicazione della povertà, e la definizione di un quadro istituzionale per lo sviluppo sostenibile.

A livello internazionale non esiste ancora ad oggi un'unica e condivisa definizione di *green economy* per lo sviluppo sostenibile, tuttavia si è ragionevolmente concordi nel ritenere che il concetto di sostenibilità non

possa prescindere dalla diffusione di tecnologie e fonti *low-carbon* per la produzione e il consumo di energia, comprese le rinnovabili che costituiscono uno degli strumenti chiave non solo per la lotta ai cambiamenti climatici ma anche per la crescita economica globale. Anche l'Agenzia Internazionale per l'Energia, nel suo scenario globale di forte penetrazione sul mercato di tecnologie *low carbon*², mostra come nel medio termine (2035) le rinnovabili contribuiscano per oltre il 20% alla riduzione complessiva delle emissioni di gas serra rispetto allo scenario tendenziale.

Investimenti mondiali in tecnologie "pulite"

Nel 2010 gli investimenti mondiali in tecnologie pulite³, nonostante il perdurare della difficile situazione economica internazionale, sono aumentati del 30% rispetto all'anno precedente, arrivando a superare i 240 miliardi di dollari, un picco mai raggiunto prima e pari a quasi cinque volte il livello d'investimenti del 2004 (figura 1)⁴. Tale dinamica denota una ripresa degli investimenti in tecnologie pulite rispetto al rallentamento registrato nel corso del 2009 a seguito dei pesanti effetti della crisi economica, nonostante la flessione fosse comunque più

■ *Andrea Fidanza*
ENEA, Ufficio Studi



FIGURA 1 Investimenti mondiali in tecnologie “pulite”, anni 2004-2010 (miliardi di \$)

Fonte: Bloomberg New Energy Finance, 2011

contenuta in questi settori rispetto a quelli tradizionali. Mediamente dal 2004 al 2008 il tasso annuo di crescita⁵ degli investimenti in tecnologie verdi si attesta al 37%. Al fine di superare le difficili congiunture economiche a livello mondiale e sostenere la crescita dei settori delle tecnologie pulite, i governi di diversi Paesi del mondo hanno stanziato, all'interno dei propri pacchetti di stimolo alla crescita economica, quote destinate a questi settori. A livello globale il budget totale allocato dal 2009 al 2013 per il sostegno di tali tecnologie risulta di 194 miliardi di dollari, con punte di finanziamenti tra il 2010 e il 2011 corrispondenti rispettivamente al 38% (74,5 miliardi di dollari) e al 35% (68 miliardi di dollari) del totale, per poi decrescere progressivamente nei due anni successivi.

Il rapido sviluppo fatto segnare negli ultimi anni dalle rinnovabili a seguito dell'implementazione di nuove politiche ambientali è stato sostenuto sia dai diversi meccanismi d'incentivazione che dalla progressiva decrescita del costo delle tecnologie.

La riduzione dei costi connessi alla produzione di energia verde deriva essenzialmente da tre fattori principali. Il primo è costituito dall'innalzamento dei volumi di produzione lungo tutta la filiera industriale che ha portato a notevoli economie di scala e quindi a una diminuzione dei costi di componenti e sistemi.

Un secondo motivo è rappresentato dai progressi avvenuti in campo tecnologico, grazie agli investimenti pri-

vati e pubblici in attività di ricerca e sviluppo che nel 2010 hanno raggiunto il livello record di 35,5 miliardi di dollari, crescendo del 24% rispetto all'anno precedente e aumentando di oltre il 70% in confronto al 2005. Infine un terzo elemento favorevole allo sviluppo delle rinnovabili è costituito dalla relativa facilità di accesso al credito, determinata dai bassi tassi d'interesse. In particolare nel settore del solare fotovoltaico, dopo un rallentamento della riduzione del costo dei moduli lungo la curva di apprendimento, avvenuto fino al 2008 a causa della scarsità di materia prima (silicio) sul mercato, è prevista nei prossimi anni un'ulteriore diminuzione che dovrebbe portare molto presto, almeno nei contesti più favorevoli dal punto di vista dell'irraggiamento solare, al raggiungimento della cosiddetta *grid parity*, ossia la parità tra il costo dell'elettricità generata da tecnologia fotovoltaica e il prezzo di vendita sul mercato⁶. Mediamente il costo di produzione dell'energia elettrica da tecnologia solare fotovoltaica è sceso del 22% ogni volta che la capacità produttiva mondiale è raddoppiata⁷.

La crescita delle rinnovabili a livello internazionale

I grandi investimenti degli ultimi anni hanno consentito di raggiungere, a livello mondiale, una quota di copertura dell'offerta totale di energia primaria (12.264 Mtep) attraverso le fonti di energia rinnovabile pari a quasi il 13% del totale, grazie a un contributo energetico che ha superato i 1.500 Mtep⁸. Oltre il 71% di questa energia proviene dalla biomassa solida, fortemente utilizzata nei paesi con economie in via di sviluppo per scopi non commerciali, come ad esempio il riscaldamento delle abitazioni. La rimanente produzione proviene per gran parte dal settore idroelettrico con circa il 18% del totale da rinnovabili, mentre a tutte le altre fonti corrispondono, di conseguenza, quote più ridotte. Tuttavia, dal 1990 al 2008 i maggiori tassi di crescita medi annui della produzione di energia si registrano tra le “nuove” fonti rinnovabili come solare fotovoltaico ed eolico che mostrano aumenti, rispettivamente, del 42,3% e 25,1%, nettamente superiori sia al tasso medio di crescita dell'offerta mondiale di energia (1,9%) che

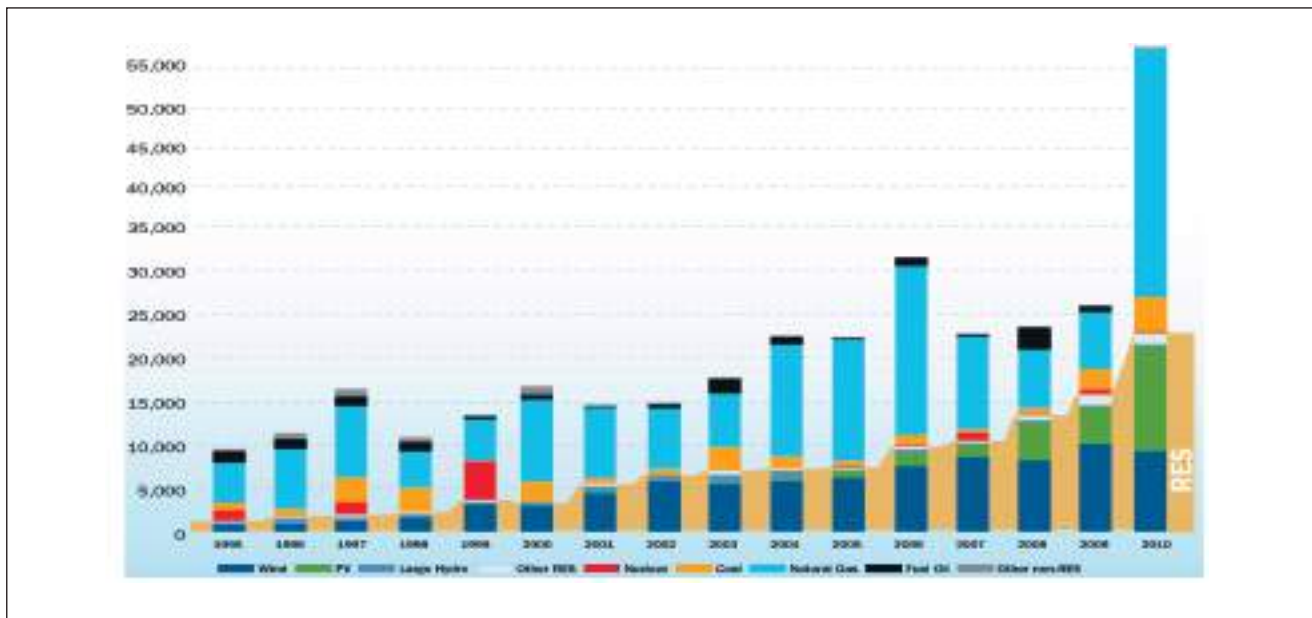


FIGURA 2 Nuove installazioni nel settore elettrico nell'Unione Europea (MW)
Fonte: EWEA 2011

a quello della biomassa solida (1,3%) nello stesso arco di tempo.

Il rapido sviluppo delle fonti rinnovabili, soprattutto di quelle nuove, è particolarmente evidente nei Paesi europei dove nel 2010 le installazioni annue nel settore elettrico sono arrivate a un nuovo record di 22,7 GW, salendo di oltre il 30% rispetto ai 17,3 GW installati l'anno

precedente (figura 2)⁹. Nel 2010, per il quinto anno consecutivo, la nuova potenza installata su impianti alimentati a fonti rinnovabili corrisponde a oltre il 40% del totale di tutte le nuove installazioni che hanno avuto luogo nell'Unione Europea (UE), denotando tuttavia un calo rispetto alla quota dell'anno precedente (63%) a causa dell'enorme crescita degli impianti a gas naturale. In particolare nel 2010, grazie a circa 12 GW di nuova potenza e quasi il 22% del totale UE, le installazioni su impianti a fonte solare fotovoltaica hanno superato quelle del settore eolico, rimaste di poco al di sotto dei 10 GW e corrispondenti al 16,7% del totale, costituendo così il principale mercato europeo delle fonti rinnovabili.

Osservando l'evoluzione negli ultimi anni delle installazioni nel settore elettrico europeo, emerge come il processo di decarbonizzazione sia già un fenomeno in corso. Tra tutte le fonti, infatti, l'ammontare maggiore di nuova potenza installata nel periodo 2000-2010, al netto di quella dismessa, è avvenuto nel settore del gas (118,2 GW), la fonte meno inquinante tra quelle fossili, seguito a sua volta dai settori eolico (75,2 GW) e fotovoltaico (26,4 GW). Nello stesso arco di tempo le fonti



FIGURA 3 Quota di energia elettrica da rinnovabili sul totale dei consumi UE-27 (%)
Fonte: EWEA 2011

che presentano, invece, un saldo negativo delle installazioni nette sono petrolio (-13,2 GW), carbone (-9,5 GW) e nucleare (-7,6 GW).

Con riferimento alla generazione di energia elettrica, i dati Eurostat indicano che il forte sviluppo delle installazioni europee su impianti alimentati a fonte rinnovabile ha portato nel 2009 la quota di elettricità verde a segnare un nuovo record: 608 TWh di produzione corrispondenti a quasi il 20% dei consumi totali nell'UE (3.402 TWh) rispetto al 16,6% del 2008 (figura 3). Nel settore elettrico europeo, la principale fonte tra tutte le rinnovabili rimane quella idroelettrica con l'11,6% del totale, seguita dall'eolico (4,2%), dalle biomasse (3,5%) e infine dal solare (0,4%)¹⁰.

Sviluppi attesi delle rinnovabili nei Paesi dell'UE

In Europa il forte sviluppo dei settori delle fonti rinnovabili dovrebbe continuare a essere sostenuto, almeno per tutto il decennio in corso, dall'implementazione di politiche da parte dei governi degli Stati membri UE per il raggiungimento degli obiettivi nazionali in materia di fonti rinnovabili, stabiliti in maniera vincolante dalla Commissione Europea attraverso la direttiva 2009/28/CE. A giugno 2010 ogni Paese ha inviato alla Commissione il proprio Piano d'Azione Nazionale (PAN) per le energie rinnovabili, indicando le proiezioni di crescita al 2020 per singola fonte rinnovabile e le relative misure che intende adottare per il raggiungimento degli obiettivi.

Osservando in maniera aggregata le proiezioni contenute nei 27 PAN degli Stati membri, emerge che nel 2020 le fonti rinnovabili consentiranno di andare oltre l'obiettivo posto dalla Commissione grazie a una quota del 20,7% rispetto al totale dei consumi finali di energia (figura 4)¹¹. In particolare le fonti rinnovabili raggiungeranno il maggiore livello di penetrazione nel settore elettrico, coprendo il 34% dei consumi totali. Nel 2020, il peso in termini percentuali del settore idroelettrico (30%) sulla produzione elettrica totale da rinnovabili scenderà a meno della metà del livello del 2005 (70%), lasciando spazio soprattutto alla crescita del settore eolico, la cui quota, nello stesso arco di tempo, passerà dal 14% al 40% del totale UE. Anche biomasse e fotovoltaici

avranno un ruolo importante, arrivando a coprire nel 2020 rispettivamente il 19% e il 7% circa di elettricità da rinnovabili.

Con riferimento al settore del calore e raffrescamento le fonti di energia rinnovabile raddoppieranno la propria quota sui consumi finali, passando da circa 1/10 nel 2005 a poco più di 1/5 nel 2020. Circa l'80% di questa energia proverrà dalla biomassa, per la gran parte di tipo solido, poco più di un decimo dalle pompe di calore (11,3%) e la rimanente quota soprattutto dal solare termico (5,8%).

Nei trasporti il livello di penetrazione delle fonti rinnovabili sul totale dei consumi finali sarà superiore al target imposto dalla Commissione (10%), arrivando nel 2020 a superare l'11%, in particolare grazie al contributo di biodiesel e bioetanolo dai quali proverrà rispettivamente il 65,9% e il 22,1% del totale di energia verde nel settore.

Complessivamente nel 2020 oltre la metà di tutta l'energia verde utilizzata nell'UE, necessaria al raggiungimento dell'obiettivo del 20% dei consumi finali di energia da fonti rinnovabili, proverrà da due fonti: la prima è la biomassa per usi termici, con oltre 1/3 di tutta la produzione di energia da rinnovabili, e la seconda è costituita dalla fonte eolica con il 17,4% del totale (figura 5). Nel 2020 le fonti elettriche assumeranno un peso nei consumi finali dell'UE simile a quello delle fonti termiche, con quote rispettivamente del 42% e del 46% circa del

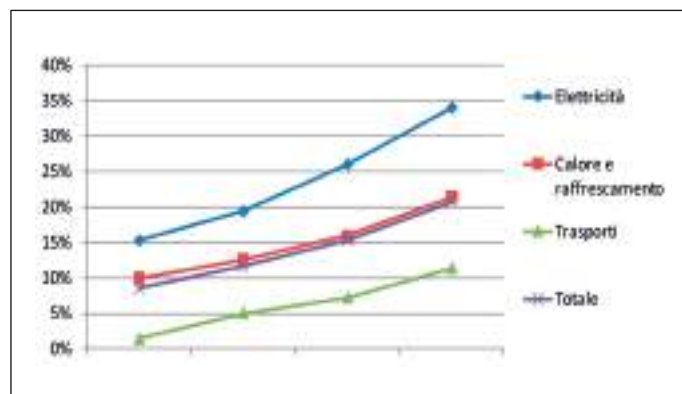


FIGURA 4 Energia da fonti rinnovabili rispetto ai consumi finali di energia nell'UE: quote per settore
Fonte: ECN-EEA, 2011

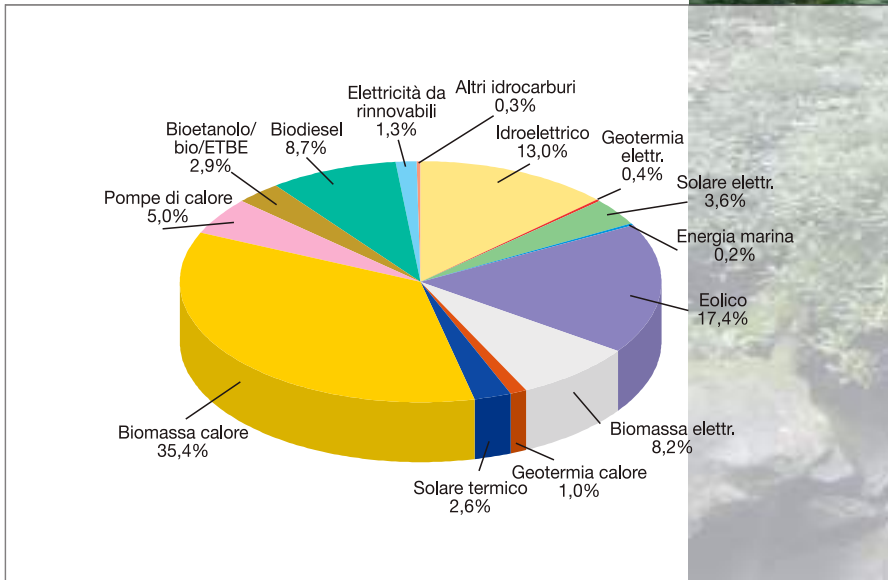
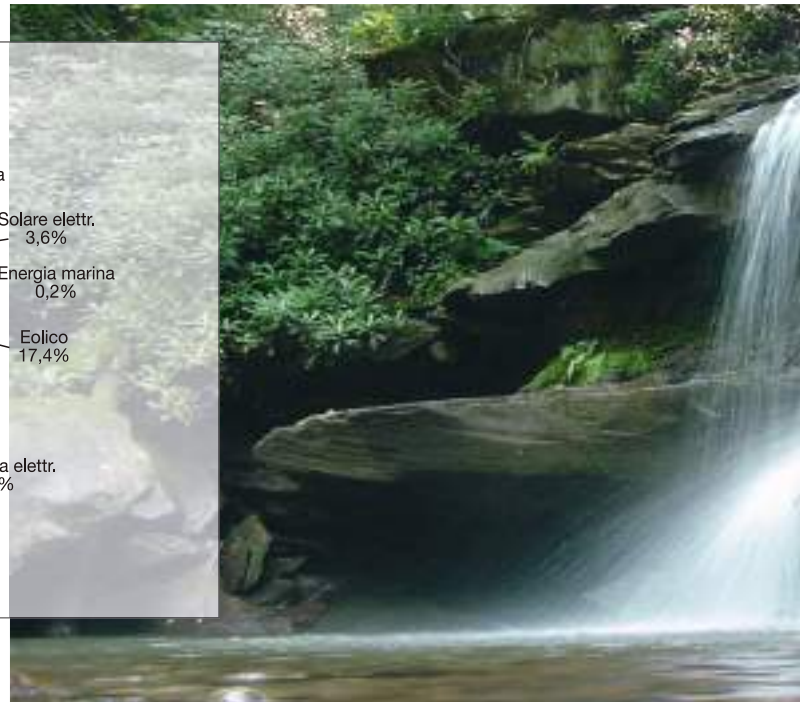


FIGURA 5 Quote per fonte rinnovabile dell'obiettivo UE sui consumi finali di energia al 2020 (20,7%)
Fonte: ECN-EEA, 2011



totale da rinnovabili, mentre dai biocarburanti deriverà la rimanente parte di energia (13%).

I progressi delle rinnovabili su scala nazionale

Per quanto riguarda l'Italia, i dati provvisori di Terna¹³ indicano che nel 2010 le fonti rinnovabili hanno continuato a crescere, portando a 22,2% la propria quota di consumo interno lordo (CIL) di energia elettrica (figura 6) rispetto a poco meno del 21% dell'anno precedente. Questo grazie a un totale di elettricità verde prodotta nel 2010 di 75 TWh, corrispondente a un aumento dal 2009 dell'8,6% (6 TWh), superiore a quello del CIL nazionale (+1,7%). Tra le rinnovabili, l'idroelettrico continua a mantenere la porzione maggiore dell'apporto energetico con il 67% del totale, denotando tuttavia un calo rispetto all'anno precedente (71%).

Le nuove fonti rinnovabili continuano la loro ascesa anche in Italia e il fotovoltaico, grazie a un aumento della produzione del 136% su quella del 2009, rappresenta a livello nazionale la fonte, comprese quelle tradizionali,

con il più elevato tasso di crescita della generazione elettrica.

Tuttavia il proprio contributo al CIL elettrico nazionale risulta ancora piuttosto limitato, attestandosi allo 0,5% del totale. Continua anche la crescita dell'eolico (+29,1%) e dei biocombustibili (+21,6%), arrivati a coprire rispettivamente l'11% e il 12% circa della produzione da rinnovabili e il 2,5% e 2,7% dell'intero CIL di energia elettrica in Italia. Infine la geotermia, con una produzione e una quota di CIL (1,6%) rimaste sostanzialmente identiche a quelle del 2009.

Relativamente alla potenza installata in Italia su impianti alimentati a fonti rinnovabili, a febbraio 2011 il GSE (Gestore Servizi Energetici) ha comunicato le prime stime per il 2010 che attestano la potenza totale oltre i 30 GW¹³ rispetto ai 26,5 GW dell'anno prima¹⁴.

In particolare nel settore fotovoltaico, a fine 2010, il numero di impianti in esercizio era di circa 156.000, oltre il doppio dell'anno prima, per una potenza complessiva di circa 3,5 GW¹⁵ pari a più del triplo di quella del 2009 (1,1 GW). Ad aprile 2011 il contatore fotovoltaico del GSE riporta un ulteriore aumento della potenza totale

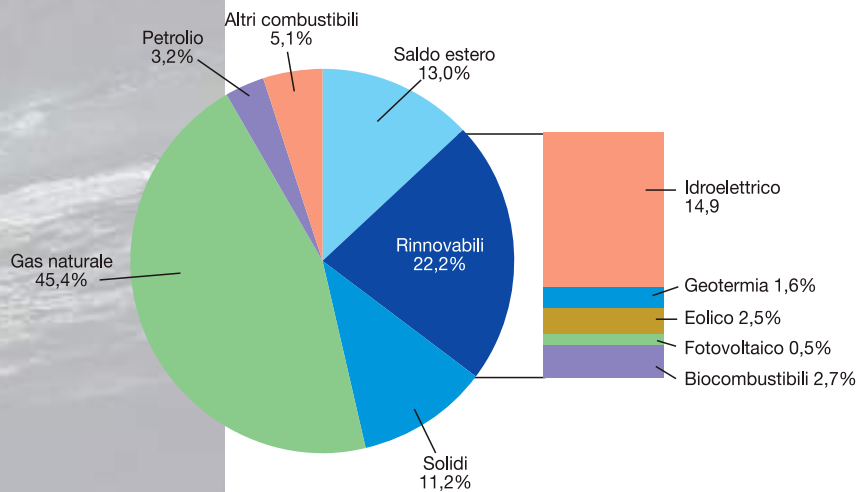
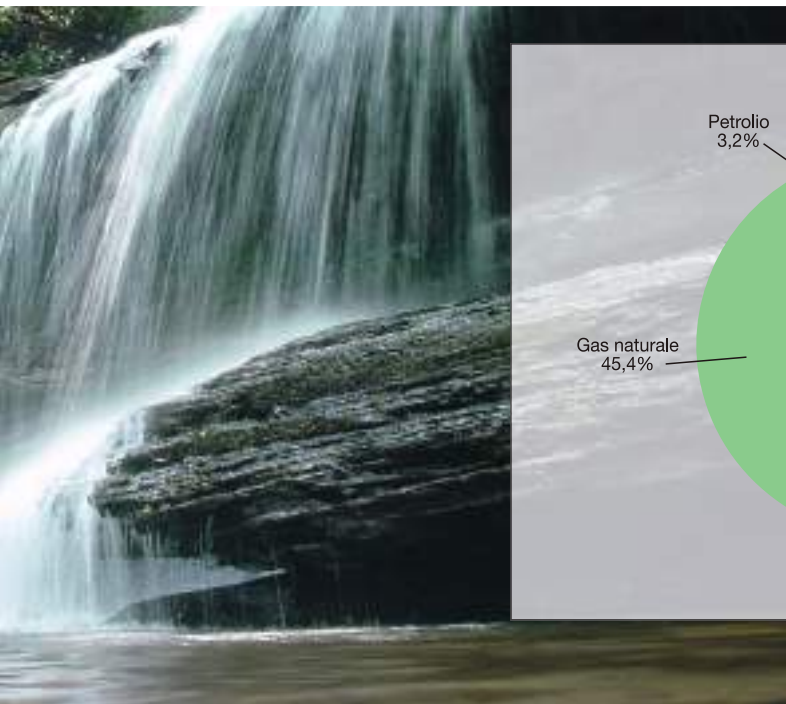


FIGURA 6 Consumo interno lordo di energia elettrica in Italia nel 2010: quote per fonte
Fonte: Terna

installata su impianti in esercizio per un totale di 4,3 GW, che corrisponde approssimativamente a metà dell'obiettivo settoriale per il 2020 indicato nel PAN per le energie rinnovabili del Governo. Per quanto attiene, invece, al settore eolico, si rileva nel 2010 ancora una

variazione positiva delle installazioni, +20% (0,9 GW) circa rispetto al 2009, che porta la potenza cumulata a fine anno a 5,8 GW, nonostante si registri un rallentamento della crescita della potenza annua rispetto al 2009 (1,3 GW).

note

1. <http://www.uncsd2012.org/rio20/>
2. *World Energy Outlook 2010*. International Energy Agency.
3. I dati comprendono: energie rinnovabili, efficienza energetica, *smart grid* e altre tecnologie energetiche, *carbon capture and storage* e investimenti in infrastrutture destinati unicamente alla integrazione delle tecnologie pulite.
4. *Green Energy Investing 2011*. World Economic Forum.
5. CAGR - *Compound Annual Growth Rate*.
6. *Technology Roadmap. Solar photovoltaic energy*. International Energy Agency, 2010.
7. *Solar generation 6. Solar photovoltaic electricity empowering the world*. European Photovoltaic Industry Association, 2011.
8. *Renewables Information 2010*. International Energy Agency.
9. *Wind in power*. European Wind Energy Association, 2011.
10. *EU Energy Policy to 2050*. European Wind Energy Association, 2011.
11. *Renewable Energy Projections as Published in the National Renewable Energy Action Plans of the European Member States*. Energy research Centre of the Neatherlands, European Environment Agency, 2011.
12. *Dati statistici sull'energia elettrica in Italia*. Terna, marzo 2011.
13. Comunicato stampa del 15.02.2011 del Gestore Servizi Energetici.
14. *Rapporto Statistico 2009*. Gestore Servizi Energetici.
15. *Lo sviluppo delle fonti rinnovabili*. G. Montanino. Gestore Servizi Energetici. Roma, 29 marzo 2011.

L'eruzione del pozzo Macondo nel Golfo del Messico

Cause e conseguenze per l'industria petrolifera

L'eruzione del Pozzo Macondo della British Petroleum, avvenuta nell'aprile del 2010 nelle acque del Golfo del Messico con devastanti conseguenze ambientali, ha prodotto una serie di conseguenze per l'industria petrolifera italiana, con l'avvio di azioni conoscitive e di verifica ed interventi volti a dare impulso allo sviluppo di opportune tecnologie per le attività in alti fondali

■ Antonio Martini, Eutizio Vittori

Introduzione

Il 20 aprile 2010 il pozzo Macondo nel permesso MC252 della *British Petroleum* è andato in eruzione nel Golfo del Messico, provocando l'affondamento della piattaforma di perforazione *Deepwater Horizon*, la morte di 11 dei 126 membri dell'equipaggio e la più grave fuoriuscita di petrolio in mare della storia dell'industria petrolifera, prossima ai 5 milioni di barili.

L'impatto sull'ambiente naturale e sull'economia dell'area colpita è stato altissimo, con costi enormi in gran parte a carico delle società coinvolte. La profondità del fondale, superiore a 1.500 metri, insieme alle alte pressioni in foro, è stata invocata come il principale ostacolo alla ripresa del controllo del pozzo, riuscita solo dopo quasi tre mesi di tentativi più o meno fallimentari.

■ Antonio Martini

Ministero dello Sviluppo Economico, Dipartimento energia, Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche

■ Eutizio Vittori

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia



http://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon

L'incidente

Appena avvenuto l'incidente, tutti gli operatori e gli enti di controllo si sono poste alcune basilari domande:

- 1) cosa è realmente accaduto? 2) Potrebbe capitare a noi?
- 3) C'è qualcosa da migliorare/cambiare nelle procedure e nelle tecnologie? 4) C'è qualcosa da rivedere nei piani di emergenza per situazioni di questo tipo?

Per rispondere è necessaria innanzitutto una ricostruzione analitica della sequenza di eventi. Ad oggi, i fatti principali che hanno portato al disastro appaiono indiscutibili, documentati dalla stessa BP e dalle società di servizio (Transocean - proprietaria dell'impianto di perforazione, Halliburton, responsabile delle cementazioni), nonché dalle testimonianze dei tecnici fornite alle varie commissioni d'indagine. La ricostruzione ufficiale più documentata è oggi quella della Commissione tecnica istituita dal Presidente Obama, cui si rimanda per dettagli (<http://www.oilspillcommission.gov/final-report>).

Una serie di incidenti aveva portato la perforazione ad essere in forte ritardo: l'8 marzo 2010 la *Deepwater Horizon* avrebbe dovuto iniziare un nuovo pozzo, ma solo il 9 aprile era stato raggiunto il fondo foro a -5.596 metri. Un orizzonte di arenarie mineralizzate ad olio era stato rinvenuto a 5.512-5.528 metri, con la pressione di giacimento prossima a 12.000 psi (827 bar). Registrati i logs elettrici, tra il 18 e 19 aprile era discesa la colonna di produzione a diametro variabile, cementata tra il 19 e il 20 aprile. Alle ore 12 del 20 aprile il test di chiusura delle *blind shear rams* nel BOP (*Blow Out Preventer*) *stack* a fondo mare aveva dato esito positivo. Si era proceduto quindi alla chiusura mineraria. Nonostante pressioni e flussi anomali durante lo spiazamento del fango con acqua di mare, la manovra era continuata fino al precipitare della situazione. Alle 21:49 avviene il *blowout*: fango e gas e poi gas e olio eruttano violentemente dalle aste incendiandosi rapidamente; alle 21:56 viene ordinato l'abbandono della piattaforma e comandato l'avvio dell'EDS (*Emergency Disconnect System*), uno dei due sistemi di sicurezza sul BOP (l'altro è il *Deadman switch*). Purtroppo non si attivano entrambi, il primo forse per il danneggiamento del meccanismo a causa dell'eruzione, il secondo probabilmente per un'insufficiente manutenzione. La piattaforma, dopo aver bruciato per circa 36 ore, affonda il 22 aprile, adagiandosi sul fondale a circa 400 metri dal pozzo Macondo.

Verosimilmente, le cause dirette del *blowout* sono state:

- a) l'inadeguato completamento del pozzo con un casing a diametro variabile, cui si è aggiunta una carente realizzazione tecnica della cementazione e la sua mancata verifica tramite logs elettrici; b) lo spiazamento del fango pesante che riempiva il pozzo con acqua di mare, che ha ridotto drammaticamente la contropressione esercitata sullo strato mineralizzato, non isolato dal cemento; c) la errata/mancata interpretazione degli andamenti delle pressioni nelle aste e dei flussi nelle vasche, che chiaramente denunciava l'imminente eruzione; d) il mancato funzionamento dei sistemi di sicurezza, una volta iniziata l'eruzione.

In sostanza, la volontà di minimizzare i costi ha indotto gravi errori nella progettazione prima e nell'esecuzione poi di alcune fasi chiave nel completamento del pozzo, seguiti da incomprensibili errori nell'interpretazione dei dati strumentali e nella gestione delle fasi immediatamente precedenti l'eruzione. A tutto ciò si sono aggiunte gravissime inefficienze della strumentazione tecnica. Nell'insieme, sono state disattese importanti procedure comunemente seguite dalle Compagnie petrolifere. Si è dimostrata insufficiente anche l'azione dell'ente di controllo federale statunitense: il Mineral Management Service (MMS) che infatti, subito dopo l'incidente, è stato sostituito dal BOEM (*Bureau of Ocean Energy Manage-*



FIGURA 1 Ubicazione del pozzo Macondo MC252 nell'*offshore* della Louisiana, a circa 70 chilometri dalla costa
Fonte: immagine tratta da Internet

ment, Regulation and Enforcement), non più incaricato della raccolta delle royalties.

L'emergenza nel golfo del Messico

Dopo aver inutilmente tentato con i ROV (*remotely operated vehicles*) di azionare le valvole di sicurezza a testa pozzo, gli sforzi si sono concentrati su: 1) intercettare il pozzo Macondo con pozzi obliqui (*relief wells*) per iniettare fango e cemento e contrastare così il flusso d'olio; 2) operare sulla testa pozzo per catturare l'olio in uscita e/o interromperne il flusso.

Mentre si procedeva con i *relief wells*, si sono succedute diverse manovre sul fondo marino, tutte fallimentari, fino a quando, rimosso con i ROV il vecchio riser, il 31 maggio è stato calato sulla testa pozzo un "cappello" fissato ad un tubo collegato alla superficie. Iniettandovi etanolo per evitare la formazione di idrati, questo sistema ha permesso di catturare circa un terzo dell'olio in uscita (circa 15.000 bpd - barili/giorno). Dal 16 giugno, altro olio (5-10.000 bpd) è stato estratto attraverso *choke* e *kill lines* e inviato ad una piattaforma di appoggio, per essere bruciato in fiaccola. Finalmente, il 10 luglio è stato ancorato un secondo BOP sulla testa del primo. Il 15 luglio è iniziato un test di tenuta chiudendo le ganasce (quindi bloccando la fuoriuscita dell'olio)

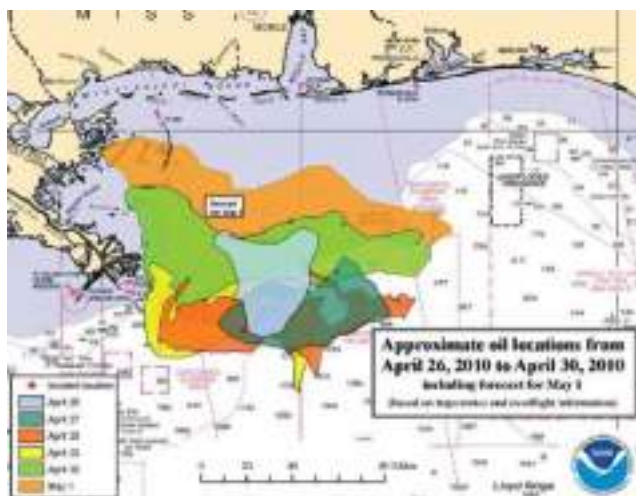


FIGURA 2 Il progresso della marea nera nei primi giorni dopo l'incidente

Fonte: NOAA http://response.restoration.noaa.gov/bookshelf/1891_TM-2010-04-30-1453.pdf

e monitorando l'andamento della pressione in pozzo. Il timore maggiore era che l'olio potesse trovare vie di fuga attraverso il fondo marino. Si è temuto anche per il passaggio dell'uragano *Bonnie*, che invece ha provocato solo una breve sospensione dei lavori. Il nuovo sistema ha tenuto, rendendo possibile la chiusura del pozzo dall'alto (operazione *static kill*) pompandovi fango pesante e quindi cemento (3-4 agosto). Dopo ben 106 giorni, la BP ha così potuto comunicare di essere riuscita a interrompere in modo sicuro e definitivo la dispersione di idrocarburi. A metà settembre, il primo dei due *relief wells* è penetrato nell'annulus del pozzo Macondo cementandolo e portando così a compimento anche l'operazione *bottom kill*.

Subito dopo l'incidente si è messa in moto anche una vasta azione di contenimento della marea nera (figure 2 e 3), utilizzando soprattutto panne per circoscrivere le chiazze di greggio, che veniva poi incendiato, aspirato a bordo di speciali navi (*skimmers*) o trattato con disperdenti. Sulla costa, sono state realizzate berme per limitare la diffusione degli idrocarburi sulle spiagge e nelle aree umide interne; numerosi specialisti e volontari hanno contribuito a ripulire le spiagge e intervenire sulla fauna marina e costiera. Sono stati interessati da queste operazioni la Louisiana, l'Alabama e la Florida.

Una volta interrotto il flusso di greggio dal fondo marino

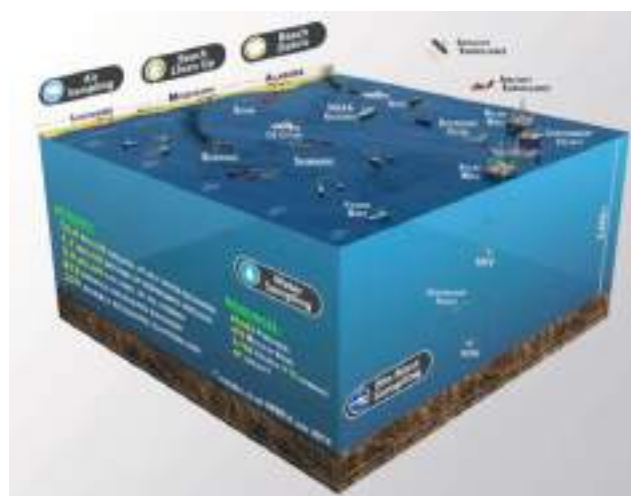


FIGURA 3 Le azioni di contenimento della marea nera

Fonte: http://www.deepwaterhorizonresponse.com/posted/2931CG_Illustration_6d_large.598679.jpg

(15 luglio), il petrolio a mare è rapidamente scomparso. Le valutazioni ufficiali più recenti stimano la fuoriuscita di circa 4,9 milioni di barili di greggio, con un margine di errore del 10%. Si consideri che nei 40 anni precedenti, solo 277.000 barili di greggio erano fuoriusciti per incidenti da piattaforme petrolifere nei mari circostanti gli Stati Uniti. Dei 4,9 milioni di barili, 1,2 milioni sono stati catturati o direttamente dalla testa pozzo o in mare, soprattutto dagli *skimmers*. Si tratta solo di un quarto del totale: dove è andato il resto dell'olio? Si ritiene che porzioni significative siano evaporate o state digerite da batteri, molto diffusi in quel settore di mare. Molto olio potrebbe essere rimasto intrappolato nei fondali e resta da valutare anche l'impatto ambientale, tutto ancora da definire, dei prodotti chimici usati come disperdenti.

Le prime azioni del Ministero dello Sviluppo Economico

Subito dopo l'incidente, il Ministero, tramite la Direzione Generale per le risorse minerarie ed energetiche, ha disposto la sospensione temporanea delle autorizzazioni alla perforazione di nuovi pozzi esplorativi in mare ed eseguito visite ispettive straordinarie sugli impianti di produzione offshore, con i propri uffici territoriali di vigilanza (UNMIG). Inoltre, anche attraverso il Gruppo di Lavoro costituito in seno alla CIRM (Commissione per gli idrocarburi e le risorse minerarie), ha avviato alcune iniziative conoscitive e di verifica, le principali delle quali sono state:

- a. **acquisizione di tutte le informazioni** disponibili sull'incidente occorso; è stata colta inoltre l'occasione per una **rilettura tecnica e procedurale di precedenti casi di *blow out*** accaduti nel mondo;
- b. **verifica**, con l'esame **dei manuali tecnici** e con **audizioni** effettuate con gli operatori interessati (Eni, Edison, Shell), dell'effettiva **adeguatezza delle procedure operative** a prevenire/fronteggiare i rischi reali;
- c. **verifica dell'adeguatezza delle leggi/normative vigenti in Italia** rispetto a quanto avvenuto nel Golfo del Messico;
- d. **verifica dell'esistenza di situazioni di potenziale pericolo per permessi/concessioni già rilasciati in Italia.**

La ricerca petrolifera nell'*offshore* italiano

Pur non avendo un ruolo di primo piano, il settore della ricerca e coltivazione degli idrocarburi rimane comunque essenziale per l'economia del Paese, con i suoi 65.000 occupati, un fatturato di circa 15 miliardi di euro l'anno tra diretto in Italia e indotto dalle imprese italiane all'estero, e oltre 2 miliardi tra tasse e *royalties* versate dalle Società operatrici.

In Italia sono stati perforati sinora 7.000 pozzi. Attualmente sono in esercizio in mare circa 700 pozzi, di cui oltre 70 di petrolio, con 123 impianti di produzione *offshore* installati negli ultimi 40 anni, ubicati nel mare Adriatico, nello Ionio e nel Canale di Sicilia; gran parte di questi impianti produce gas metano, solo 9 di essi producono petrolio, in 6 diversi giacimenti. Non sono in corso attività di ricerca o produzione in acque profonde.

In Italia sono stati rarissimi gli incidenti con *oil spill* o eruzione di gas. Dopo l'emanazione della legge per l'*offshore* nel 1967 non si sono mai verificati incidenti rilevanti in mare. In terraferma, nel recente passato, sono avvenute un'eruzione di gas a Policoro in Basilicata circa 20 anni fa ed una fuoriuscita di petrolio a Trecate (Novara) nel 1994, rapidamente controllata; i terreni inquinati dall'olio (circa 13 ettari) furono subito bonificati dall'operatore.

Nell'*offshore* di giurisdizione italiana la profondità delle operazioni non supera alcune decine di metri nel mare Adriatico e nello Ionio, mentre nel Canale di Sicilia sfiora al massimo i 125 metri. Al momento è sospesa, per la sostituzione della nave di produzione e stoccaggio, la produzione del campo ad olio di Aquila con fondale di circa 850 m nel Canale di Otranto. Nei programmi di ricerca approvati negli ultimi anni sono previste perforazioni esplorative con fondali nell'ordine delle centinaia di metri nel mare Ionio e nel Canale di Sicilia.

Nell'*offshore* italiano le condizioni odierne sono molto diverse da quelle che hanno caratterizzato l'incidente nel Golfo del Messico: a) le ricerche e la produzione riguardano principalmente temi a gas; b) i campi sono per lo più in produzione da molti anni; c) gli ambienti geologici e le caratteristiche giacimentologiche sono ben conosciuti, grazie alle numerose indagini e ai pozzi già perforati; d) le condizioni di giacimento, in termini di pressione e temperatura, sono molto meno impegnative (le pressioni sono nell'ordine delle decine di bar a testa pozzo, ben lontane dagli oltre 800 bar del pozzo Macon-



TAVOLA 1 Zone marine aperte alle attività idrocarburi
Fonte: UNMIG

do), tanto che è generalmente necessario pompare l'olio per poterlo estrarre; e) le profondità dei fondali sono di gran lunga inferiori a quelle del pozzo della BP.

I principi adottati dall'Italia per la regolamentazione della ricerca ed estrazione degli idrocarburi nella propria piattaforma continentale sono contenuti nella Legge 21 luglio 1967, n. 613. La normativa disciplina le condizioni per il rilascio dei permessi di ricerca e delle concessioni di coltivazione, stabilendo che il limite della piattaforma continentale italiana è costituito dalla isobata dei 200 m o, più oltre, da punti di maggiore profondità, qualora lo consenta la tecnica estrattiva. Sulla base di tale normativa, nel passato sono state aperte alle attività di ricerca e produzione di idrocarburi 7 diverse zone marine (tavola 1). Al 31 dicembre 2010 erano vigenti 117 permessi di ricerca (di cui 92 in terraferma e 25 in mare) e 198 concessioni di coltivazione (di cui 132 in terraferma e 66 in mare).

La normativa di sicurezza italiana

La sicurezza delle attività minerarie e le azioni di polizia mineraria sono regolate con una normativa del 1959

(DPR 128/59), specializzate per le attività offshore nel 1979 (DPR 886/79) ed armonizzate con la legislazione comunitaria in materia nel 1996 (DLgs 624/96).

Le funzioni di verifica della compatibilità ambientale delle attività upstream sono state introdotte da uno specifico regolamento nel 1994, in attuazione della legge 9/91, e la materia è stata sistematizzata nel 2006 (DLgs 152/2006 e s.m.i.). Attualmente, queste verifiche sono svolte dal Ministero dell'ambiente per il mare, mentre per la terraferma la materia è di competenza regionale (DLgs 112/98).

Per quanto concerne il rischio eruzione durante la perforazione, la normativa pone in obbligo al titolare di valutare la possibilità del verificarsi delle eruzioni durante la perforazione e di adottare le adeguate misure e di disporre l'utilizzo delle relative attrezzature di sicurezza (art. 66 del DLgs 624/96). Lo stesso articolo detta criteri di carattere generale, secondo il principio base previsto per la gestione della sicurezza, per il quale il datore di lavoro deve applicare tutti i sistemi di protezione e di carattere organizzativo al fine di evitare o ridurre i rischi, adottando ulteriori misure di emergenza - nell'impossibilità di escludere totalmente il rischio - attraverso la redazione di un adeguato piano di emergenza per far fronte ad avvenute eruzioni di fluidi.

La corretta applicazione della legge è verificata attraverso ispezioni regolarmente effettuate dal personale tecnico dell'Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse (UNMIG) del Ministero dello Sviluppo Economico.

La normativa nazionale di sicurezza mineraria è corrispondente alle esigenze attuali ed in linea con le più moderne normative internazionali, oltre che dell'Unione Europea, e tiene opportunamente conto delle problematiche relative alle attività in condizioni estreme, quali sono quelle in acque profonde, con responsabilità sempre chiaramente riconducibili all'operatore minerario.

Le azioni di miglioramento

Sulla base degli elementi raccolti, ed anche in raccordo con gli approfondimenti ancora in corso da parte di un apposito gruppo di lavoro istituito presso la Direzione Energia della Commissione UE, gli eventuali interventi regolatori sono da modulare in ragione della natura degli idrocarburi (olio o gas) e delle condizioni ambientali

e giacimentologiche interessate dall'attività (alti fondali, giacimento ad alta pressione ed alta temperatura, temi di ricerca di frontiera).

Allo stesso tempo, dovrà essere dato maggiore impulso alle società petrolifere per lo sviluppo di opportune tecnologie per le attività ad olio in alti fondali, che dimostrino elevata affidabilità operativa, con tempi di ricerca e sviluppo (R&D) ed investimenti adeguati, principalmente riguardo alla fase di gestione dell'emergenza.

In ambito nazionale, il nuovo Disciplinare tipo per le attività petrolifere emanato recentemente (22 marzo u.s.) ha già introdotto delle prescrizioni aggiuntive alle ordinarie procedure di sicurezza per le perforazioni *offshore*. In particolare, queste riguardano la certificazione dei BOP, il miglioramento della preparazione tecnica/psicologica del personale, da sottoporre a verifica costante da parte dell'organo di vigilanza, e l'introduzione di un sistema di registrazione informatica inalterabile e protetta in ogni condizione dei dati relativi ai parametri di perforazione e di controllo del fango del pozzo, da rendere disponibile per le verifiche dell'organo di vigilanza.

Il tavolo del Mediterraneo

Oltre alle azioni comunitarie e nazionali, appare poi indispensabile attivare un tavolo di confronto con tutti gli Sta-

ti mediterranei, al fine di armonizzare le diverse azioni di tutela ambientale e di sicurezza per le attività petrolifere offshore. In tale contesto potrebbe trovare applicazione anche la creazione di uno specifico Fondo Rischi per l'emergenza delle attività *upstream*, di natura mutualistica tra gli operatori, al fine di poter disporre di risorse finanziarie private adeguate e prontamente utilizzabili. Infatti, tenendo conto della morfologia del bacino Mediterraneo e della vicinanza di paesi, soprattutto nordafricani, con notevoli attività di ricerca e produzione, un'eventuale moratoria italiana delle attività di ricerca ad olio in alti fondali, richiesta da alcune parti, avrebbe senso solo se adottata a livello globale.

In tale ottica, è pertanto in corso la ratifica da parte italiana del "Protocollo per la protezione del Mar Mediterraneo dall'inquinamento risultante dall'attività di esplorazione e sfruttamento della piattaforma continentale, il fondale marino e il sottosuolo marino" (*Protocollo offshore*) della Convenzione di Barcellona. Tale protocollo, vincolante anche per i paesi della sponda sud del Mediterraneo, contiene norme relative a tutto il ciclo di vita degli impianti offshore (autorizzazione - costruzione - operazione - rimozione a fine vita), nonché di cooperazione fra le parti firmatarie e sarebbe dunque lo strumento elettivo per risolvere l'esigenza di coordinamento ed armonizzazione sopra indicata. ●

Ma il Mediterraneo è più critico del Golfo del Messico?

La marea nera che ha colpito il Golfo del Messico ha riportato alla ribalta il problema degli incidenti con sversamento di idrocarburi anche nel mar Mediterraneo. Il 25% circa delle petroliere mondiali ed il 20% del traffico marittimo mondiale di petrolio interessano il Mediterraneo, che costituisce, però, solo lo 0,8% della superficie delle acque mondiali. L'elevato traffico delle petroliere aumenta il rischio di incidenti e, in caso di sversamento in mare di petrolio, i danni all'ambiente sarebbero più gravi che altrove a causa della conformazione chiusa del mar Mediterraneo, delle particolari caratteristiche degli ambienti marino costieri e della peculiarità dei sistemi ecologici marini mediterranei. Proprio a causa di queste criticità, su iniziativa dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana) è stato avviato il Progetto Pilota PRIM1, per la prevenzione e la gestione del rischio ambientale derivante dal rilascio di idrocarburi nei mari italiani. Al progetto collaborano enti di ricerca ed imprese, per lo sviluppo sia di un sistema di *early warning* per la sorveglianza del mare mediante osservazioni satellitari, sia di un sistema di analisi e previsione degli spostamenti del petrolio sversato in mare, in modo da fornire un efficace strumento di supporto agli interventi di riduzione dei rischi, ma anche di gestione delle emergenze e di prevenzione dei possibili danni. L'ENEA contribuisce al Progetto PRIM1 mediante la realizzazione di un sistema modellistico di previsione della circolazione marina mediterranea. Attualmente, è stato realizzato un modello di previsione ad altissima risoluzione spaziale, della circolazione del mar Tirreno che produce previsioni giornaliere a sette giorni della circolazione marina e di parametri oceanografici come velocità, temperatura e salinità delle acque. Il modello è anche disponibile on line sul sito web dell'ENEA (<http://clima.casaccia.enea.it/tirreno/>).

(Ernesto Napolitano, ENEA)

La contabilità delle emissioni dei gas ad effetto serra a livello locale: le emissioni regionali di CO₂

La metodologia ENEA per la stima delle emissioni regionali di CO₂ rappresenta un possibile supporto alle amministrazioni regionali nelle scelte energetiche e nella messa in atto di politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici

■ Erika Mancuso

Introduzione

Il percorso metodologico per stimare le emissioni di gas ad effetto serra a livello locale potrebbe, all'apparenza, ritenersi alquanto semplice, in quanto si basa sul diretto rapporto tra i consumi energetici della scala locale scelta, e i fattori di emissione specifici per le attività sorgenti. In realtà, esso presenta non poche difficoltà legate sia alla definizione dei fattori emissivi relativi alle specifiche attività individuate, sia alla reperibilità dei dati per i necessari livelli di aggregazione territoriale. Si può senz'altro affermare che vale il principio secondo cui, più "si scende" di livello territoriale, maggiore è la difficoltà di riuscire a reperire i dati necessari alla valutazione e, quindi, maggiori sono i costi della valutazione.

Altro fattore che concorre alla disomogeneità dei dati locali sulle emissioni è l'obbligatorietà: la legislazione, infatti, non fornisce delle indicazioni specifiche, ad esempio per il livello territoriale regionale. D'altro canto, le Regioni, tanto vantano un ruolo progressivamente importante nell'ormai avviato e noto processo di decentramento della politica energetica, quanto risentono degli obblighi di comunicazione delle emissioni derivan-

ti dagli obblighi, prima nazionali e poi internazionali. Questo processo "a cascata", fa sì che le Regioni prendano volontariamente parte attiva nelle politiche di elaborazione e comunicazione dei gas ad effetto serra. Di conseguenza, per la stima delle emissioni a livello regionale, diviene importante che venga rispettato un impianto coerente con le politiche, le misure, gli strumenti e gli obiettivi disegnati per i livelli territoriali superiori. Il presente articolo fa riferimento ai dati al 2006 pubblicati nel Rapporto 2010, disponibile sul sito dell'ENEA¹.

Le metodologie di stima delle emissioni a livello locale

A seconda della tipologia di dati ed informazioni disponibili, nonché del loro grado di accuratezza e del livello di disaggregazione, esistono due modalità di approccio alla stima delle emissioni a livello locale: il censimento e l'inventario.

Il primo è caratterizzato dalla disponibilità di dati specificamente rilevati tramite contatti diretti o indagini presso le aziende. Il secondo, invece, consiste in un'operazione specifica di raccolta di dati basati su stime, cioè su quantificazioni numeriche di dati non sempre rilevabili direttamente.

Il primo passo per giungere a definire un inventario è rappresentato dalla classificazione delle tipologie di

■ Erika Mancuso
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

emissioni. Più precisamente, considerando le emissioni soltanto riguardo alla tipologia di sorgente, le stesse possono essere suddivise in "diffuse" e "puntuali". Le emissioni diffuse, cioè distribuite sul territorio, sono stimate attraverso l'uso di opportuni indicatori e fattori di emissione. Per le emissioni puntuali è necessario procedere ad analisi di dettaglio che provengono dai questionari inviati alle aziende e dalle autorizzazioni rilasciate per legge². Complicazione ulteriore sorge quando le sorgenti possono essere allo stesso tempo sia puntuali sia areali, e occorre prima fare una scelta nella classificazione per poi scegliere la metodologia più accurata per la stima delle stesse.

Gli approcci metodologici, in genere, sono due: quello *bottom-up*, cioè dal basso verso l'alto, e quello inverso *top-down*; accanto a questi vi sono poi i cosiddetti approcci misti, che contengono, cioè, elementi dell'uno e dell'altro.

Una volta classificate le emissioni e scelto, di conseguenza, il tipo di approccio per l'inventario, la stima delle emissioni può essere effettuata sulla base di un indicatore che caratterizza l'attività della sorgente e di un fattore di emissione specifico, relativo al tipo di sorgente, al processo industriale e alla tecnologia adottata.

Questo metodo si basa dunque su una relazione lineare fra l'attività della sorgente e l'emissione, secondo una relazione che a livello generale può essere ricondotta alla seguente:

$$E_i = A \cdot FE_i$$

dove:

E_i = emissione dell'inquinante i (t/anno); A = indicatore dell'attività, ad es. quantità prodotta, consumo di combustibile (t/anno); FE_i = fattore di emissione dell'inquinante i (g/t di prodotto).

Per i fattori di emissione esiste un'ampia letteratura di riferimento che tuttavia non esclude l'eventualità di svilupparne, laddove necessario, altri più specifici e più aderenti alle realtà nazionali o locali. Una buona guida per ridurre al minimo l'incertezza sui risultati è la guida dell'IPCC³ che propone un vero e proprio controllo e assicurazione di qualità dell'inventario, in fatto di incertezza.

La metodologia Enea per stimare le emissioni di anidride carbonica su scala regionale si basa sui dati contenuti nei BER (Bilanci Energetici Regionali), che a loro

volta sono forniti dal Sistema Informativo Economico Regionale (SIER). Le stime vengono, poi, effettuate con un criterio di calcolo che utilizza i consumi energetici e una serie di fattori specifici, che afferiscono al settore energetico. I fattori di emissione utilizzati, nel presente studio, sono dati medi nazionali impiegati nel progetto Corinair⁴. Il periodo analizzato è la serie storica dal 1990, anno di riferimento per le riduzioni di CO₂ del Protocollo di Kyoto, al 2006, anno ultimo di aggiornamento dei dati del SIER, elaborati da ENEA.

I dati ottenuti sono coerenti con i dati totali⁵ dell'inventario nazionale, ufficialmente comunicato all'UNFCCC, e con il format di calcolo CRF (*Common Reporting Format*) valido per l'inventario dei gas serra a livello nazionale nel settore *Energy*. Infine va rilevato che, rispetto all'inventario elaborato da ISPRA, la metodologia ENEA utilizza una classificazione dei settori differente, più disaggregata nel settore energetico e negli usi finali, e segue gli aggiornamenti del Bilancio Energetico Nazionale (BEN).

Le emissioni regionali di CO₂

In base alla metodologia descritta vengono presentate, in tabella 1, le emissioni regionali di anidride carbonica derivanti dal sistema energetico per ciascuna Regione, estraendo dalla serie regionale gli anni più significativi: il 1990, e dal 2000 al 2006.

Analizzando la serie delle emissioni emerge come, a livello nazionale, si sia passati da un valore di circa 411 milioni di tonnellate di CO₂ nel 1990, a 464 milioni di tonnellate di CO₂ nel 2006. Si tratta di un aumento complessivo del 12,7%, dovuto ad un congruo contributo di alcune Regioni. Al 2006 il contributo più alto di emissioni in valore assoluto è dato dalla Lombardia con 78.351 kt, dalla Puglia con 61.017 kt e dall'Emilia Romagna con 40.927 kt, seguite dal Veneto con 37.749 kt. Le stesse Regioni riportavano i valori più alti, sia nell'anno precedente (2005) sia nell'anno base (1990), insieme a Lazio e Sicilia.

Per verificare l'esercizio di stima delle emissioni regionali così ricavate, si ritiene un passaggio validante il confronto con i valori delle emissioni del totale Italia, rispetto ai valori delle emissioni di CO₂ nazionali ufficiali.

Come riferimento si considera il NIR (*National Inventory*

	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Piemonte	24.823	30.320	30.303	29.268	31.010	30.882	32.120	31.416
Valle d'Aosta	1.090	960	960	1.067	1.098	1.268	1.815	1.606
Lombardia	65.339	69.293	69.093	66.647	69.742	72.798	74.690	78.351
Trentino A.A.	4.876	5.970	5.927	5.738	5.848	6.218	6.309	6.713
Veneto	37.298	43.549	43.894	43.816	42.535	41.929	38.991	37.749
Friuli Venezia G.	10.123	12.508	13.349	13.263	14.223	13.188	13.270	13.405
Liguria	23.587	18.830	19.874	19.374	19.165	20.081	18.834	17.523
Emilia Romagna	33.778	35.331	34.973	36.961	41.701	44.357	43.407	40.927
Toscana	29.910	33.095	32.800	33.113	32.951	33.570	33.374	33.192
Umbria	5.724	7.526	7.628	7.448	8.855	9.154	8.986	9.003
Marche	6.853	8.240	7.765	8.710	8.688	8.867	10.149	8.897
Lazio	35.595	40.186	39.488	41.810	42.512	38.166	38.252	36.377
Abruzzo	5.308	6.857	7.130	6.934	8.172	7.790	7.230	7.510
Molise	1.695	2.036	1.861	2.045	2.030	2.233	2.183	3.015
Campania	19.457	17.117	16.916	16.933	17.564	17.644	17.664	17.374
Puglia	44.498	47.348	46.851	46.543	50.762	55.506	58.372	61.017
Basilicata	2.231	3.066	2.907	3.250	3.295	3.625	3.180	3.418
Calabria	9.408	8.255	8.720	8.149	9.578	8.730	8.624	9.445
Sicilia	35.806	36.461	36.600	35.544	36.630	33.281	31.733	30.428
Sardegna	14.496	15.724	14.912	13.326	15.171	17.048	16.078	16.813
Totale	411.895	442.673	441.951	439.937	461.532	466.336	465.262	464.179

TABELLA 1 Emissioni regionali di CO₂ dal sistema energetico
Fonte: ENEA

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	CO ₂ equivalent (Gg)								
1. Energy	418.945	450.722	455.290	457.264	471.623	473.756	474.506	469.586	458.673
2. Industrial Processes	36.467	34.903	36.946	37.040	38.232	40.522	40.367	35.916	36.296
3. Solvent and Other Product Use	2.394	2.285	2.211	2.219	2.167	2.144	2.139	2.147	2.133
4. Agriculture	40.576	39.940	38.954	38.250	38.102	37.917	37.242	36.627	37.210
5. Land Use, L.U Change, Forestry	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	67.493	79.230	92.611	95.649	126.798	91.840	95.336	89.804	70.910
6. Waste	17.936	21.659	21.545	20.973	20.283	19.475	19.432	18.707	18.459
Total (including LULUCF)	448.825	470.279	462.335	460.096	443.608	481.975	478.349	473.178	481.862

TABELLA 2 Emissioni nazionali di gas serra
Fonte: ISPRA, 2010

Report), l'inventario nazionale ufficialmente comunicato ogni anno all'UNFCCC⁶, ed in particolare il CRF, che riporta i valori dei gas ad effetto serra fino al 2007.

Dalla tabella 2, che riporta i settori sorgente e il valore dei gas in CO₂ equivalente, si evince inoltre che il settore *Energy* è quello con il maggiore rilascio di gas serra.

Per l'anno 2006, il valore totale nel settore *Energy* è pari a 469 Mt di CO₂ equivalente; si ritiene questo valore sufficientemente coerente con la stima effettuata, che riporta un valore di 464 Mt di CO₂.

È pacifico sostenere che la stima delle emissioni regionali di CO₂ secondo la metodologia ENEA risulta oltre che confrontabile, anche consistente, poiché copre il settore maggiormente responsabile dell'effetto serra, come mostra la tabella 2.

Le emissioni di CO₂ per settore d'impiego e per fonte energetica

Per quanto riguarda le emissioni del sistema energetico, per ciascun settore economico si è proceduto ad una contabilizzazione della CO₂ emessa per ciascun settore produttivo. Nella tabella 3, per il settore *Energia* si intende la produzione di energia elettrica, quella di calore da centrali, carbonaie, la produzione di calore nelle raffinerie e si includono i consumi e le perdite del settore. Il settore *Industria*, invece, comprende le seguenti attività industriali: estrattiva, agroalimentare, tessile e abbigliamento, produzione della carta, chimica e petrolchimica, produzione di materiale da costruzione, vetro e ceramica, siderurgia e metalli non ferrosi, meccanica, manifatturiera, costruzioni. Il settore *Trasporti* ri-

	Energia		Trasporti		Civile		Industria		Agricoltura		Totale	
	kt	%	kt	%	kt	%	kt	%	kt	%	kt	%
Piemonte	6.355	20%	8.510	27%	7.165	23%	8.858	28%	528	2%	31.416	7%
Valle d'Aosta	2	0%	701	44%	793	49%	90	6%	19	1%	1.606	0,3%
Lombardia	20.475	26%	21.080	27%	20.340	26%	15.336	20%	1.120	1%	78.351	17%
Trentino A.A.	221	3%	2.861	43%	2.454	37%	1.032	15%	145	2%	6.713	1%
Veneto	10.755	28%	10.455	28%	8.648	23%	7.208	19%	684	2%	37.749	8%
Friuli Venezia G.	6.200	46%	2.393	18%	2.179	16%	2.523	19%	110	1%	13.405	3%
Liguria	11.430	65%	2.920	17%	2.351	13%	746	4%	77	0,4%	17.523	4%
Emilia Romagna	8.722	21%	12.561	31%	8.527	21%	10.047	25%	1.069	3%	40.927	9%
Toscana	9.990	30%	8.412	25%	8.569	26%	5.808	17%	413	1%	33.192	7%
Umbria	2.317	26%	2.227	25%	2.290	25%	2.046	23%	122	1%	9.003	2%
Marche	1.187	13%	3.845	43%	2.533	28%	1.035	12%	297	3%	8.897	2%
Lazio	11.298	31%	15.010	41%	7.471	21%	2.016	6%	582	2%	36.377	8%
Abruzzo	1.202	16%	2.976	40%	1.490	20%	1.574	21%	268	4%	7.510	2%
Molise	1.120	37%	614	20%	862	29%	343	11%	75	2%	3.015	1%
Campania	1.565	9%	8.674	50%	3.678	21%	2.967	17%	490	3%	17.374	4%
Puglia	34.029	56%	7.089	12%	3.182	5%	15.785	26%	932	2%	61.017	13%
Basilicata	538	16%	953	28%	1.434	42%	345	10%	149	4%	3.418	1%
Calabria	3.097	33%	3.259	35%	2.095	22%	737	8%	257	3%	9.445	2%
Sicilia	14.586	48%	8.788	29%	3.123	10%	3.334	11%	598	2%	30.428	7%
Sardegna	8.576	51%	3.961	24%	1.341	8%	2.684	16%	251	1%	16.813	4%
Italia	153.666	33%	127.290	27%	90.526	20%	84.514	18%	8.183	2%	464.179	100%

TABELLA 3 Emissioni regionali di CO₂ per settori. Anno 2006
Fonte: ENEA

	Emissioni (kt)	Produzione energia elettrica (GWh)	Indicatore tCO ₂ /MWh
Piemonte	6.354,8	15.271,3	0,42
Valle d'Aosta	2,4	3,1	0,76
Lombardia	20.475,5	50.065,4	0,41
Trentino A.A.	221,0	554,8	0,40
Veneto	10.754,5	16.769,0	0,64
Friuli Venezia G.	6.199,7	9.198,9	0,67
Liguria	11.429,9	11.220,1	1,02
Emilia Romagna	8.722,4	23.938,6	0,36
Toscana	9.990,3	12.440,9	0,80
Umbria	2.317,3	4.504,7	0,51
Marche	1.186,7	3.482,7	0,34
Lazio	11.297,7	21.880,4	0,52
Abruzzo	1.201,6	3.025,8	0,40
Molise	1.120,3	2.822,8	0,40
Campania	1.565,3	3.089,8	0,51
Puglia	34.029,4	36.514,4	0,93
Basilicata	537,7	1.155,2	0,47
Calabria	3.097,1	7.922,4	0,39
Sicilia	14.585,7	23.584,1	0,62
Sardegna	8.576,4	13.715,1	0,63

TABELLA 4 Regioni: indicatore di emissioni di CO₂ per MWh prodotti. Anno 2006
Fonte: elaborazioni ENEA su dati Terna

guarda i trasporti stradali sia urbani che extraurbani, la navigazione marittima ed il trasporto aereo nazionale. Il settore Civile comprende i sottosettori: Residenziale/ domestico, Terziario e Pubblica Amministrazione. Infine, il settore Agricoltura riguarda le emissioni derivanti dai consumi di combustibile dell'agricoltura, della silvicoltura e della pesca.

Come si evince dalla tabella 3 per l'anno 2006, il settore Energia è quello che, a livello complessivo, registra il maggiore quantitativo di anidride carbonica emessa, pari al 33%, e le Regioni con valori percentuali più alti sono: Liguria, Sardegna, Sicilia e Puglia. Viceversa, il Trentino Alto Adige e la Valle d'Aosta rilasciano i più bassi quantitativi di CO₂ anche in conseguenza di una maggiore produzione locale di energia elettrica da fonte rinnovabile.

Va rilevato che in molte Regioni i valori bassi delle emissioni non sono necessariamente dovuti a scelte energetiche virtuose, ma ad approvvigionamenti energetici dall'esterno, cioè da altre Regioni o dall'estero. La criticità di un approccio regionale al calcolo delle emissioni risiede proprio nella difficoltà di ripartire le emissioni in base ad una porzione regionale rispetto ad un servizio fruito poi a livello nazionale. L'esempio tipico è la Puglia, dove il settore Energia risente delle elevate emissioni dovute alla produzione di energia elettrica che non viene utilizzata nella Regione, ma esportata fuori dai confini regionali. Gli indicatori di cui alla tabella 4 chiariscono meglio questo particolare aspetto. Il settore Trasporti è il secondo per rilascio di CO₂, con il 27% in totale. Fatto salvo quanto precedentemente detto per il settore Energia, le Regioni quali Campania,

	Popolazioni (abitanti)	PIL (M€ valore ai prezzi correnti)	Emissioni (kt)	Emissioni pro capite (t/ab)	PIL pro-capite (Euro/ab.)
Piemonte	4.341.733	120.502	31.416	7,24	27,75
Valle D'Aosta	123.978	4.055	1.606	12,95	32,70
Lombardia	9.475.202	307.718	78.351	8,27	32,48
Trentino Alto Adige	985.128	30.954	6.713	6,81	31,42
Veneto	4.738.313	139.192	37.749	7,97	29,38
Friuli Venezia Giulia	1.208.278	33.974	13.405	11,09	28,12
Liguria	1.610.134	40.984	17.523	10,88	25,45
Emilia Romagna	4.187.557	130.456	40.927	9,77	31,15
Toscana	3.619.872	100.160	33.192	9,17	27,67
Umbria	867.878	20.650	9.003	10,37	23,79
Marche	1.528.809	39.302	8.897	5,82	25,71
Lazio	5.304.778	159.764	36.377	6,86	30,12
Abruzzo	1.305.307	27.334	7.510	5,75	20,94
Molise	320.907	6.090	3.015	9,40	18,98
Campania	5.790.929	94.817	17.374	3,00	16,37
Puglia	4.071.518	67.992	61.017	14,99	16,70
Basilicata	594.086	10.684	3.418	5,75	17,98
Calabria	2.004.415	32.976	9.445	4,71	16,45
Sicilia	5.017.212	83.899	30.428	6,06	16,72
Sardegna	1.655.677	32.572	16.813	10,15	19,67
Italia	58.751.711	1.484.073	464.179	7,90	25,26

TABELLA 5 Indicatori regionali su popolazioni e PIL regionali
Fonte: elaborazioni ENEA su dati Istat

Valle d'Aosta, Trentino Alto Adige, Marche sono quelle a più elevate emissioni nei trasporti o meglio (tenuto conto di come i dati sono stati ricavati) del più alto utilizzo di prodotti petroliferi per autotrazione.

Il settore Civile, con il 20% sul totale Italia, è invece un settore significativo per rilascio di CO₂ nel caso della Valle d'Aosta, dove col 49% rappresenta il settore più inquinante, e della Basilicata con il 42%. Il Trentino rilascia il 37% delle proprie emissioni in questo settore, similmente alla Valle d'Aosta, e come, in genere, le altre Regioni del Nord Italia, dove i consumi per riscaldamento domestico sono, in genere, maggiori. Casi particolari sono il Molise e le Marche, le cui emissioni nel settore civile sono persino superiori a quelle rilasciate nel settore trasporti, molto probabilmente per motivi di riscaldamento domestico.

Al settore Industria è attribuibile il 18% delle emissioni nazionali, una percentuale che incide quanto il settore civile. Nella formazione del dato dell'industria il maggiore peso deriva dalle seguenti Regioni: Piemonte col 28%, dove il settore industriale è il maggiore per CO₂ rilasciata, Puglia col 26%, secondo al solo settore Termoelettrico, ed Emilia Romagna col 25%.

È utile a questo punto "leggere" le emissioni regionali rispetto alle popolazioni, per "calibrare" i quantitativi emissivi; nella tabella che segue viene riportato, in aggiunta, il reddito pro-capite regionale, come riferimento di "equità interregionale".

Se si osservano gli stessi quantitativi emissivi dal lato della fonte energetica (figura 1) si nota molta disomogeneità tra le Regioni, proprio perché le emissioni rispecchiano il mix energetico prescelto. Il Piemonte,

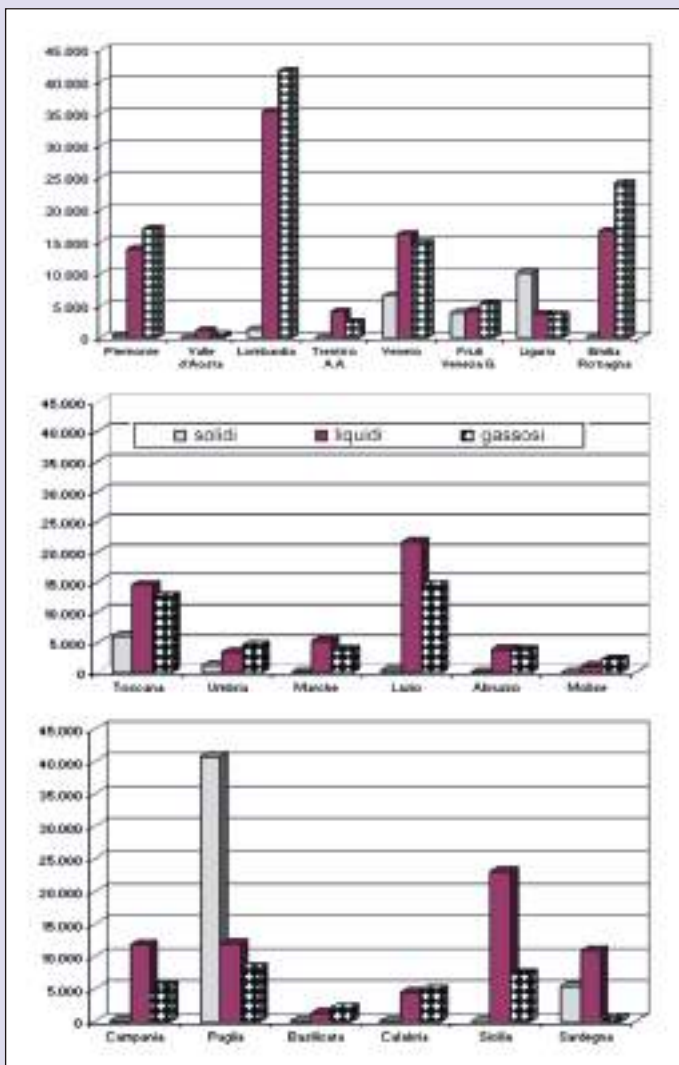


FIGURA 1 Emissioni regionali di CO₂ per fonte energetica. Anno 2006
Fonte: ENEA

la Lombardia e l'Emilia Romagna registrano emissioni prevalentemente derivanti da fonte gassosa. Anche in Calabria e in Basilicata le emissioni maggiori sono dovute al gas naturale: in genere in tutte le altre Regioni, dove non è la più inquinante, questa è sempre la seconda fonte.

Le emissioni di CO₂ da fonte liquida sono preponderanti in Trentino, Veneto, Toscana, Marche, Lazio, Campania, Sicilia e Sardegna. In Puglia e in Liguria le emissioni

di CO₂ emesse da fonti solide sono le maggiori; nella prima svettano vistosamente.

Conclusioni

Elaborare una contabilizzazione delle emissioni a livello regionale, come è stato illustrato, è un compito che incontra molteplici problematiche: la maggiore risiede nel fatto che non esiste una metodologia unica e condivisa, che a livello centrale elabori un inventario puntuale e con cadenza annuale per le Regioni. ENEA potrebbe fornire un contributo utile all'esplicitazione di questo delicato compito, come agenzia istituzionalmente preposta al supporto delle politiche energetiche regionali. Seppur non investita di questo incarico vanta la disponibilità di dati puntuali, quali quelli censiti dal *database* del sistema energetico regionale (Sier), sui quali è possibile stimare le emissioni a livello regionale.

Le analisi condotte in questo studio mettono in evidenza i due lati della medaglia energetica: il lato delle fonti energetiche impiegate, e il lato dei settori di impiego. In questo modo, si ottiene una base dati sufficientemente affidabile, che può consentire alle Amministrazioni regionali di avere una rappresentazione più chiara delle proprie emissioni, ai fini delle loro scelte regionali in campo energetico.

ENEA, che pubblica ogni anno il Rapporto Regionale, arrivato attualmente alla sua terza edizione, con un solo anno di ritardo rispetto l'aggiornamento del BEN (Bilancio Energetico Nazionale), può fornire l'aiuto ed il supporto necessario sia nei confronti delle politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici, sia nella ripartizione fra le Regioni degli impegni di mitigazione sottoscritti a livello internazionale dall'Italia. ●

note

1. (http://www.enea.it/produzione_scientifica/pdf_volumi/V2010_04-InventarioEmissioniGas.pdf)
2. in base al DPR 203/88 e successivi (DPR 25 luglio 1991) e varie leggi regionali.
3. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National GHG inventories* (IPCC, 2000).
4. Valori medi Nazionali su dati Progetto CORINAIR 1995 da elaborazioni ISPRA.
5. Totale che fa riferimento al settore *Energy* delle tavole CRF dell'inventario nazionale, comunicato all'UNFCCC.
6. *GHG inventories (Annex I) e Common Reporting Format*, anno 2009.



A procedure to estimate the hydrodynamic parameters of an Autonomous Underwater Vehicle (AUV)

Neptune SB-01 is a basic small-scale model of submarine to be used as a test platform within a cooperative submarine robotics project. After characterizing its essential components, a series of pool tests has been performed by using a simple but effective specific methodology

■ Giacomo Cupertino, Ramiro Dell'Erba, Giovanni Sagratella

Una procedura per stimare i parametri idrodinamici di un Veicolo Autonomo Sottomarino (AUV)

Il Neptune SB-01 è un semplice modello di sottomarino a scala ridotta il cui impiego è stato previsto come piattaforma di sperimentazione nell'ambito di un progetto di robotica sottomarina cooperante. Dopo averne caratterizzato le sue parti costitutive essenziali, si sono eseguite una serie di prove in piscina secondo una semplice ma efficace procedura

Introduction

Thanks to their easy handling and reduced costs small AUVs – Autonomous Underwater Vehicles – are witnessing a widespread and ever growing use in several oceanography applications such as, e.g., mine-recognition, and environmental monitoring of coastal and inland water basins. A number of AUVs are being specifically designed to operate in a coordinated way just like fish shoal.

Main background

Article category: autonomous robotics

Reference frame: swarm robotics

Reliability: system efficiency and economic improvement of mission management

Main limits: operative depth restricted to few ten meters and power supply limitations, resulting shorter duration of the mission

Estimated costs: about 10.000 € per vehicle

The main advantages range from the possible inspection of a given space volume in a shorter time than if made with a single machine to the opportunity to exploit a parallel architecture performing complex tasks otherwise impossible. The 'shoal-like philosophy' originates from the observation of nature. Its fundamental is a single simple-structured machine. It might get lost without affecting the survival of the shoal which is able to perform the tasks it has been assigned by a human operator anyway. The HARNESS (*H*uman telecontrolled *A*daptive *R*obotic *NE*twork of *S*ensor*S*) project is a cooperative robotics project aimed at developing a unique system of autonomous robots into a single network of sensors. Their shoal-like concept allows them to carry out manifold joint operations. A key aspect of the project is mainly

■ Giacomo Cupertino, Ramiro Dell'Erba, Giovanni Sagratella
ENEA, Technical Unit for Advanced Technologies for Energy and Industry, Robotics Lab.

underwater inter-component data exchange by acoustic wave propagation, and not only. The control system of a single machine is achieved by building, a physical model behaving as close as possible to a real one. This is called Neptune SB-01 which will be the study platform, at least in the early stage of the project. A simplified description of the basic constituent parts of the vehicle is contained in this article, as well as its geometry and electro-mechanical components, particularly focusing on hydrodynamic characteristics. Indeed, they represent the main aspect of the project specific to the use the submarine is intended to serve. Our main objective was to determine parameters of interest by simply observing its behaviour in water under specific assumptions.

We wanted this to be achieved by performing a series of pool tests with common, simple mechanical and electronic devices. Indeed this document is also aimed at proposing a methodology to evaluate the hydrodynamic parameters of any scale craft vessel in a simple and inexpensive way. Hence a series of experimental tests have been carried out in order to cost-effectively get the vehicle's hydrodynamic coefficients of drag (C_d) at various speeds as well as the value of its operating speed. Of course, before proceeding to the tests some calculations have been made allowing to formulate some preliminary hypotheses on the study model. The data and information so obtained have made the afore-mentioned experiments fully successful.

Vehicle description and main assumptions

At a first stage, the Neptune SB-1 by Thunder-Tiger has been studied out of water. This submarine model is com-

posed of: an elliptic outer shell (figure 1), a simple propulsion system and mechanisms acting on fins and rudder, and finally a watertight cylinder inside the hull, where all the actuators converge on their corresponding motors. The moving parts consist of: propellers, two coupled fins, in phase opposition, for pitch movement (up and down in depth), a centered rudder in the stern. The cylinder also hosts a swim bladder driven by a reversible pump adjusting the immersion level of the entire hull at higher or lower depth. Each DC motor is controlled by PWM electronics except for the bladder filling/emptying pump which instead is controlled by an on/off electronic card. Subsequently, starting from assumptions that could well approximate the actual behaviour of the object in water, preliminary considerations were made on weight distribution inside the hull, with a special focus on the heaviest loads. Then the submarine's equilibrium points 'out of water' have been observed in relation to the three coordinate axes, as well as the ballast water when the submarine is immersed in a pool at 0.5 m depth. The resulting conclusion is that the vehicle mass distribution can approximate to an ellipsoid distribution, with principal axis of inertia in the direction of the main motion shifted by a certain calculated quantity lower than the symmetry axis along the same direction. It has also been observed that the volume of water moved by this equivalent mass causes the same volume displacement of the submerged hull at the established depth. As the added mass of water tends to oppose the motion of the vehicle^[1], as a result of further considerations we have adopted a volume producing an added mass of water equal to that used for calculating the inertial moments without including the mass of water induced by the fin motion. Adequate numerical values have resulted, as shown in the final extrapolation of the experimental outcomes. Indeed, the resolution of a theoretical model whose parameters are estimated on the basis of experimentally collected data gives added mass values similar to those previously assumed as a first approximation. Given the low speeds involved, for both inertial masses the correction terms of Coriolis forces^[2] have been considered close to zero. So the submarine behaviour in water has been further observed assuming that the hydrodynamic forces (determined experimentally in a second moment), were essentially composed of skin friction and pressure drag^[3]. The former is consid-

The Harness project

Project target: investigation and development of technologies for underwater robotics management systems.

Argument of the article: characterization of the single vehicle as elementary part of the swarm.

Description: the project aims to study cooperation aspects in a 3D swarm and solve the interaction between man and a swarm; it aims also to develop a new communication issue in an 'ad hoc' underwater network, that should allow to rise the available bandwidth of present AUVs of about hundred times.

Amount of the project: about 1,000,000 €.

red negligible compared to the latter, since the latter prevails for moderate speeds as in this case. Furthermore, considering marine currents as negligible, it has been possible to assume that the speed of the vehicle matches the speed of the flow impacting on it. Therefore the latter has always a direction coincident with the vehicle trajectory. This is exactly the reason why the tests performed will only refer to one of the three possible spatial directions: the x axis, identified as the main direction of the motion, namely the direction caused by the propeller thrust. By adopting the estimates of the diameter D_e of the equivalent cylinder (and the ellipsoid's too), a Reynolds number of about 100.000 has been obtained. This result allows us to state that it lies below the critical threshold corresponding to a principle of turbulent flow^[4]. However, to derive the hydrodynamic forces acting along directions perpendicular to the motion (on the rudder, and on the front- and rear-fins), considering the relative speeds involved it is worth pointing out that we referred to calculations^[5] always made under conditions of laminar flow over thin airfoils, so that the fluid angles of attack do not exceed 25°^[6].

Experimental apparatus description

It was decided that all test would be carried out at a depth of 0.5m. Hence the submarine was completely filled with water so that it could simulate any mission. Before starting the data acquisition campaign, it was necessary to vent out as much air as possible from inside the hull. Otherwise, the many small empty spaces mostly present in the stern would not allow the hull to be fast filled with water (figure 1).

A special cableway structure ensured that the submarine would follow a straight line trajectory at the established depth. Particularly, the submarine was pulled into water by forces applied through weights attached to the structure. The entire path of Neptune was videotaped by unrolling a vertical flexible meter placed on a particular structure with a special system of pulleys. In order to better measure the speed of fall of the weight, it was decided that the single instants of the fall be highlighted with a stopwatch. Its millisecond time view was visible both on a PC monitor where the stopwatch was installed, and on the bottom wall of the laboratory through a projector. The su-

bmarine's pulling weight being known, measures could be acquired by using two systems simultaneously. A high-definition videocamera was placed on a stable tripod at the bottom of the laboratory to record the last 2.5 m of free fall. Then a photocamera was mounted on a moving part running parallel to the free falling weight along the flexible meter, so that it could photograph each second of the first part of the path (3 m approximately). The distance between the videocamera and the flexible meter was such that each pixel recorded by the device corresponded to a millimeter of linear measure. Evidently, this could be achieved by laboriously and continuously improving the viewing angle, aligning the flexible meter to the device lens, etc. By doing so, we obtained absolute parallax error completely acceptable (<0.5%). According to the existing literature, in all tests the friction force of the cord-pulley system is estimated to be around 3% of the weight force applied. The two acquisition systems are overlapped only between the 2nd and the 3rd meter of the free fall of weight. In fact their aim was precisely to detect, on the one hand, the instant when full speed was reached with the photocamera (gross acquisition), and on the other the exact value of the regime speed with the videocamera (fine acquisition), in order to validate the constancy of speed in the considered time interval. This partial overlap also allowed a double simultaneous measurement of the distance covered by Neptune as a function of time, improving measurement accuracy.



FIGURA 1 Balance positioning to dive the submarine and lock the rudder system
Source: ENEA

Running experimental tests in the pool

The tests were carried out in three sessions: evidence of the propulsion force of the submarine (static test), full speed ahead and astern, evidence of hydrodynamic resistance (drag coefficients) and maximum speed tests. The first test (figure 2) was achieved by simply fixing a dynamometer on the main frame positioned in water. The dynamometer was pulled vertically by a cord (pully-straightened underwater) strained by the submarine. With a fully charged battery, the propulsion thrust recorded was equal to +100 gr.

The second test took the longest time. The submarine was pulled with 6 different weights ($m = 50, 100, 305, 450, 585$ and 670 gr.). For each single weight the experiment was repeated 6/7 times. At the equilibrium position – i.e. when the applied external force net of friction ($F_g - F_a$) balanced the various hydrodynamic forces acting on the submarine – a constant Fidro hydrodynamic force due to the drag forces only was recorded. Hence the speed had attested on a well-precise value. [7] In this way, different coefficients of drag (C_d) were obtained for each weight. As a result, a regime speed was measured as a function of the applied force, which was the main purpose of the test. The drag coefficients are defined by the equation that is assumed to govern Neptune's motion^[7]:

$$F_{res} = F_a - F_r = \frac{1}{2} \rho C_d A_f v^2 \quad (1)$$

where ρ indicates water density. The section (A_f) quoted in (1) was calculated by counting all the pixels contained

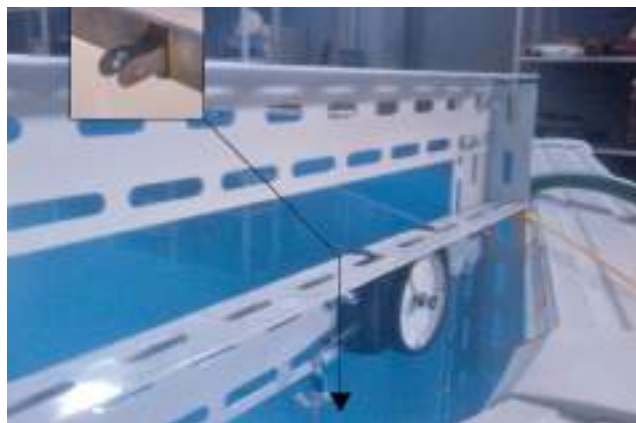


FIGURA 2 Setup for the submarine propulsion test
Source: ENEA

in the scanned image of the picture shown in the technical specifications of the product. Then its exact match was checked by comparing it with the real model photograph.

Finally, the third test was to determine the maximum speed the submarine could reach at a depth of about 0.5m. The experiment was carried out by using the same system of pulleys and measurement, operating the AUV in reverse manner. That is, an inextensible cord was connected between the stern of the hull and the system, with a little ring suspended to the end of the wire to keep it under tension (5gr). Therefore, with engine full speed ahead the wire coming out neatly from the conveyor tube pulled the submarine. This allowed to measure speed through the notches on the wire at known distance. In order to achieve full speed faster, it was decided to provide an initial underwater tension of 1.2 kg. Then another piece of inextensible wire was connected between the submarine's bow and a dynamometer loaded with the above force, which proved to be sufficient enough to overcome the initial inertia.

Experimental results

Starting from the equation of motion (1), the equation of balance of forces is as follows:

$$m_N v(t) = mg - \frac{1}{2} \rho A C_d v(t)^2 \quad (2)$$

where m is the weight mass, as described in the experimental paragraph above, m_N is Neptune's mass of, g is gravity acceleration, ρ is fluid density, A the frontal area impacting with the fluid. It should be pointed out that Neptune's mass should also include the added mass term, i.e. a certain amount of water that the vehicle drags with itself (a model widely used in fluid dynamics). Then we proceeded to solve the equation (2) in closed-form both neglecting and considering the added mass, assuming a laminar flow regime. As a following step, the C_d and possibly m_N hydrodynamic parameters were estimated by fitting the experimental data. Two methods were followed: the first one with only one family of parameters to fit (the hydrodynamic coefficients), and the second one with two families of parameters (both C_d and m_N). The data fitting process involved both speeds and the measured displacements. The different methods were compared by using

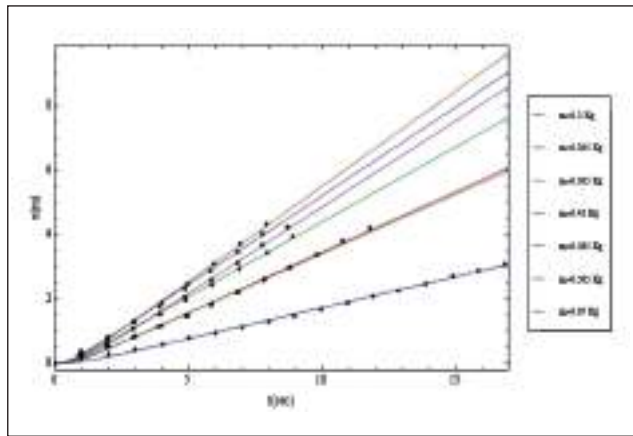


FIGURA 3 Neptune displacement as a function of the instant considered
Source: ENEA

a Gauss' hypothesis test, i.e. by calculating the chi-square divided by the model's number of degrees of freedom. Thus a total of four models were obtained.

The equation solution, with the initial condition of $v(0) = 0$, is the following:

$$v(t) = \sqrt{2gm} \frac{\text{Tanh}\left(\frac{\sqrt{AC_d g \rho m}}{\sqrt{2M_n}} t\right)}{\sqrt{AC_d \rho}} \quad (3)$$

and integrating with the initial condition of $x(0) = 0$

$$x(t) = 2M_n \text{Log} \frac{\text{Cosh}\left(\frac{\sqrt{AC_d g \rho m}}{\sqrt{2M_n}} t\right)}{AC_d \rho} \quad (4)$$

In figure 3 experimental data are shown, together with the best fit, of the weight displacement as a function of time. It should be noted that there are two weight values reported twice showing the repeatability of the measurement. The displacements in figure 3 correspond to the speeds shown in figure 4a. The difference between the method considering the added mass and the one neglecting it is evident in figure 4b. Here, at least for the higher speeds, the speed fit is worse when the added mass becomes significant.

Table 1 shows the estimated parameters only for the two methods where speed is fit, with and without added mass to Neptune. The difference in the Gauss' coefficients (calculation of chi-square divided by the model's number of degrees of freedom) demonstrates the best accuracy of Method 1 despite an extra parameter to be estimated. This is true only for the last two cases (larger weights or higher speeds) where the added mass becomes significant. Indeed, for latter two cases it is impossible to approximate the curves with the drag coefficient only. Note the difference in the speed limit, already visible in Figures 4a and 4b.

The drag coefficients differ by about 10%.

Ultimately, also the greater physical compliance of the

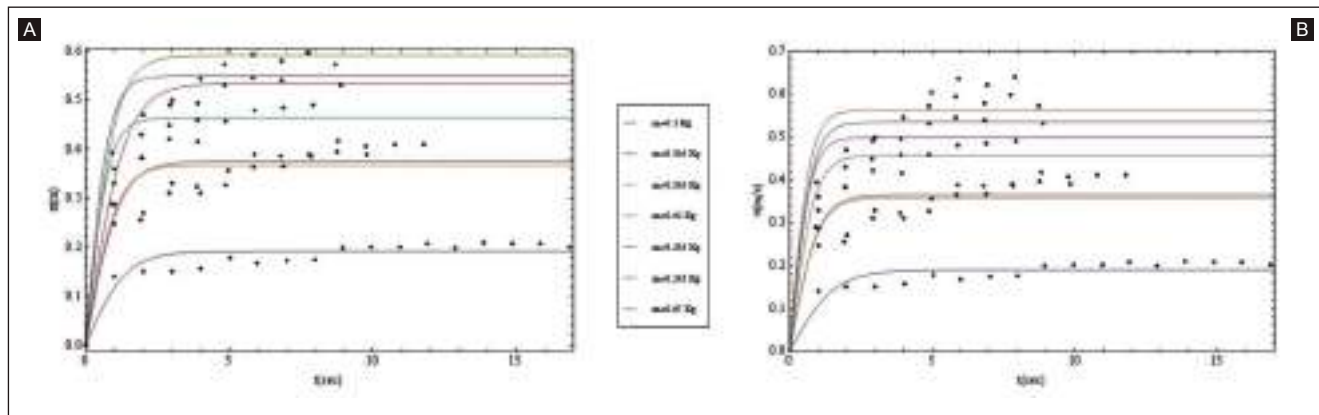


FIGURA 4 A. Evolution of speed of weight as a function of its fall time with added mass - B. Evolution of the speed of weight as a function of its fall time without added mass
Source: ENEA

Mass weight (m) [kg]	Coefficient value (C_d)		Regime speed (v)		Neptune Mass (m_N)		Gauss	
	MET. 1	MET. 2	MET. 1 [m/s]	MET. 2 [m/s]	MET. 1 [kg]	MET. 2 [kg]	MET. 1 [m^2/s^2]	MET. 2 [m^2/s^2]
0.1	1.44	1.41	0.19	0.19	7.24	8.15	1.25	1.07
0.305	1.15	1.18	0.37	0.37	9.35	8.15	4.72	3.94
0.305	1.19	1.21	0.37	0.36	8.7	8.15	3.07	2.71
0.45	1.11	1.09	0.46	0.47	7.44	8.15	4.08	3.11
0.585	1.03	1.03	0.55	0.55	8.22	8.15	5.73	4.81
0.585	1.08	1.27	0.53	0.585	14.48	8.15	5.54	10.28
0.67	1.01	1.10	0.59	0.67	11.39	8.15	6.34	8.10

TABLE 1 Coefficient of Drag and regime speed with and without added mass
Source: ENEA

model led us to consider the fit made with the added mass more reliable.

Conclusions

This work was aimed at realizing the control system of a single machine, and entirely preliminary to the completion of the Harness project. The experiments results confirmed that the hydrodynamic tests may be performed by using the simple experimental setup here described, which allows to repeat experiments with very good approximation. In this work the power of engine thrust, the hydrodynamic coefficients, and the maximum speed reached by Neptune as a function of the applied thrust force have been estimated. This allowed us to understand how the motion force of the submarine opposes the system when the propulsion thrust generated by the motion of the propeller enables the vehicle to reach a regime speed. The experimental results match with the assumed theoretical model. The speed range considered corresponds to the range of the submarine's operative speed. Lower speeds

are difficult to measure with this simple apparatus, and of little interest too. In this case, reaching the regime speed requires times and distances greater than those allowed by the pool used.

The next step could be trying to "accelerate" the achievement of regime speed by passing from an experimental apparatus characterized by the free fall of the weight to a more complex system. The latter would emulate the drag of the submarine by pulling it via a speed-controlled motor. At the regime speed, its speed value set at the beginning of the experiment would provide a given constant torque value necessary to determine the drag force for speeds at or below the critical value of 0.2m/s, as those read in the test method described herein. At this point the system would have the parameters to control the motors and we would expect a certain type of behaviour. The unpredictable external conditions could change the submarine's response, but as it always happens in robotics, the feedback given to the system would enable it to make the necessary corrections so that the motion may proceed as planned. ●

references

- [1] C.E. Brennen, (1982), *A review of added mass and fluid inertial forces*, Department of the Navy – Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme, California.
- [2] A. Ross, T.I. Fossen, T.A. Johansen (2004), *Identification of underwater vehicle hydrodynamics coefficients using free decay tests*, par. 1.1.2, Trondheim, Norway.
- [3] T.I. Fossen (1994), *Guidance and control of oceans vehicles*, Ed. Wiley, United Kingdom.
- [4] H. Schlichting, K. Gersten (2003), *Boundary Layer Theory*, pp. 22, Ed. Springer, Germany.
- [5] D.A. Jones, D.B. Clarke, I.B. Braysha, J.L. Barillon, B. Anderson (2002), *The calculation of hydrodynamic coefficients for underwaters vehicles*, pagg. 7-8, Department of Defence, Australia.
- [6] P. Ridley, J. Fontan, P. Corke (2002), *Submarine Dynamic Modeling*, fig. 5, University of Technology/CSIRO, Queensland, Australia.
- [7] G. Antonelli, T.I. Fossen, D.R. Yoerger (2008), *Springer Handbook of Robotics – Part F, "Underwater robotics"*, chap. 43, pp. 987-995, Ed. Springer, Germany.



Methods for Optical noise rejection in an Amplitude-Modulated Laser Optical Radars for Underwater Three-Dimensional Imaging

Amplitude-modulated (AM) laser imaging is a promising technology for the production of accurate three-dimensional (3D) images of submerged scenes. The main challenge is that radiation scattered off water gives rise to a disturbing signal (optical noise) that degrades more and more the quality of 3D images due to increasing turbidity. In our laboratory we have investigated several methods, both theoretically and experimentally, to suppress or at least reduce this contribution. These methods range from modulation/demodulation to polarimetry. In order to assess their effectiveness we carried out a series of experiments by using the laboratory prototype of an AM 3D imager. The laboratory is based on a laser at wavelength ($\lambda = 405$ nm), for marine archaeology surveys, in course of realization at the ENEA Artificial Vision Laboratory (Frascati, Rome). The obtained results confirm the validity of the proposed methods for optical noise rejection

■ Roberto Ricci, Massimo Francucci, Luigi De Dominicis, Mario Ferri de Collibus, Giorgio Fornetti, Massimiliano Guarneri, Marcello Nuvoli

Metodi per la riduzione del rumore ottico in radar ottici modulati in ampiezza nell'*imaging* tridimensionale in ambiente sottomarino

I sensori laser basati sul principio della modulazione di ampiezza (AM) appaiono una promettente tecnologia per la digitalizzazione tridimensionale (3D) di oggetti in ambiente sottomarino. Il principale processo fisico che limita l'efficienza di tali dispositivi è quello dello scattering della radiazione laser da parte delle particelle sospese in acqua e che tende a degradare la qualità delle immagini registrate in maniera sempre più severa man mano che la torbidità dell'acqua aumenta. Nel nostro laboratorio sono stati eseguiti degli studi teorici e sperimentali volti a dimostrare l'efficienza di diversi metodi atti a minimizzare tale contributo. In particolare sono stati investigati metodi basati sulla demodulazione del segnale ricevuto dal sensore e sulla polarimetria. Gli esperimenti sono stati portati avanti per mezzo di un dispositivo prototipale basato su di un laser alla lunghezza d'onda di 405 nm. I risultati ottenuti confermano la validità dei metodi proposti

Introduction

In recent years, the growing interest for underwater 3D imaging has stimulated the development of 3D optical imagers specifically designed to operate underwater^[1]. Applications range from the monitoring of submarine archaeological sites to the inspection of submerged structures for industrial and scientific purposes. A promising category of underwater 3D imagers is re-

presented by continuous-wave amplitude-modulated laser optical radars^[2,3], whose overland counterparts can achieve – in air – a line-of-sight accuracy of hundre-

■ Roberto Ricci, Massimo Francucci, Luigi De Dominicis, Mario Ferri de Collibus, Giorgio Fornetti, Massimiliano Guarneri, Marcello Nuvoli
ENEA, Diagnostics and Metrology Laboratory

ds of micrometers at tens of meters of distance. These systems belong to the class of incoherent rangefinders. Distance d is determined indirectly through the measurement of the phase difference $\Delta\varphi$ between the modulated intensity of a laser beam – used as the carrier of a radio-frequency modulating signal – and a reference signal:

$$d = \frac{v}{4\pi f_m} \Delta\varphi \quad (1)$$

where v is the light speed in the medium and f_m the modulation frequency. The advantage of this approach is that it requires continuous-wave, low-power laser light, making it possible to realize more robust, affordable and non-invasive devices. All pieces of information, recorded in the form of two-dimensional arrays of structured data, are then integrated and transformed into 3D images by means of dedicated software. These features make AM laser optical radars particularly well suited for applications in cultural heritage cataloguing and conservation. Actually, in this field they are widely used for the 3D digitization of both single artworks (paintings, sculptures, pottery) and entire sceneries (facades and interiors of historical buildings, archaeological sites). While nowadays AM rangefinding in air is a mature technology, the development of underwater AM optical radars is still an important scientific and technological challenge, which poses several problems in terms of reliability and attainable accuracy. This is mainly due to the non-cooperative nature of water, a much more absorbing and scattering medium than air. The intensity I_0 of a light beam propagating through water is attenuated because of absorption and scattering events due to dissolved molecules and suspended particles. In the regime of single scattering dominance, the rate of attenuation is well described by the Lambert-Beer law, which for a homogenous medium of thickness z is written as

$$I(z) = I_0 e^{-kz} \quad (2)$$

Here $I(z)$ is the intensity of transmitted radiation and k the total attenuation coefficient. The latter, which in general depends on the radiation wavelength as well as, for inhomogeneous media, on space coordinates, accommodates for intensity losses due to both absorption and scattering. Hence it can be expressed as $k = k_a +$

k_s , where k_a and k_s denote the absorption and scattering coefficients, respectively. In underwater laser imaging applications, the effect of light absorption can in principle be reduced by properly selecting the laser wavelength in the region where transmission has a maximum. For pure water, light absorption is minimal in the blue-green region of the visible spectrum ($350 \text{ nm} \leq \lambda \leq 550 \text{ nm}$)^[4,5]. In particular, the use of green laser light permits to reduce absorption for turbid water with a relatively abundant chlorophyll concentration, typical of coastal seawater. In the case of interest for the present work – open sea characterized by rather clean seawater – the minimum of absorption is better matched by using laser light in the violet-blue region of the visible spectrum ($\lambda = 405 \text{ nm}$). The other phenomenon affecting the performances of underwater laser imagers is scattering. Light backscattered by water and falling into the angular field of view of the receiver gives rise to an undesirable signal (optical noise), which combines with the target signal carrying the information necessary to the image reconstruction. (Because of its deleterious effects on 3D imaging measures, the signal due to light backscattered by water is often referred to as optical noise in this work – though it cannot be considered noise in strict sense). The result is a reduction of the accuracy of range measurements, as well as a degradation of image contrast. It follows that optical noise has to be strongly reduced, in order to obtain 3D images of high contrast, resolution and accuracy. A partial reduction can be achieved by means of a bistatic optical layout, that is, by increasing the spatial separation between the launching and receiving stages^[6]. The main drawback of this method is that it does not guarantee an effective filtering of the radiation backscattered by the initial part of the water column, which otherwise provides the most important contribution to the total noise. So, most effective rejection methods are necessary.

In this article, we present the results of research recently carried out in the ENEA Artificial Vision Laboratory (Frascati, Rome, Italy) on scattered light rejection by using modulation/demodulation and polarization techniques. The Artificial Vision Laboratory comprises researchers with a long-dating experience in the development of both coherent and incoherent optoelectronic devices, and dedicated software for artificial vision applications.

The line of research on optical noise rejection is specifically targeted at the realization of a new underwater 3D imager, the AM Underwater Laser Optical Radar. This research activity has been carried out within the BLU-Archeosys national project, funded by the Italian Ministry for University and Research. The project aims at realizing a prototype system to be mounted on a remotely-operated vehicle and used for the survey of submerged archaeological sites at depths of a few tenths of meters, i.e., in conditions of rather clear seawater.

Dependence of Optical Noise on the Modulation Frequency in Underwater AM Imagers

The experimental apparatus that has been used to validate the theoretical predictions based on a suitably developed model is shown in Figure 1. The basic device is a diode laser emitting c.w. (continuous wave) radiation at $\lambda = 405$ nm, whose output is coupled to a single-mode fiber connected to a micro-controlled scanning optics. This arrangement allows to scan with a diffraction limited focused beam a target located inside a 25 m long test tank equipped with an optical window. The portion of the laser beam reflected by the target to be visualized is detected by a receiving optics, converted into an electrical signal by a photomultiplier tube. This electrical output is the input of a lock-in amplifier device, which at the same time provides the amplitude modulation frequency f_m to the laser. The lock-in device provides a measure of the phase difference $\Delta\varphi$ between the modulated intensity of the signal beam and a reference signal.

When no target to visualize is immersed in the test tank, the bench-top system records the optical noise originating from the laser radiation backscattered by the particles dispersed in the water and falling into the field of view of the receiving optics. This signal is an optical noise which – in the presence of a target – adds to the valid signal solimiting the performance capabilities of the device. A theoretical study of our laboratory has demonstrated^[7,8] that the optical noise in a device like the one described here behaves like a low-pass filter as a function of f_m . This result has been obtained by properly solving the Radiative Transfer Equations (RTEs) using

a Multi-Component Approach (MCA) and under the Small Angle Approximation (SAA) and the Small Angle Diffusion Approximation (SADA). The method allows to obtain a closed expression giving the cut-off frequency f_c as a function of physical parameters of the water and of the device. It turns out that the performances of the device in term of range accuracy are expected to improve as $f_m \gg f_c$.

The experiment was carried out by filling the test tank with water from the network and an attenuation coefficient $k = (0.66 \pm 0.03)\text{m}^{-1}$ was measured by using a PerkinElmer Lambda 25 UV/vis spectrometer (UV: Ultra Violet; vis: visible).

In both cases, we verified that the laser light was completely attenuated in correspondence of the tank bottom. Experimental results were compared (Figure 2) with the expected theoretical outcomes, calculated by means of the theoretical model. Theoretical and experimental data are normalized to their maximum values.

The theoretical curve in dashed line was calculated by neglecting absorption, and in the simplistic hypothesis that single scattering in the backward direction is the only attenuation mechanism. Conversely, the solid curve corresponds to the more realistic conditions where absorption and laser beam spread are taken into account. The cut-off frequency, calculated as the frequency at which the power is $1/\sqrt{2}$ of the maximum value, is $f_c^{(1)} = 26.09$ MHz for the simplistic model, and $f_c^{(2)} = 20.96$ MHz for the more realistic case. On the other hand, by

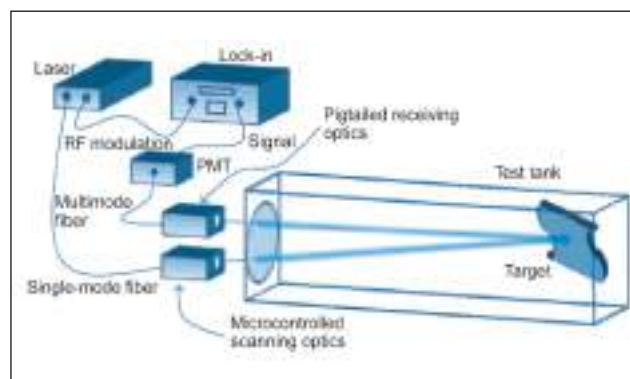


FIGURA 1 Experimental set-up of the bistatic bench-top system realized at the ENEA Artificial Vision Laboratory in Frascati
Source: ENEA

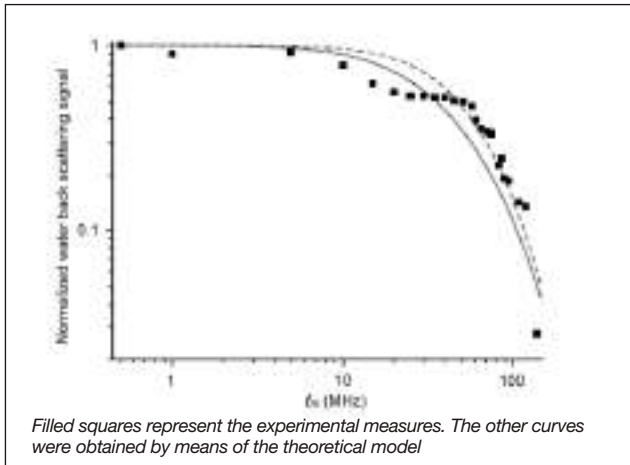
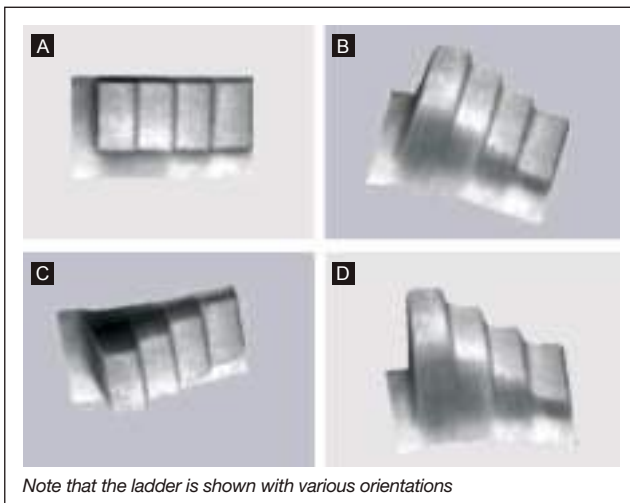


FIGURA 2 Normalized optical noise versus f_m for $k = 0.66\text{m}^{-1}$
Source: ENEA

fitting the normalized experimental data by means of the classical low-pass filter formula,

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_m}{f_c}\right)^2}} \quad (3)$$

where f_c is a free parameter, we obtain the estimate $f_c^{fit} =$



Note that the ladder is shown with various orientations

FIGURA 3 Underwater 3D images of dark-gray-painted, sanded, metallic ladder immersed in clean water (tap water) at a 1.5m distance from the receiver, obtained by working at $f_m = 36.7$ MHz
Source: ENEA

(20 ± 1) MHz. This value is in good accordance with $f_c^{(1)}$ and coincides, within the error, with $f_c^{(2)}$, showing that the proposed theoretical model provides a satisfactory description of the experiment, especially in the more realistic case where absorption and laser beam spread are introduced into the model.

Figure 2 confirms the expected low-pass filter trend, and clearly show that, if a phase-intensity sensitive system such as a lock-in is used for backscattered light detection, an effective optical noise rejection can be achieved by increasing the laser modulation frequency beyond the cut-off frequency. The slight yet appreciable oscillations of experimental data are possibly due to multiple backward scattering contributions not considered in the present theoretical model.

In support of this fundamental result, in Figures 3 and 4 we report the 3D images of a small dark-gray-painted, sanded, metallic ladder, both obtained in optically-thin water.

Specifically, in Figure 3 the target was immersed in clean tap water ($k = 0.06\text{m}^{-1}$) at a 1.5m distance from the receiver. Incident light was modulated at frequency $f_m = 36.7$ MHz, higher than water cut-off frequency^[3]. The other image was obtained in conditions of relatively turbid water ($k = 0.3\text{m}^{-1}$) with a 3.7 m target-receiver distance. In this case the modulation frequency $f_m = 50$ MHz was just beyond the expected cut-off value. Both pictures are of good quality, and rather faithfully reproduce the original target. A slight degradation of the pha-

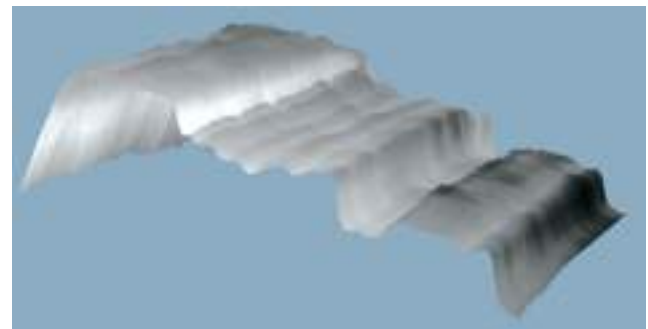


FIGURA 4 Underwater image of dark-gray-painted, sanded, metallic ladder immersed in relatively turbid water ($k = 0.3\text{m}^{-1}$) at a 3.7m distance from the receiver, obtained by working at $f_m = 50$ MHz
Source: ENEA

se (i.e., distance) measurement accuracy is observable in Figure 4, evidenced by a rougher and less sharp reproduction of the ladder.

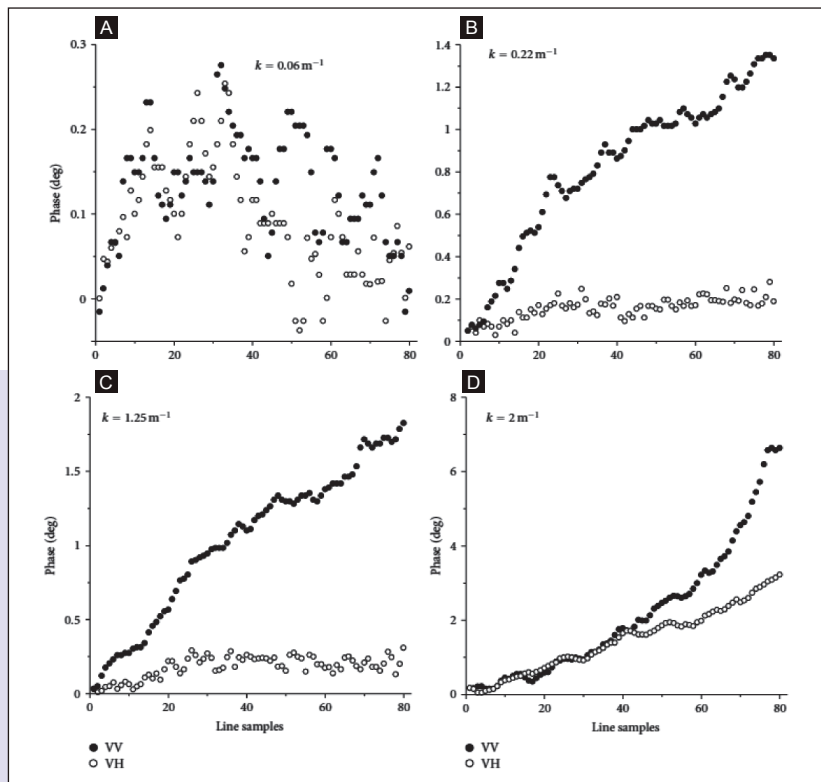
This can be attributed to the much higher optical thickness of the medium in this case, with a consequent increase in the cut-off frequency, that would have required to operate at a much higher modulation frequency.

Optical Noise Rejection through Polarimetry

In this section we report a series of underwater 3D images and linear phase profiles, obtained by using the system of Figure 1. Specifically, it is equipped with suitable polarizer configurations on the launching and receiving stages and a 1.56m Plexiglas test tank, with source-receiver separation $r_{rec} = 7$ cm. The experiments were aimed at demonstrating the validity of the polarimetric technique as an effective means to reduce the ef-

fect of optical noise on both intensity and phase measures. The method relies on the fact that, at least in certain conditions, linearly-polarized incident light is partially depolarized by the target, while backscattering off the medium conserves the polarization state. Beside underwater imaging, other application fields of this method are remote sensing^[9] and biomedical studies^[10], where its effectiveness is demonstrated.

A first series of experiments were carried out by perpendicularly sweeping a polarized AM laser beam on a mostly diffusive target consisting of a dark-gray-painted, flat, metallic plate. The target was immersed on the bottom of the tank, in water of varying turbidity degrees obtained by adding suitable quantities of skim milk (1.5wt.% fat content) to tap water. The polarization scheme investigated was incident light in vertical linear polarization state, and receiving stage in either co-polarized (VV) or cross-polarized (VH) configuration.



The AM laser beam ($f_m = 39$ MHz) was linearly polarized perpendicularly to the reference plane (vertical linear polarization)

FIGURA 5
Linear-phase profiles of a flat metallic target ($z_T = 1.56$ m) corresponding to VV (filled circles) and VH (open circles) schemes, for water of various turbidity levels
Source: ENEA

In all cases phase profile lines were acquired, each comprising 80 phase measurements (pixels) with a sampling time per pixel of 100 ms. Each scan line covered a horizontal 10cm segment on the target. Owing to the system's bistatic layout, pixels #1 and #80 corresponded, respectively, to the conditions of minimum and maximum overlapping between the receiver's field of view and the beam path in water, that is, to minimum and maximum contribution of the optical noise. For each line, the phase was set to 0° in correspondence of pixel #1. Deviations from this value during line scanning (phase drift) were taken as an indication of the optical noise rejection efficiency of the system—lower phase drift values corresponding to higher rejection. The results obtained by using linearly-polarized light are reported in Figure 5.

When the flat target is immersed in tap water ($k = 0.06\text{m}^{-1}$, clean water, Rayleigh scattering regime), there is no appreciable difference between VH and VV configurations. During the scans, the measured phase remains nearly constant within a range of 0.25° , which represents the intrinsic error of the apparatus operating at the described conditions (Figure 5(a)). This occurs because the light backscattered by the tap-water column (optical thickness $T = 0.0936$) is negligible if compared with the radiation reflected by the target. In fact, in these conditions, the albedo for single scattering events, that represents the fraction of energy lost from incident beam due only to scattering, is close to zero. The situation drastically changes for $k = 0.22\text{m}^{-1}$ ($T = 0.34$), when the condition of quasi-Mie (or intermediate) scattering regime is approached and the light

scattered by the medium strongly increases. Along the whole scan line in VH configuration, the phase remains constant within the accuracy error. Conversely, in the VV scheme it grows almost linearly, reaching the value of 1.3° in correspondence of pixel #80, where the detector sees the entire water column (Figure 5(b)). Analogous results are found for $k = 1.25\text{m}^{-1}$ (Figure 5(c)), where single scattering events still dominate and the medium optical thickness is $T = 1.95 < 10$. In these conditions, the radiation backscattered off water preserves the linear polarization state of the incident light. On the contrary, the target depolarizes, that is, randomly changes the polarization state. As a consequence, the VH detection scheme is more effective in rejecting the optical noise, since in this configuration backscattered light of vertical linear polarization is filtered out, enabling to obtain phase measurements of higher accuracy. For $k = 2\text{m}^{-1}$, the medium optical thickness raises up to $T = 3.12$, approaching the transition scattering regime, with a higher probability of multiple scattering events. In this case, also the light backscattered by the medium is partially depolarized. Consequently, the noise rejection mechanism is less efficient, and the phase measured in the VH configuration presents a nearly-linear drift from 0° to 3° . Also in this case, though, the cross-polarized scheme gives better results than the co-polarized one, where the phase drift reaches the value of about 7° on the receiver edge (Figure 5(d)).

A second group of scans (Figure 6) were performed in similar conditions, but on a different target, namely a dark-gray painted, sanded, metallic ladder. The ladder had 1 cm-high steps, apart from the first step whose

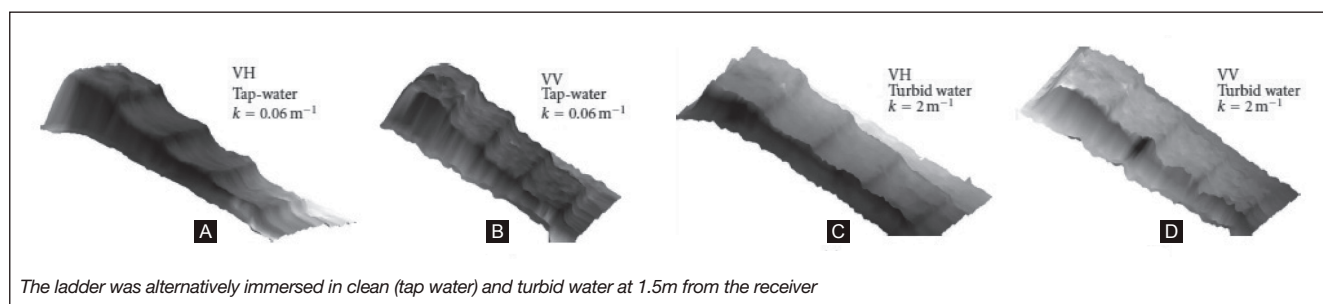


FIGURA 6 3D images of the ladder, obtained by using cross-polarized (VH) and co-polarized (VV) working schemes
Source: ENEA

height was 4 cm. In this case, we only used V-linearly polarized incident light, in combination with both co-polarized (VV) and cross-polarized (VH) detection configurations. Two series of measurements were carried out by using, respectively: (1) tap water ($k = 0.06\text{m}^{-1}$) and (2) a mixture composed of tap water and skim milk ($k = 2\text{m}^{-1}$). In both cases the medium could be considered optically thin. In each scan, 40×80 arrays of data were acquired by sweeping the laser probe ($f_m = 39\text{MHz}$) perpendicularly onto the target, with a sampling time per data element of 125 ms.

Specifically, 3D images recorded in the cross-polarized (VH) linear working scheme (Figure 6(a) and 6(c)) better evidence phase measurement accuracy, contrast, spatial resolution (of the order of millimeter at 1.5m), as well as less phase noise compared to 3D models recorded by using the co-polarized (VV) linear working configuration (Figure 6(b) and 6(d)). In the latter case, the steps look rougher and the ladder structure is smoothed due to the higher contribution of optical noise, especially for $k = 2\text{m}^{-1}$. In summary, also these results confirm that, at least for an optically thin medium, more effective optical noise rejection is achieved both in clean and turbid waters by using a cross-polarized (VH) rather than a co-polarized (VV) detection scheme.

Conclusions

Beside confirming the soundness of the theoretical framework developed by the theoretical group of the laboratory, the experimental results presented in the last sections clearly illustrate the importance of optical noise rejection for underwater 3D imaging applications. Specifically, we showed that, in optically-thin turbid water and in conditions of intermediate or quasi-Mie scattering regime, the contrast and phase accuracy of 3D images can be considerably improved by reducing the contribution of the optical noise. This this does not seem to be critical for clean water (Rayleigh scattering regime), at least for target distances within 3.7m. We demonstrated both theoretically and experimentally that, for underwater AM imagers that are only sensible to the modulated part of the received power, the signal due to the backscattering of light by

the medium has a low-pass filter dependence on the modulation frequency. The cut-off frequency is generally a complicated function of both the optical properties of the medium and the characteristics of the detection system. Hence it can be difficult, in practical situations, to identify an operational value for f_m that falls with certainty beyond the cut-off frequency. Nonetheless, the results obtained give clear indications in favor of using the highest possible modulation frequency in any real situation. The results here reported have been extensively used during the several stages that are leading to the realization of a prototype suitable to operate in subsea conditions. The firsts trials of this prototype in open sea are scheduled for summer 2011 and expected to further shed light on the efficiency of the methods proposed. ●

references

- [1] D.M. Kocak, F.R. Dalgleish, F.M. Caimi, and Y.Y. Schechner, *A focus on recent developments and trends in underwater imaging*, Marine Technology Society Journal, vol. 42, no. 1, pp. 52–67, 2008.
- [2] L.Mullen, A. Laux, B. Concannon, E.P. Zege, I.L. Katsev, and A.S. Prikhach, *Amplitude-modulated laser imager*, Applied Optics, vol. 43, no. 19, pp. 3874–3892, 2004.
- [3] L. Bartolini, L. De Dominicis, M. Ferri de Collibus, R. Ricci, G. Fornetti, M. Francucci, M. Guarneri, *Underwater three-dimensional imaging with an amplitude modulated laser radar at a 405nm wavelength*, Applied Optics, vol. 44, no. 33, pp. 7130–7135, 2005.
- [4] F.M. Sogandares and E.S. Fry, *Absorption spectrum (340–640 nm) of pure water. I. Photothermal measurements*, Applied Optics, vol. 36, no. 33, pp. 8699–8709, 1997.
- [5] R.M. Pope and E.S. Fry, *Absorption spectrum(380–700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements*, Applied Optics, vol. 36, no. 33, pp. 8710–8723, 1997.
- [6] P. Strand, *Underwater electro-optical system for mine identification*, in Detection Technologies for Mines and Minelike Targets, vol. 2496 of Proceedings of SPIE, pp. 487–497, 1995.
- [7] L. Bartolini, L. De Dominicis, M. Ferri de Collibus, R. Ricci, G. Fornetti, M. Francucci, M. Nuvoli, M. Guarneri, *Theoretical Determination of Power Backscattered by the Medium for an Amplitude modulated laser radar in an underwater environment*. ENEA Internal report RT/2010/36/ENEA.
- [8] L. Bartolini, L. De Dominicis, M. Ferri de Collibus, R. Ricci, G. Fornetti, M. Francucci, M. Nuvoli, M. Guarneri, *Theoretical Determination of Total Power Backscattered by a Lambertian Flat Target with constant Reflectivity Immersed in a Stratified Homogeneous Medium for an Amplitude Modulated Laser System*. ENEA Internal report RT/2010/36/ENEA.
- [9] R.E. Nothdurft and G. Yao, *Effects of turbid media optical properties on object visibility in subsurface polarization imaging*, Applied Optics, vol. 45, no. 22, pp. 5532–5541, 2006.
- [10] J.S. Baba, J.-R. Chung, A.H. DeLaughter, B.D. Cameron, and G.L. Cot'e, *Development and calibration of an automated Mueller matrix polarization imaging system*, Journal of Biomedical Optics, vol. 7, no. 3, pp. 341–349, 2002.

Imaging Chlorophyll *a* Fluorescence to early monitor Plant Pathology

Following a pathogen attack, in order to stop or limit the spread of the pathogen plants start several metabolic modifications. To understand the mechanisms of plant-pathogen interaction it has an important role for both plant physiology research and for early diagnosis of diseases. Among these metabolic changes the affect on photosynthetic performance is included and that can modify leaves optical properties and consequently the fluorescence emission. Indeed a lot of studies showed that under stress conditions the reduction of the photosynthetic quantum yield was observed. The induced chlorophyll fluorescence emission is a non-destructive technique widely applied in plant research to monitor the health of plants. In the last years this technique has been improved by processing Imaging. This characteristic allows to show the plant-pathogen interaction on whole surface just immediately after infestation. In this way it is possible to highlight the spatial and temporal variation on leaves, due to no uniform alteration in plant metabolism. In the present work, by means of Imaging-PAM fluorometer, the effects on photosynthetic quantum yield and the photochemical processes of photosynthesis on *Brassica oleracea* var. *Italica* Plenck, inoculated with *Phoma lingam* was investigated. The inoculation was carried out on leaf and after 4 days after inoculation the photochemical parameters as well as Fv/Fm, Y(PSII), photochemical (q_p) and non-photochemical quenching (NPQ) were collected on different days both in fungi-infected and uninfected plants. Imaging analysis have allowed to visualize the heterogeneity in plant response. The results, in fact showed different responses depending if the area was directly affected by the pathogen or not. More than to heterogeneity the development of the disease was also observed. Already on the 4th day following inoculation the Fv/Fm was significantly reduced compared with the plants before inoculation. All photochemical parameters considered in this study have changed even if the symptoms were not evident. The areas of infection, far from inoculation point, corresponding to disease development, were evident in imaging analysis. These results demonstrate that Imaging PAM Fluorescence is an essential tool for mapping the development of plant disease useful for physiological study of host-pathogen interaction, as well as for early and non-destructive detection of disease

■ Antonia Lai, Maria Sighicelli, Francesco Valente

- Antonia Lai
ENEA, Unità Tecnica Sviluppo di Applicazioni dalle Radiazioni
- Maria Sighicelli
ENEA research fellow
- Maria Sighicelli
Student

Fluorescenza della clorofilla *a* e analisi di immagine per la diagnostica precoce di patologie in pianta

In una pianta, a seguito dell'attacco di un patogeno, l'ospite va incontro ad una serie di cambiamenti metabolici che cercano di arrestare o limitare la propagazione del patogeno. Lo studio dei meccanismi che sono alla base di tale interazione riveste un ruolo importante sia nella ricerca di base, che in campo agronomico ed in particolare per la diagnostica precoce delle malattie. L'emissione di fluorescenza della clorofilla *a* indotta è un metodo non distruttivo ampiamente utilizzato sia per il monitoraggio dello stato di salute delle piante, che per gli studi di base della fotosintesi. Nel presente lavoro si è valutato, attraverso il fluorimetro Imaging-PAM, l'effetto sui processi fotochimici della fotosintesi in piante di Brassica oleracea var. Italica Plenck, inoculate, in condizioni controllate di laboratorio, con *Phoma lingam*, uno dei più importanti ed aggressivi patogeni fungini del suolo delle Brassicacee. L'inoculazione effettuata su foglia stata seguita sulle stesse piante nel tempo. I risultati ottenuti hanno mostrato diverse risposte fra le aree direttamente colpite dal patogeno e quelle lontane, ma influenzate dalla sua presenza. È stata osservata oltre alla eterogeneità nella risposta sulla superficie fogliare, anche la possibilità di monitorare, fin dagli stadi iniziali, l'evoluzione della malattia. La massima efficienza quantica del PSII subisce una riduzione già a 4 giorni dall'inoculazione, con valori significativamente inferiori rispetto alle foglie delle piante analizzate prima dell'inoculazione. Si è inoltre osservata una maggiore attività fotosintetica nell'area adiacente a quella direttamente colpita dal patogeno. L'analisi di immagine dei parametri di fluorescenza e gli stessi parametri correlati ai parametri fotochimici della fotosintesi si confermano come metodologie utili sia per lo studio di base della fisiologia della fotosintesi che per la diagnostica precoce di malattia, in grado di rilevare la patogenesi prima che sia evidente. Inoltre, la possibilità di studiare ogni singola pianta in modalità non distruttiva e quindi seguita nel tempo, permette l'approfondimento negli studi di base per la comprensione di meccanismi fisiologici e molecolari dell'interazione ospite-parassita.

Introduction

Plant-pathogen interaction induces drastic physiological changes in the host that may lead to metabolic damage to cells, tissues and organs, and finally to the expression of apparent symptoms. The metabolic modifications interest several zones: the point of infection hosting the pathogen, and the area far from infection but affected by the pathogen's metabolism of. This is the reason why the leaf could display a heterogeneous response. Many studies emphasize the possibility to evaluate the damages of infected plant during infection^[1,2] and the usefulness to follow the disease development particularly at its early stages.^[3,4] Understanding the disease development mechanisms correlated to plant response is very important to study host-pathogen interaction. Among the physiological processes affected by pathogen infection as fungi, viruses or bacteria, the photosynthesis activity is heavily influenced, as well as the Photosystem II (PSII) and the Electron Transport Rate (ETR). Photosynthesis decreases as the infection progresses. This is mainly evident in diseases that evolve through chlorotic and necrotic

symptoms on leaf.^[3-7] The induced chlorophyll *a* fluorescence emission is a useful and widely employed tool to investigate the metabolic changes during the first stages of infection. This methodology is particularly functional in plant and agronomic research because it is possible to perform a rapid and non-destructive screening of healthy plants.^[8-10] Following the first observation of the changes of the chlorophyll fluorescence emission correlated with the primary photochemical reaction of photosynthesis by Kaustsky and Hirsch (1931)^[11], numerous studies demonstrate that the induced stress significantly modifies the kinetic of fluorescence emission. As a result, the activity of PSII, i.e. photosynthetic metabolism is mainly influenced.^[12,13] Additional information on the efficiency of PSII and the photosynthetic activity can be obtained by applying a saturation pulse on dark-adapted leaf (*Pulse Amplitude Modulated method*).^[14,15] This technique allows to assess the quantum yield of energy conversion at the PSII reaction centre by other fluorescence parameters such as: maximum PSII efficiency in the dark-adapted leaf (*Fv/Fm*), operating quantum

efficiency (Y(II)) in the light-adapted leaf, Electron Transport Rate (ETR), Photochemical quenching (qP) and Non-Photochemical Quenching (qN, NPQ). Although the increase in current fluorescence emission (F_L) is related to the decrease in photosynthesis efficiency^[8], it is known that there is a relationship among the efficiency of light harvested by PSII, the ETR, the photoinhibition or the increase in qN, NPQ and various stress factors.^[16,17] The assessment of photosynthesis by means of chlorophyll fluorescence emission can be used as an early diagnostic tool for disease detection. The PSII of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* L.) cv. Kunera, inoculated with *Fusarium oxysporum*, is early affected and its activity is heavily reduced.^[18] Once more in the interaction between *Fusarium oxysporum* and *Lycopersicon esculentum* Mill. cv Roma, 31 days after inoculation, a significant decrease in Y(II), ETR, and qP (by 27%, 50% 28% respectively) was observed whereas Fv/Fm decreased by approximately 25% after 35 days.^[19] During the infection of *Colletotrichum lindemuthianum* on *Phaseolus vulgaris* cv. Carioca, a fall of 70-80% in fluorescence and 38% in ETR, corresponding to the 50% decrease in photosynthesis, was observed in the necrosis zone.^[20]

In the last years remarkable technological upgrading led to the improvement of that technique by the development of an Imaging Chlorophyll a fluorescence system (*Imaging*).^[1,2,21] Moreover *Imaging* was able to give information about photochemical parameters in real time and in a non-destructive manner. The most essential new information is represented by the simultaneous detection of leaf heterogeneity of these fluorescence parameters which reflects a physiological

heterogeneity. Indeed, it is demonstrated that even in healthy plants there is patchiness in correspondence to the stomata opening. Bassanezi et al. (2002)^[5] showed how the photosynthesis activity variation depends on the kind of infection also. *Imaging* has been used to study spatial and temporal heterogeneity of the photosynthetic efficiency in response to different levels of biotic and abiotic stress.^[2,22-24] When the leaf is infected, several metabolic damages, including photosynthesis, are not uniformly distributed over the whole leaf area. Similarly, uniform visible symptoms are not expected to develop. Therefore by *Imaging* it is possible to analyse the photochemical process in a whole area of a large number of leaves, i.e., plants. It may be a helpful tool for early detection of stress-induced damage. Since the *Imaging* acquisition is non-destructive and rapid, it is immediately possible to compare the metabolic changes due to stress before symptoms are evident.^[3,23,25-27] This is particularly useful for screening in plant stress physio-pathology.^[2,21,23] On grapevine leaves inoculated with *Plasmopara viticola*, the *Imaging* system shows a heterogeneity response corresponding to the spread of the pathogen. In particular, the significant changes in Fv/Fm and Y(II) were observed 3 days before the symptoms were evident.^[4] Also in *Pseudomonas syringae*, both pv *phaseolicola* and pv *tomato-Phaseolus vulgaris* interaction, *Imaging* shows significant changes in Y(II) and qN before the appearance of the symptoms^[25]. In particular, the *Images* of Y(II) did not show any differences among the two pathogens, whereas significant differences exist for qN^[25]. The *Imaging* system did perform well on viruses infections including *Tobacco Mosaic Virus*, where a decrease in Fv/Fm was observed in the inoculated areas immediately a few hours following the inoculation.^[27]

Several studies of plant-pathogen interaction and its effect on photosynthesis are reported, but there is little information on *Brassica oleracea-Phoma lingam*, Tode ex Fr. interaction. *P. lingam* is one of the most aggressive soil pathogens that mainly infects brassicaceae (*stem cancer; Phoma leaf spot*; Figure 1) and can be particularly destructive for its virulence and propagation.

The pathogen hits all host parts but the symptoms are



FIGURE 1

Phoma leaf spot symptoms
Source: ENEA

not immediately visible. Commonly, soil pathogens cause extensive damages because of their long life in the temperate climate zone. They can live up to 4 years in the resistance form.^[28] Thanks to the variety of adaptive strategies of their life cycle and the development of different ways of infection, soil pathogens are the most interesting to study plant-pathogen interaction. The greatest damage is caused by the necrotrophic and biotrophic spread which usually does not destroy the plant, though it deeply influences its physiology. In necrotrophic broadcast the pathogen destructs the tissues by causing wide lesions and radical changes in their physiology.^[28] The biotrophic and necrotrophic stages could alternate into the life cycle depending on climate conditions.^[28-30] The infection leads to a mesophyll a biotrophic intercellular colonization on the leaf, following the biotrophic invasion of the xylem tissue. This process ends with a necrotrophic step on the stem. In *P. lingam* the necrotrophic stage is known as *crown canker* and leads to the enhancement of the damages due to the biotrophic stage. In order to stop or reduce the pathogen propagation during infection, the plant accumulates a large amount of lignin both in the xylem vessels and in the parenchyma cells^[30]. This causes the unbalanced water transport in the plant^[5], with a reduction of the transpiration due to stomatal closure.

In this work the *Imaging* system was used to investigate the fungus *P. lingam* effect on the photosynthetic activity of Cauliflower (*Brassica oleracea*, convar. *Botrytis L.*), var. *Italica* Plenck, a widespread plant also used as test plant. The aim is to obtain the characterization of plant-pathogen interaction for early diagnosis by providing the disease mapping. The plant's response was

also evaluated as peroxide (H₂O₂) production (oxidative stress).

Materials and methods

Plants and pathogen

Plantlets of *Brassica oleracea* var. *Italica* cv. Calabrese tardivo obtained from organic seed and *Phoma lingam*, race UWA P30, kindly given from Faculty of Natural and Agricultural Sciences, Australia, were used. In order to avoid any foreign contamination, the pots and the soil were sterilized before transferring plantlets. The plants were grown in a Grown Chamber at T=24±1°C, RH=60%, 16000 lux, 16:8 h photoperiod, and regularly watered.

The pathogen was cultured *in vitro* on PDA (Potato Destrosio Agar)–Oxoid at T=23± 1°C, and transferred onto fresh medium every 20 days. Since *P. lingam* is a semi-obligate pathogen, to preserve its virulence it was recurrently necessary to isolate it from the plant infected with pycnidiospores. To help the pycnidiospores develop, *P. lingam* was kept in the dark. The pycnidiospores originated after the 7th day and reached maturity when the production of pink exudates is evident (Figure 2).

Inoculum preparation and pathogen test

According to Gugel et al., (1990) within a modified protocol the inoculum with pycnidiospores suspension was prepared. The 20-day-old mycelium was separated by filtration and the concentration of pycnidiospores was determined by counting in a Burkner chamber (Fortuna, Germany). In order to assure the virulence of fungi, inoculations on cotyledons of 25 plantlets were



FIGURE 2
Mature pycnidiospores of *Phoma lingam* with exudates (arrow)
Source: ENEA



FIGURE 3
Inoculated plants protected with the plastic sheet
Source: ENEA

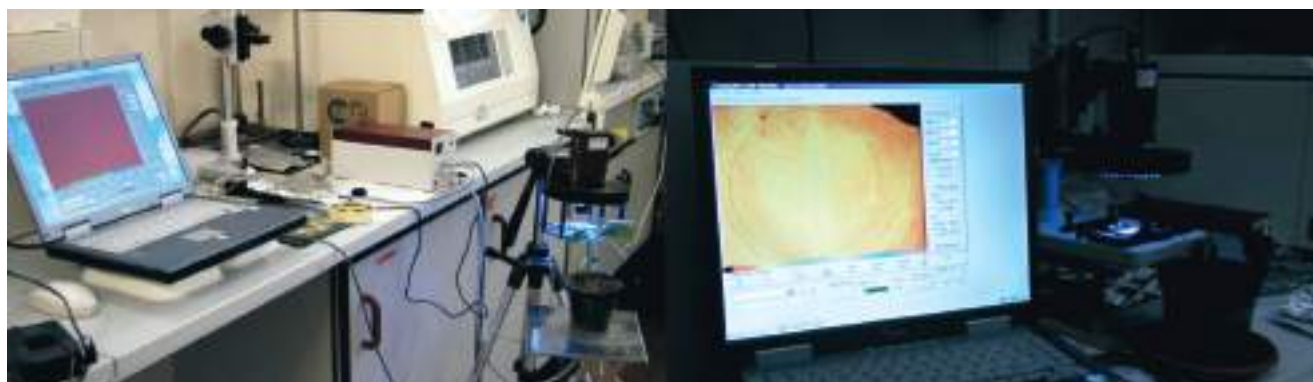


FIGURE 4 Imaging PAM fluorometer
Source: ENEA

practised. After 10 days from inoculation the severity of symptoms is determined according to scale of Bansal et al., (1994).^[31] The severity index (SI) was also calculated.^[31]

Leaf inoculation

The inoculation was practised on 48-day plants. Each leaf was inoculated with 2 drops of 10 μ l of suspension (1×10^7 pycnidiospores/ml). The wound was obtained by piercing the leaf with a needle of 200 μ m of diameter. Each infected plant was compared with plants inoculated with sterile distilled water (control). Just to ensure a positive outcome, the infection plants were closed into a plastic sheet with the RH 100% (Figure 3). Then the plants were put into a growth chamber at $T=28 \pm 1$ C°, photoperiod 16:8. After 5 days the plastic was removed.

Imaging Chlorophyll a fluorescence analysis

Chlorophyll a fluorescence was measured by IMAGING-PAM Chlorophyll fluorometer (Walz GmbH, Effeltrich, Germany) (Figure 4).

The IMAGING-PAM applies a Pulse Amplitude Modulated (PAM) measuring light according to Schreiber (1986)^[14]. The variation of the induced fluorescence shows the changes of photochemical efficiency and the energy dissipation. In order to determine Fv/Fm and calculate the photochemical parameters, the instrument is provided of the measuring light and saturation pulse. The IMAGING-PAM real-time processing

both induces chlorophyll a fluorescence and generates two-dimensional images.

The system is made up of the following components (Figure 5):

- Control Unit containing a rechargeable Li-ion battery (it connects the CCD-camera to the PC and harvest data to it)
- LEDs-Array Illumination (96 blue LEDs ($\lambda=470$ nm), 8 red LEDs ($\lambda=650$ nm), and 8 Near-InfraRed LEDs, ($\lambda=780$ nm))
- CCD-camera (640x480 pixel, equipped with two lenses passing the red fluorescence as well as 650 and 780 nm)
- PC with Win-software *Imaging*.

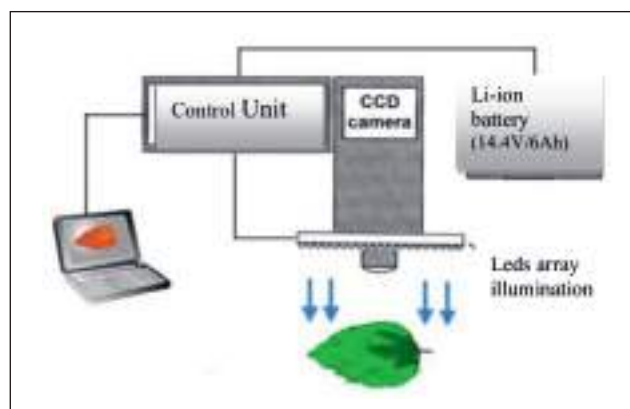


FIGURE 5 Set-up of Imaging-PAM
Source: ENEA

The intensity of the blue-light excitation is $0,5 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$; the actinic light is $1500 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The intensity of the saturation pulse is $2400 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The calibration of the CCD-camera was carried out before the measurements.

Processed parameters:

- **F₀** (dark fluorescence yield);
- **F_m** (dark maximal fluorescence yield); **F_m'** (maximal fluorescence yield on light);
- **F** (current fluorescence yield in switched-on Measuring light, **FL** in the text);
- **F_v/F_m** (maximal PSII quantum yield after dark adaptation);
- **Y(II)**, (effective PSII quantum yield);
- **q_N** (non-photochemical quenching coefficient);
- **q_P** (photochemical quenching coefficient);
- **ETR** (Electron Transport Rate).

In order to properly determine the dark-light induction curve, which is fundamental to give information on the various steps of the complex photosynthetic process, the plants were placed in the dark for 20 min, so that all PSII reaction centers are open. Then the saturation pulse was applied to them. After that, the fluorescence yield of the same plants at measuring light was observed. Concerning the light curve, to obtain right ETR values the plant was first adjusted to actinic light for at least 10 min, and then submitted to increasing light

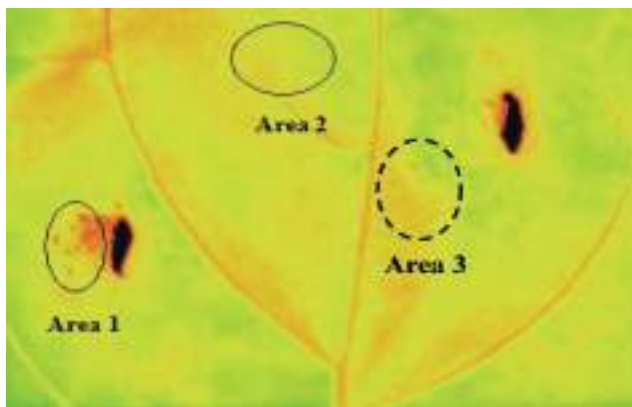


FIGURE 6 Selected areas on the inoculated leaf for Imaging analysis
Source: ENEA

intensity. Because of its non-destructive characteristic, the same inoculated and non-inoculated leaves of the same plant were analyzed during all the experiment. The 4th and 5th leaves of 15 plants were inoculated and compared with plants inoculated with sterile water only. The plants were analyzed at 4, 7, 8, 11, 14, and 18 days after inoculation (DAI). In order to be sure to analyze healthy plants, before inoculation (T₀) the first screening was carried out by the F_v/F_m value.

In order to obtain information of possible fluorescence patchiness, reflecting stomata opening and physiological heterogeneities due to pathogen were identified (Figure 6):

- Point of inoculation area (*area 1*)
- Far from the inoculated area (*area 2*)
- New reaction area far from the inoculation point (*area 3*).

Data Processing

Imaging data were processed by Imaging Win-software (V 0.55, Walz). The statistical analysis was carried out by SPSS for Windows, Release 11.0.

Results

Imaging plant response

Table 1 shows the results obtained for F_v/F_m, Y(II), ETR, and q_P (PAR=460 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Already after 4 DAI, the F_v/F_m values are significantly different in both areas 1 and 2 compared to T₀ (F=8,229; P<0,001). However, between the two areas the F_v/F_m values are not significantly different until 18 DAI, where area 1 is significantly lower (about 4,5%) compared to area 2. The F_v/F_m values of area 1 decrease significantly after 11 DAI compared to 4 DAI (F_v/F_m=0,739ce; Table 1). Conversely, the F_v/F_m values of area 2 are never significantly different during all experiments (Table 1). The ETR of area 1 after 4 DAI is higher (F=2,933; P<0,001) compared to area 2 (ETR₂=54,9a and ETR₁=48,0bc), even if it is not related with q_P at the same time (q_P₂=0,779ce and q_P₁=0,748e; Table 1). As expected at 8 DAI, q_P values are significantly higher in area 1 (0,822ac) than in area 2 (0,770de) (F=6,497; P<0,001) (Table 1). The highest values observed for ETR and q_P are possibly due to the

Photochemical Parameter	DAI	Area 2 (\pm S.E.)	Area 1 (\pm S.E.)
F_v/F_m	0	0,788 \pm 0,004 a	
	4	0,752 \pm 0,005 bc	0,765 \pm 0,004 b
	7	0,740 \pm 0,004 ce	0,740 \pm 0,008 ce
	8	0,748 \pm 0,004 bd	0,748 \pm 0,005 bd
	11	0,729 \pm 0,013 ce	0,739 \pm 0,007 ce
	14	0,723 \pm 0,004 e	0,725 \pm 0,016 de
	18	0,733 \pm 0,007 ce	0,700 \pm 0,011 f
F		4,351 ***	
Ψ (II)	4	0,533 \pm 0,014	0,567 \pm 0,007
	7	0,560 \pm 0,011	0,591 \pm 0,014
	8	0,534 \pm 0,012	0,579 \pm 0,012
	11	0,596 \pm 0,009	0,611 \pm 0,009
	14	0,574 \pm 0,014	0,565 \pm 0,017
	18	0,573 \pm 0,015	0,538 \pm 0,023
F		2,840 n. s.	
ETR	4	48,0 \pm 3,4 bc	54,9 \pm 3,7 a
	7	47,4 \pm 2,8 bc	43,0 \pm 3,6 bd
	8	41,0 \pm 2,2 cde	43,9 \pm 2,6 cde
	11	48,7 \pm 3,9 bc	48,3 \pm 4,4 bc
	14	44,8 \pm 3,2 bcd	42,0 \pm 3,9 cde
	18	35,5 \pm 3,0 de	33,5 \pm 2,6 e
F		2,933 **	
qP	4	0,748 \pm 0,017 e	0,779 \pm 0,011 ce
	7	0,809 \pm 0,014 bc	0,849 \pm 0,019 ab
	8	0,770 \pm 0,016 de	0,822 \pm 0,015 ac
	11	0,855 \pm 0,009 ab	0,860 \pm 0,015 a
	14	0,829 \pm 0,011 ab	0,832 \pm 0,016 ab
	18	0,844 \pm 0,012 ab	0,819 \pm 0,018 ac
F		F=6,497 ***	

TABLE 1 Maximal PSII quantum yield after dark adaptation (F_v/F_m) and effective PSII quantum yield (Ψ (II)), Electron Transport Rate (ETR), photochemical quenching (qP) on Day After Inoculation (DAI). Area 1= Inoculated area; Area 2= far from the inoculation point. The values with the same letter are not significantly different according to Duncan test ($P \leq 0,05$). Significantly: **= for $P \leq 0,01$; ***= $P \leq 0,001$ Values followed by the same letters are not significantly different at $P < 0,05$ according to Duncan's Test
Source: ENEA

raise photosynthetic activity. The *B. oleracea*-*P. lingam* is a biotrophic interaction. For this reason in the area 1 there can be a movement and accumulation of photosynthetic products as observed also in other plant-pathogen interactions^[32]. The Ψ (II) parameter doesn't show significant differences ($F=2,840$; $P=0,257$).

Imaging

The images were carried out using $PAR=460 \mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ previously obtained from the induction curve. The *Imaging* of FL, Ψ (II), qP, at 4, 7, 8 and 11 DAI are shown from figure 7 to 11. The leaf heterogeneity response is immediately evident in the fluorescence

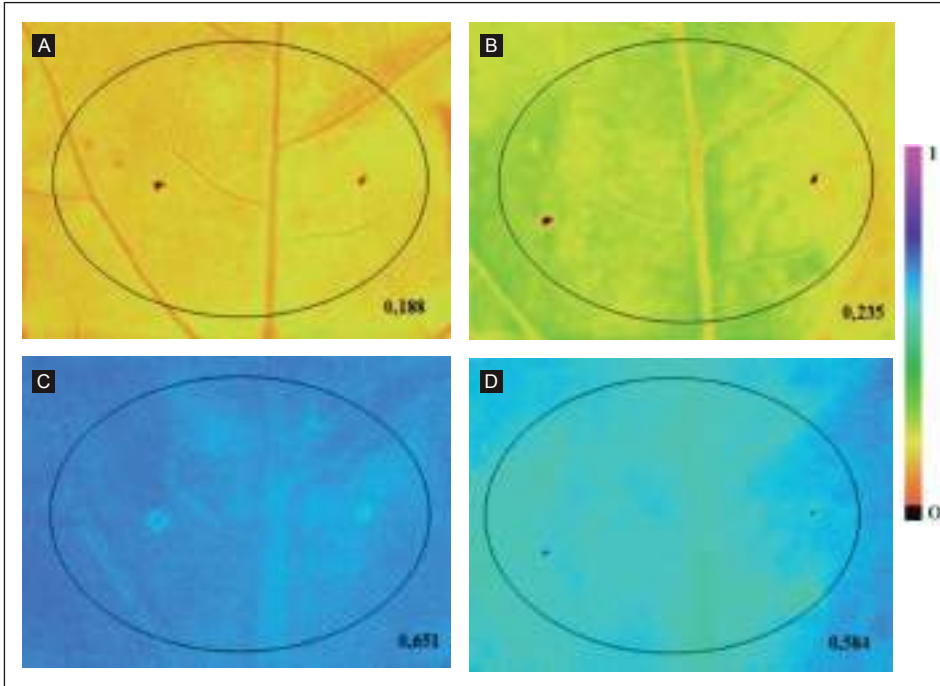


FIGURE 7

F_L and $Y(II)$ Imaging (PAR 460 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$) of leaves inoculated with sterile water (control): F_L at 4(a) and 18 days (c); $Y(II)$ at 4 (b) and 18 days (d)

Colorimetric bar:
0 = low fluorescence;
1 = high fluorescence

Source: ENEA

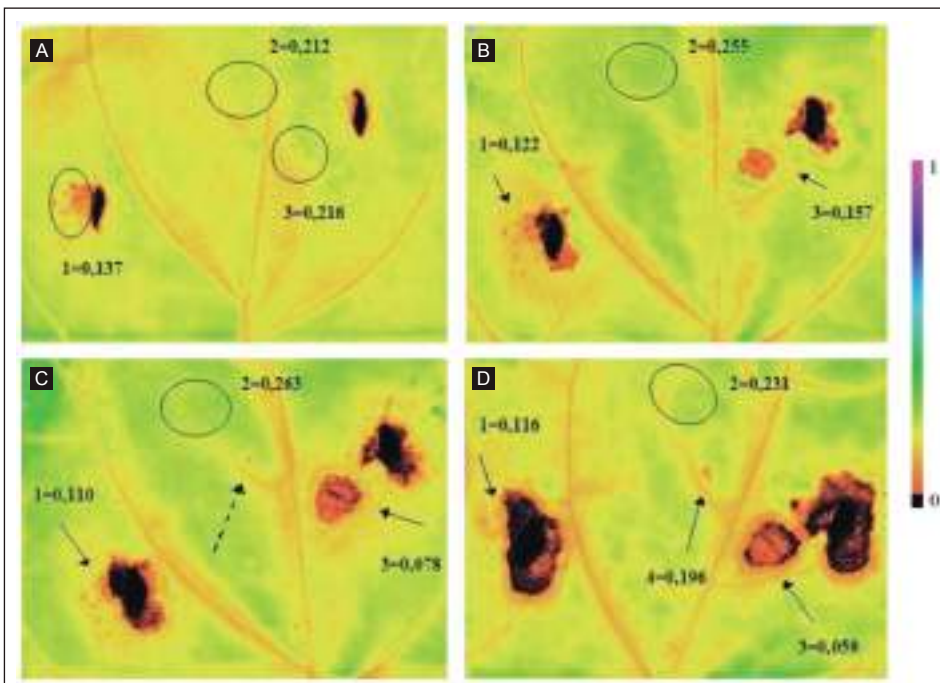


FIGURE 8

Imaging of F_L (PAR di 460 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$) of inoculated leaves:

- A. 4 days
- B. 7 days
- C. 8 days
- D. 11 days

Colorimetric bar:
0 = low fluorescence
1 = high fluorescence

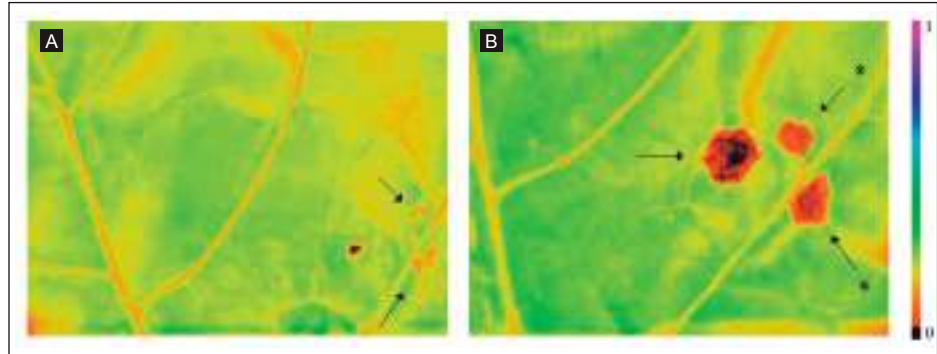
Source: ENEA

FIGURE 9

Imaging of FL (PAR di 460 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$) of inoculated leaves:
 A. 4 days
 B. 7 days

Colorimetric bar:
 0 = low fluorescence
 1 = high fluorescence

Source: ENEA



emission, in the inoculated plant with *P. lingam*, even if the symptoms are not visible.

The imaging of the following days (14, 18, and 21 DAI) is not reported because the symptoms as well as necrosis are visible. In Figure 7 FL and Y(II) leaf imaging of the inoculated plant with sterile water after 4 and 18 days is shown.

As expected, in all days of analysis the differences were not observed neither in the inoculation point nor in the closed areas, though the little necrosis due to

the needle is evident (figure 7). The increasing FL observed (about 20%) and the decreasing Y(II) (nearly 10%) (Figure 7a,c; and Figure 7b,d) are due to natural physiological ageing.

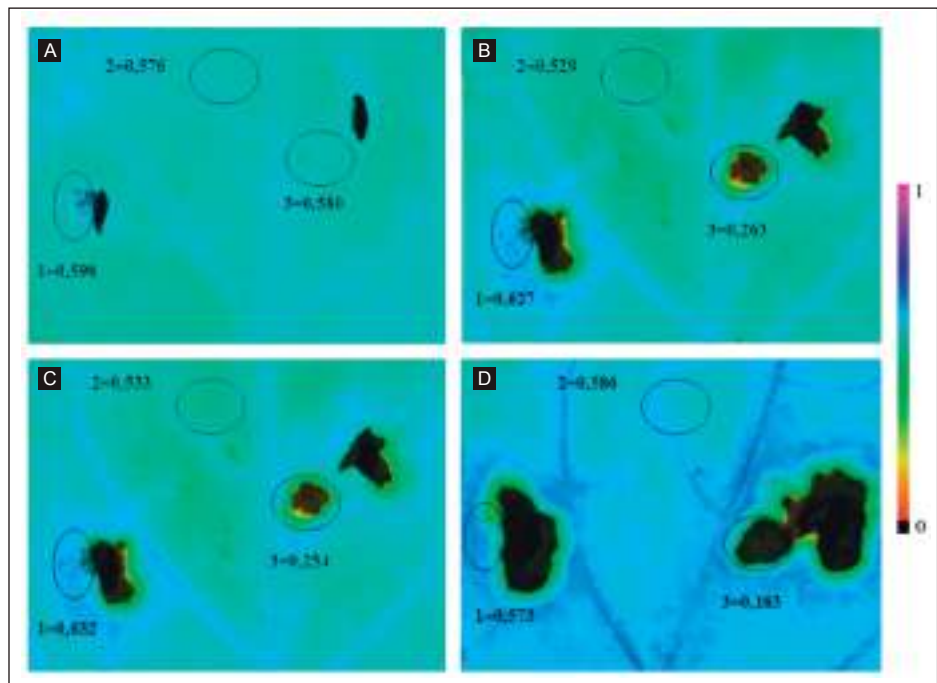
Figures 8÷11 show the images of leaves inoculated with *P. lingam* after different DAI. During the experiment a new reaction are, far from the inoculation (area 3) was identified (Figure 6). As showed in figure 8, already 4 DAI the different emission of fluorescence in area 1 compared to 2 and 3 was observed (Figure 8a)

FIGURE 10

Imaging of Y(II) (PAR=460 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$) on inoculated leaf
 A. 4 days
 B. 7 days
 C. 8 days
 D. 11 days

Colorimetric bar:
 0 = small fluorescence
 1 = maximal fluorescence

Source: ENEA



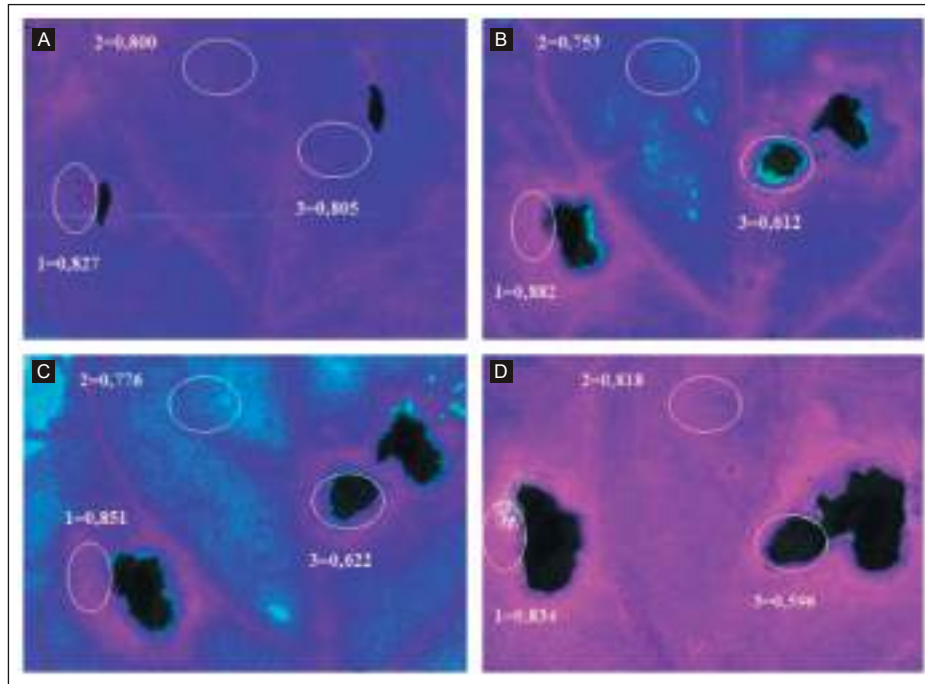


FIGURE 11

Imaging of qP (PAR=460 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$) on inoculated leaf

- A. 4 days
- B. 7 days
- C. 8 days
- D. 11 days

Colorimetric bar:

- 0 = small fluorescence
- 1 = maximal fluorescence

Source: ENEA

($F_L=0,137, 0,212$ and $0,216$ respectively). The response of plant on area 1 causes immediately lowering fluorescence, much more evident at 7 DAI ($F_L=0,122$ Figure 8b). The same day, in area 3 the formation of the reaction zone with reduction of fluorescence caused by the pathogen, though not directly there, was also observed (Figure 8b). This result confirms the pathogen effect on the whole metabolic leaf surface even without visible symptoms. In Figure 8c the FL highlights the additional spread of the disease. In fact a new reaction zone is also originating far from the inoculation point (dashed arrow), which becomes more evident after 11 DAI (Figure 8d, number 4). This result shows the possibility to apply the non-destructive method following the propagation of the disease on the leaf tissues day by day. The same results were almost expressed in most of the inoculated leaves (Figure 9a). Here the imaging shows the several reaction zones far away from the inoculation point (arrows) that spread after 7 DAI from inoculation (Figure 9b, arrows with star). The same points showed visible necrosis after 11 DAI.

In Figure 10 images of Y(II) are shown. The differences

are mainly visible after 7 DAI. The 50% lower value in area 3 and after 11 DAI is decreased by 72% highlighting the decrease of the photosynthetic activity also in an area far from inoculation. Instead, close to area 1 it was observed the Y(II) increasing ($Y(II)=0,627$) which remains the same until 8 DAI. This result already observed for ETR (Table 2) confirms the rise of photosynthetic activity due to the biotrophic plant-pathogen interaction.

The images of qP are given in Figure 11. The little but progressive increase of the qP in area 1 was observed from 4 to 7 DAI. On area 3, not directly affected by the presence of the pathogen, a decrease of the qP was instead observed from 7th till 11th day according to the results obtained for Y(II). This result confirmed the decrease of the photosynthetic activity.

Discussion and conclusions

The leaves of the *Brassica oleracea* inoculated with *Phoma lingam*, Tode ex Fr. showed a different response on the whole surface depending on whether the area

is directly affected by the pathogen or far from it but with its metabolism being pathogen-influenced. Already on the 4th and 11th DAI the *Imaging* highlighted several areas, distinct in area 3 and area 4 (both distant from the inoculation site) with a different fluorescence emission (Figure 8). The *Imaging* is able to monitor the development of the disease from the very early stage and allows to follow the spread of the pathogen not only in the area next to the inoculation point but also in the distant areas (Figure 8 e Figure 9).

The heterogeneity of the plant response is confirmed by the appearance of a different fluorescence emission, a marker of physiological response linked to the pathogen action in distant areas from the inoculation point. The pathogen presence is confirmed by the visible symptoms in the following 11 DAI. As showed in Table 2 the Fv/Fm value (*maximal PSII quantum yield*) of infected plant is significantly lower already on the 4th DAI compared to the plant analyzed before inoculation (T0). This result showed that the PSII is promptly damaged, although the Fv/Fm is not significantly different in both areas: area 1 where the pathogen is inside, and area 2 where the pathogen is temporary absent (Table 1).

The results obtained for ETR and qP are very interesting. Both values are significantly higher in area 1 than in area 2, after 4 and 8 DAI (Table 2). This result is confirmed by *Imaging* the Y(II), where in area 1 the increase of activity is also observed (Figure 10b and

10c). The *Imaging* of qP shows the same result until 7 DAI (Figure 11b).

These results suggest an increased photosynthetic activity due to pathogen presence according to Pomar et al., (2004)^[32] the observation being made during the early growth of *Verticillium dahliae* on *Capsicum annuum*. Actually this plant-pathogen interaction is biotrophic-type so that in area 1, the pathogen induces metabolic changes including the new synthesis of the photosynthetic products. This interaction can lead to a temporary bigger photosynthetic activity^[32]. The oxidative stress was confirmed by the H₂O₂ production (data not shown). Already 2hs after inoculation the microscopy observation confirms the H₂O₂ production which increases up significantly after 8hs.

After 24hs the H₂O₂ production is detected also in other areas far from the inoculation point demonstrating the formation of new infection focus. In conclusion *Imaging* is confirmed to be an excellent tool for early and non-destructive detection of different plant stresses being able to detect pathogenesis before the symptoms are visible. Besides its characteristics, the *Imaging* system allows to make observation on the same single plant following the disease development. Moreover, thanks to the several and complex information acquired, this technique provides a precious background for further physiological and molecular analysis to study the mechanisms of the host-pathogen interaction. ●

references

- [1] PINEDA M., GASPAR L., MORALES F., SZIGETI Z., and BARON M., 2008. *Multicolor fluorescence imaging of leaves-a useful tool for visualizing systemic viral infections in plants*. *Phot. And Photob.* 84: 1048-1060.
- [2] CHAERLE AND VAN DER STRAETEN, 2001. *Seeing is believing: imaging techniques to monitor plant health*. *Biochim Biophys Acta* 1519:153-166.
- [3] LAZAR D., SUSILA P., NAUS J., 2006. *Early detection of plant stress from changes in distributions of chlorophyll a fluorescence parameters measured with fluorescence imaging*. *J. Fluoresc.* 16:173-176.
- [4] CSEFALVAY L., DI GASPERO G., MATOUS K., BELLIN D., RUPERTI B., OLEJNICKOVA J., 2009. *Pre-symptomatic detection of Plasmopara viticola infection in grapevine leaves using chlorophyll fluorescence imaging*. *Eur J. Plant Pathol* 125:291-302.
- [5] BASSANEZI R., AMORIUM L., BERGAMIN FILHO A., BERGER D., 2002. *Gas exchange and emission of chlorophyll fluorescence during the monocycle of rust, angular leaf spot and anthracnose on bean leaves as a function of their trophic characteristics*. *J. Phytopathol.*, 150: 37-47.
- [6] NOGUES S., COTXARRERA L., ALEGRE L., TRILLAS M., 2002. *Limitations to photosynthesis in tomato leaves induced by Fusarium wilt*. *New Phytol.*, 154: 461-470.
- [7] ROTENBERG D., MACGUIDWIN A., SAEED I., ROUSE D., 2004. *Interaction of spatially separated Pratylenchus penetrans and Verticillium dahliae on potato measured by impaired photosynthesis*. *Plant Pathol.*, 53: 294-302.
- [8] LICHTENTHALER H., RINDERLE U., 1988. *The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants*. *Crit. Rev. Analyt. Chem.*, 19: 529-585.
- [9] MAXELL K., JOHNSON G., 2000. *Chlorophyll fluorescence – a practical guide*. *J. Exp. Bot.*, 51: 659-668.
- [10] BAKER N.R. AND ROSENQVIST E. 2004. *Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities*. *J. Exp. Bot* 55:1607-1621.
- [11] KAUTSKY H., HIRSCH A., 1931. *Neue Versuche zur Kohlensäure-assimilation*. *Naturwiss.*, 19:964-964.
- [12] GENTY B., HARBINSON J., BRIANTAIS J., BAKER N., 1990. *The relationship between non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and the rate of photosystem 2 photochemistry in leaves*. *Photosynth. Res.*, 25: 249-257.
- [13] BJORKMAN O., DEMMING B., 1987. *Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins*. *Planta*, 170: 489-504.
- [14] SCHREIBER U., KUHL M., KLIMANT I. and REISING H. (1996) *Measurement of chlorophyll fluorescence within leaves using a modified PAM fluorometer with a fiber-optic microprobe*. *Photosynth. Res.*, 47: 103-109.
- [15] KRAUSE G., JAHNS P., 2003. *Pulse Amplitude modulated chlorophyll fluorometry and its application in plant science*. Green B and Parson W (eds) *Light Harvesting Antennas*, pp. 373-399, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [16] LAI A., BACCHETTA L., PICCINELLI D., TOMPETRINI S., PINELLI P., BERNARDINI C., TRIOLO L., LORETO F., 2004. *Evaluation of physiological parameters as response to abiotic stresses in Arbutus unedo and development of protocol for in vitro propagation*. *Italus Hortus*, 11: 123-127.
- [17] NEDBAL L., SOUKUPOVA J., WHITMARSH J., TRTLEK M., 2000. *Postharvest imaging of chlorophyll fluorescence from lemons can be used to predict fruit quality*. *Photosynthetica*, 38: 571-579.
- [18] PSHIBYTKO N., ZENEVICH L., KABASHNIKOVA L. (2006). *Change in the photosynthetic apparatus during fusarium wilt of tomato*. *Russ. J. Physiol.*, 53: 25-31.
- [19] NOGUES S., COTXARRERA L., ALEGRE L., TRILLAS M. (2002). *Limitations to photosynthesis in tomato leaves induced by Fusarium wilt*. *New Phytol.*, 154: 461-470.
- [20] MEYER S., SACCARDY-ADJI K., RIZZA F., GENTY B., 2001. *Inhibition of photosynthesis by Colletotricum lindemuthianum in bean leaves determined by chlorophyll fluorescence imaging*. *Plant Cell Envir.* 24: 947-955.
- [21] OXBOROUGH K., 2004. *Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance*. *J. Exp. Bot.*, 45: 1195-1205.
- [22] SIGHICELLI M., F. COLAO, S. PATSAEVA and A. LAI. 2008. *Monitoring Post-Harvest Orange Fruit Disease By Fluorescence And Reflectance Hyperspectral Imaging*. *Acta Horticulturae* N.817, 277-284.
- [23] CHAERLE L., HAGENBEEK D., DE BRUYNE E., VALCHE R., VAN DER STRAETEN D., 2004. *Thermal and chlorophyll-fluorescence imaging distinguish plant-pathogen interactions at an early stage*. *Plant Cell Physiol.*, 45: 887-896.
- [24] SIGHICELLI M., HASSAN M., VALENTE F. and LAI A. 2009. *Analysis and monitoring of stress in plants by Imaging PAM Chlorophyll Fluorescence*. 29th EARSeL Symposium: Imagin(e)g Europe 15-18/06/2009.
- [25] RODRIGUEZ MORENO L., PINED M., SOUKUPOVA J., MACHO AP., BEUZON CR., BARON M., RAMOS C., 2008. *Early detection of bean infection by Pseudomonas syringae in asymptomatic leaf areas using chlorophyll fluorescence imaging*. *Photosynth Res* 96:27-35.
- [26] BARBAGALLO R.P., OXBOROUGH K., PALLETT K.F., BAKER N.R., 2003. *Rapid non invasive screening for perturbation of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging*. *Plant Physiology* 132:485-493.
- [27] LAI A., SIGHICELLI M., ALIOTO D., D'AQUINO L., 2009. *Imaging PAM fluorescence to evaluate virus attack in Datura stramonium L.* 2nd Plant Ecophysiology Workshop Chlorophyll Fluorescence: from theory to (good) practice. 25-26/06/2009.
- [28] WEST J., BIDDULPH J., FITT B., GLADDERS P., 1999. *Epidemiology of Leptosphaeria maculans in relation to forecasting stem canker severity on winter oilseed rape in the UK*. *Ann. Appl. Biol.*, 135: 535-546.
- [29] POISSON B., PERES A. (1999). *Study of rapeseed susceptibility to primary contamination of Leptosphaeria maculans in relation plant vegetative stage*. Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress, 1999. Canberra, Australia. <http://www.regional.org.au/papers/index.htm>
- [30] HAMMOND K., LEWIS B., 1987. *Variation in stem infections caused by aggressive and non-aggressive isolates of Leptosphaeria maculans on Brassica napus var. oleifera*. *Plant Pathol.*, 36: 53-65.
- [31] BANSAL K., KHARBANDA P., STRINGAM G., THIAGARAJAH M., TEWARI J., 1994. *A comparison of greenhouse and field screening methods for blackleg resistance in doubled haploid lines of Brassica napus*. *Plant Dis.*, 78: 276-281.
- [32] POMAR F., NOVO M., BERDAL M., MERINO F., ROS BARCELÓ A., 2004. *Change in stem lignins (monomer composition and crosslinking) and peroxidase are related with the maintenance of leaf photosynthetic integrity during Verticillium wilt in Capsicum annuum*. *New Phytolog.*, 163: 111-123.



Idrometallurgia delle polveri provenienti dalle acciaierie elettriche

Una proposta per il recupero del ferro e dello zinco in modo efficiente

Le polveri provenienti dall'industria che produce acciai al carbonio ed utilizza il forno elettrico ad arco (polveri FEA) contengono quantità variabili ma elevate di metalli riciclabili come ferro e zinco; tuttavia queste polveri non possono essere processate direttamente in impianti tradizionali di tipo termico (es. forni Waelz) o chimico (es. Ezinex®) per la loro particolare composizione e per la presenza della zinco-ferrite. In questo lavoro, a valle di uno studio condotto sui principali processi idrometallurgici disponibili, è stato proposto uno schema per il recupero dello zinco e del ferro per via chimica mediante metodologia SRE (Selective Reactive Extraction) e la decomposizione della zinco-ferrite utilizzando reattivi riciclabili ed a basso impatto ambientale. Lo schema è teoricamente compatibile con il processo Ezinex® e permette il recupero della maggior parte del ferro riciclabile (Fe_2O_3) e dello zinco la riduzione al minimo del quantitativo di residui prodotti

■ *Francesco Baldassarre, con il contributo di Giuseppe Devincenzis e Pietro Garzone e la collaborazione di Giuseppe Chita per lo studio cristallografico delle polveri*

Powders produced by iron metallurgy industry and using the electric arc furnace (EAF), contain variable but large quantities of recyclable metals such as iron and zinc. Nevertheless these powders cannot be processed directly in traditional pyro metallurgical plant (ex. Waelz) or hydrometallurgical plant (ex. Ezinex®) for their particular composition and for the presence of zinc ferrite. In this work, downstream of a study made on the main hydrometallurgical processes has been proposed a scheme for the recovery of zinc and iron by chemical methods using SRE (Selective Reactive Extraction) and the decomposition of zinc ferrite using reusable reagents and with low environmental impact. The scheme is theoretically compatible with the Ezinex® process and allows the recovery of most of the recycled iron (Fe_2O_3) and zinc, minimizing the amount of residue products

■ **Francesco Baldassarre, Giuseppe Devincenzis, Pietro Garzone**
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie

■ **Giuseppe Chita**
CNR, Istituto di Cristallografia (Bari)

Introduzione

Nell'industria metallurgica si producono notevoli quantità di effluenti solidi (polveri e scorie) contenenti alte percentuali di metalli. Nelle "acciaierie elettriche" che si basano sull'impiego del "forno elettrico ad arco" (FEA), il materiale di partenza per la produzione dell'acciaio non è il minerale ma il rottame che viene fuso in specia-

li forni a temperature superiori a 1.600 °C ed i metalli nel processo non vengono distrutti ma si trasferiscono nelle varie correnti, trasportati nei sistemi di filtrazione dei fumi di combustione e ridistribuiti nei residui. La possibilità di recupero e riutilizzo di questi metalli può consentire di abbattere i costi impiantistici di gestione ed una riduzione del loro impatto nell'ambiente (emissioni, discariche). Inoltre la conoscenza approfondita della composizione della matrice consente di sviluppare dei processi mirati ed ottimizzare il quantitativo di reagenti utilizzati, condizione questa necessaria affinché un processo possa essere sviluppato con il minimo impatto ambientale ed il minimo esborso economico. I maggiori ostacoli che hanno impedito lo sviluppo di processi industriali capaci di risolvere in maniera definitiva questo tipo di problematica sono la particolare composizione chimica, la disomogeneità di queste matrici e la presenza di alte percentuali di zinco ferrite: la disomogeneità nella composizione diventa un importante fattore di cui tener conto nello sviluppo di una nuova metodologia. In questo studio è stato analizzato lo stato tecnologico relativo al recupero idrometallurgico dei metalli riciclabili dalle polveri trattenute dal sistema di abbattimento fumi derivanti dalla produzione dell'acciaio al carbonio e proposto uno schema per il recupero di zinco e del ferro con metodologia *Selective Reactive Extraction* (SRE) e decomposizione della zinco-ferrite utilizzando reattivi riciclabili, facilmente disponibili ed a basso impatto ambientale, evitando processi di lisciviazioni con acidi minerali concentrati. Nello specifico considerando le caratteristiche chimiche delle polveri, lo schema ipotizzato si propone come una integrazione o una modifica di un processo industriale già esistente per il recupero per via chimica dello zinco (processo Ezinex®), con una serie di procedure finalizzate alla decomposizione della zinco-ferrite, permettendo il recupero della maggior parte del ferro, riciclabile nelle acciaierie stesse (Ematite, Fe₂O₃), un ulteriore recupero dello zinco e la riduzione al minimo del quantitativo di residui prodotti.

Tecnologie di trattamento e composizione delle polveri negli impianti siderurgici

Le tecnologie di trattamento delle polveri negli impianti siderurgici sono differenti; attualmente si adottano quattro diversi criteri di classificazione basati su:

1. scopo del trattamento (recupero dei metalli contenuti);

Composti	Polveri da acciaio al carbonio (% in peso)	Polveri da acciaio inossidabile (% in peso)
Fe	25-50	25-40
CaO	4-15	5-17
MgO	1-5	1-5
Al ₂ O ₃	0,3-0,7	1-4
SiO ₂	1,5-5	7-10
P ₂ O ₅	0,2-0,6	0,01-0,1
MnO	2,5-5,5	3-6
Cr ₂ O ₃	0,2-1	10-20
Na ₂ O	1,5-1,9	-
K ₂ O	1,2-1,5	-
Zn	10-35	2-20
Pb	0,8-6	0,5-2
Cd	0,02-0,1	0,01-0,08
Cu	0,15-0,4	0,01-0,3
Ni	0,02-0,04	2-4
V	0,02-0,05	0,1-0,3
Hg	0,0001	-
Cl	1,5-4	-
F	0,02-0,09	0,01-0,05
S	0,5-1	0,1-0,3

TABELLA 1 Composizione media delle polveri ottenute dalla produzione di diversi acciai
Source: C. Raggio^[2]

2. scala di impianto e localizzazione (taglia e dimensioni del bacino di utenza);
3. prodotti recuperati (ferrosi, zinciferi, ossidi, zinco e sali di zinco);
4. tipo di processo (pirometallurgico, idrometallurgico, piro-idrometallurgico).

Consideriamo i punti 1) e 3) e facciamo riferimento al processo idrometallurgico del punto 4). Tipologia di prodotti recuperati: allo stato attuale i processi di tipo termico sono più adatti al recupero di prodotti ferrosi, mentre i processi idrometallurgici valorizzano meglio i prodotti zinciferi o altri metalli presenti in piccole quantità, ma di elevato valore economico (es. Ni, Cr). Per quanto riguarda la composizione media di queste polveri è necessario distinguere la tipologia di processo dalle quali esse derivano in quanto differiscono in alcuni elementi come indicato nella tabella 1.

In Italia circa il 50% di queste polveri viene trattata, in idonei forni, mediante il processo termico Waelz per il

recupero dello zinco, mentre il resto va in discarica per rifiuti tossico-nocivi con notevoli costi di smaltimento.

Processi idrometallurgici

Negli impianti “primari” di produzione dello zinco elettrolitico è prevista la dissoluzione dei minerali di zinco in acido solforico (lisciviazione), purificazione della soluzione mediante cementazione con polvere di zinco ed elettrolisi finale delle soluzioni solforiche. Questa procedura è adatta a minerali dello zinco di qualsiasi origine, in quanto trattasi di materiale omogeneo, e la tecnologia è adattabile alla naturale ma piccola variazione in composizione del minerale stesso. Se al posto del minerale utilizziamo materiali secondari (sottoprodotti, rifiuti o altro) poco omogenei e con impurezze indeterminate, allora questa metodologia di produzione dello zinco non è direttamente e facilmente applicabile. Infatti, come si può vedere dalla tabella 2, la polvere FEA (proveniente da acciaieria) e il calcinato (proveniente dal minerale) differiscono nella composizione.

Elemento	Polvere FEA	Calcinato (dopo arrostitimento)	Blende (solforati)
Zn _{tot} %	23,2	61,6	52,5
Fe _{tot} %	28,9	7,91	6,7
Pb %	4,2	2,24	1,9
CaO %	5	0,81	0,7
S _{tot} %	0,4	-	31
C %	1,1	-	-
SiO ₂ %	3,6	2,37	2
Mn %	4,2	0,44	0,4
Cu %	0,3	0,72	0,6
Sn %	0,1	0,05	0,04
Cd %	0,1	0,72	0,6
MgO %	3,9	0,33	0,3
As g/tonn	135	17.805	15.000
Sb g/tonn	23	712	600
Co g/tonn	41	18	15
Ni g/tonn	467	36	30
Cl g/tonn	40.000	50	300
F g/tonn	4.000	10	150

TABELLA 2 Composizione chimica delle polveri di diversa origine
Source: APAT¹¹

L'estrazione dello zinco dalle polveri FEA passa attraverso un ciclo simile (estrazione con agente lisciviante o solvente, purificazione ed elettrolisi per la produzione di zinco e fusione in lingotti). In questo caso, però, la metodologia di estrazione per le differenze in composizione può essere differente e complessa; inoltre la bassa percentuale di zinco e la presenza di quantità superiori di alcuni elementi (alcalino-terrosi, Si, Mn, Pb) comporta in generale maggiori costi di esercizio. In tutti i casi il ferro, durante l'arrostitimento del minerale (blende) e per le alte temperature di processo (nei forni FEA), si lega allo zinco formando ferriti di zinco o “spinelli” resistenti all'attacco con acido solforico diluito. Uno dei problemi maggiori relativi alle polveri FEA è proprio l'alto contenuto di zinco-ferrite (stabile) e questo rende assai difficoltosa la rimozione e il recupero dello zinco dalle polveri.

La dissoluzione della zinco-ferrite avviene mediante l'utilizzo di acido solforico concentrato (200 g/L), ma ciò comporta anche la dissoluzione di altri elementi come il piombo ed il ferro; il ferro solubile diventa difficilmente eliminabile dalla soluzione. I metodi tradizionali di rimozione del ferro in soluzione si basano sui classici meccanismi di precipitazione nella forma di Jarosite ($K_2Fe_6(SO_4)_4(OH)_{12}$), Goethite ($FeO(OH)$), Ematite (Fe_2O_3). Tutti questi processi avvengono attraverso reazioni di ossido-riduzione e generano residui solidi di basso valore commerciale ed inoltre la precipitazione del ferro nelle due forme Jarosite e Goethite sottrae zinco a causa della coprecipitazione, e questo può rappresentare un inconveniente. Una lisciviazione blanda con acido solforico diluito minimizza il problema del ferro, ma non quello del piombo, che permane nel residuo. In conclusione, l'applicazione diretta di tecnologie idrometallurgiche convenzionali sulle polveri FEA rimane impraticabile, se non opportunamente implementata da specifiche soluzioni.

Processo Ezinex

Il processo EZINEX[®] (figura 1) si basa sulla lisciviazione diretta delle polveri con cloruro d'ammonio come agente lisciviante selettivo, in maniera tale da non portare ferro in soluzione. Gli altri metalli eventualmente presenti (Cu, Cd, Ni, Ag) reagiscono con lo stesso meccanismo, solo la ferrite e la silice non si dissolvono in questo stadio; la dissoluzione del piombo (azione complessante del cloruro) è funzione della solubilità

a seconda della temperatura di processo. La soluzione destinata alla elettrolisi nel processo Ezinex® ha una temperatura di circa 65-70 °C e la concentrazione dello Zn^{2+} è circa 10-15g/L. Il pH è compreso tra 5,8-6,5 all'inizio dell'elettrolisi; nonostante l'abbassamento del pH nel corso dell'elettrolisi, l' H^+ non si scarica a causa della sovratensione sugli elettrodi. Il processo è a basso impatto ambientale. Per purificare la soluzione viene aggiunta polvere di zinco ed il precipitato viene inviato ad un impianto raffinatore per il recupero del piombo. L'elettrolita circolante in impianto è quindi una soluzione acquosa del complesso $Zn(NH_3)_2Cl_2$. Nel processo Ezinex® un evaporatore separa i sali in eccesso che si concentrano nell'elettrolita mediante cristallizzazione. Il processo presenta vantaggi (selettività e basso impatto ambientale) ma anche svantaggi, maggiormente evidenziati quando vengono processate polveri FEA: presenza nel residuo di alte percentuali di zinco nella forma non lisciviabile (zinco ferrite), grandi quantità di residui prodotti ed un sistema di purificazione finalizzato solo al recupero del piombo. Le reazioni chimiche in soluzione ed agli elettrodi sono illustrate nel Box n.1.

Processo Ezinex modificato

Uno degli inconvenienti del processo Ezinex® è la elevata produzione di residui (circa 750 kg/tonnellata) a causa della limitata resa estrattiva dello zinco (~80%) dopo la lisciviazione, dovuta alla presenza di zinco ferrite nel residuo il cui abito cristallino è assai resistente. Nel processo Ezinex® tradizionale il recupero del ferro non è previsto. Uno dei sistemi chimici più efficaci e studiati per la decomposizione della zinco ferrite fa uso di un eccesso di $FeCl_3 \cdot 6H_2O$. Tutte le reazioni sono illustrate nel Box n. 2.

Tutto questo ci consente non soltanto di recuperare ulteriormente zinco (reagisce anche ZnO non reagito con cloruro d'ammonio) e ferro riciclabile (Ematite), ma anche di generare un ambiente di reazione sufficientemente acido (per la presenza di HCl), necessario alla successiva precipitazione a caldo del ferro in eccesso stechiometrico.

La separazione del ferro inoltre, viene eseguita prima della cementazione per minimizzare il consumo di polvere di zinco e la produzione di cementi. L'eccesso stechiometrico del ferro può essere anch'esso precipitato come Ematite successivamente in opportuna caldaia;

alternativa è possibile predisporre un sistema per recuperare il reattivo, precipitando l'eccesso di ferro come cloruro ferrico recuperandolo. Il calore della caldaia può essere opportunamente recuperato per scaldare la soluzione lisciviante. È possibile minimizzare l'impiego del sale di ferro ottimizzando l'estrazione dell'ossido di zinco nello stadio precedente, prevedendo due stadi di lisciviazione con il cloruro d'ammonio (reattivo riciclabile). Per la produzione di un residuo riutilizzabile (privo metalli tossici specie il Pb) a volte è necessario purificare ulteriormente il residuo rimuovendo il piombo non estratto nelle fasi precedenti o tracce di zinco.

Come specificato nel Box n. 2 uno specifico reagente è il Mononitritotriacetato ($HNTA^{2-}$). È evidente dalle reazioni e dalla stechiometria che quanto meno ossido di zinco è presente tanto meno complessante viene consumato; inoltre è sufficiente un piccolo aggiustamento di pH per ripristinare il complessante come si evince dall'ambiente di reazione. I solfuri prodotti (ZnS , PbS , S) sono in qualche modo riutilizzabili ed ammontano a pochi kg per tonnellata di polvere trattata. L'Ematite residua contiene insolubili come Zn_2SiO_4 , $CaSiO_3$, alluminosilicati in quantità variabili a seconda della composizione iniziale della polvere. È importante sottolineare che il processo proposto è applicabile alle polveri FEA provenienti dalla produzione di acciai normali, mentre per le polveri derivanti dalla produzione di acciaio inox è necessario prendere in considerazione anche uno schema per il recupero e la commercializzazione

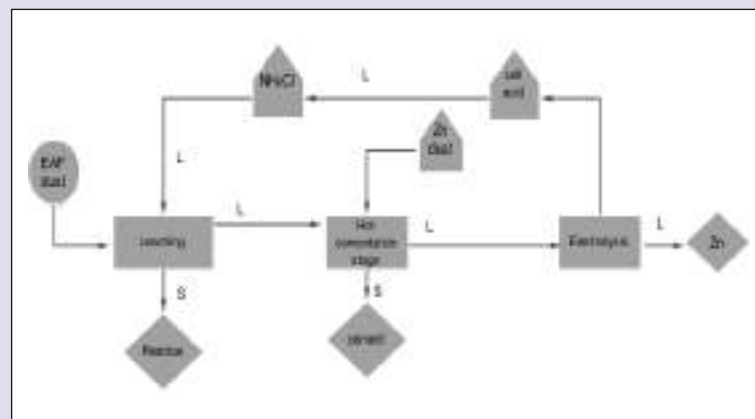


FIGURA 1 Schema a blocchi del processo Ezinex® tradizionale
Fonte: Dr. Marco Olper (Engitec Technologies SpA)⁽⁹⁾

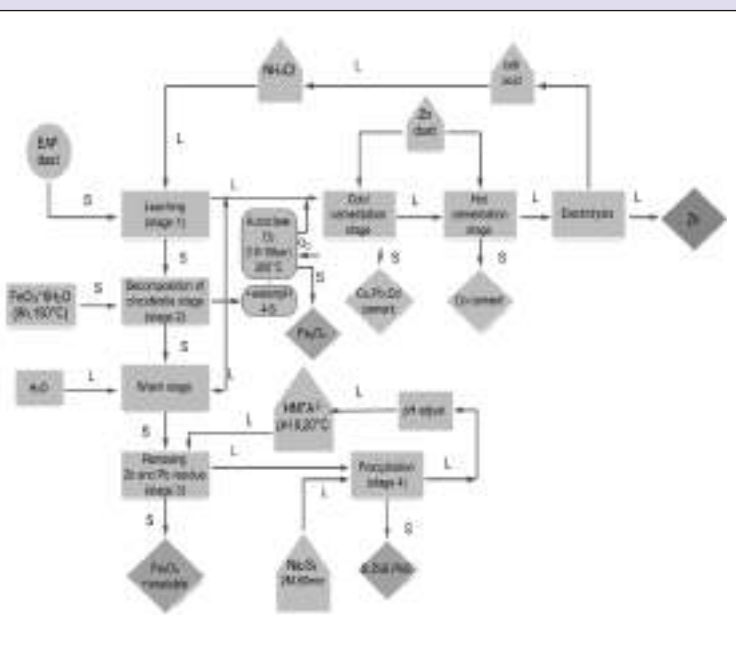


FIGURA 2 Schema a blocchi del processo Ezinex® proposto
Fonte: ENEA

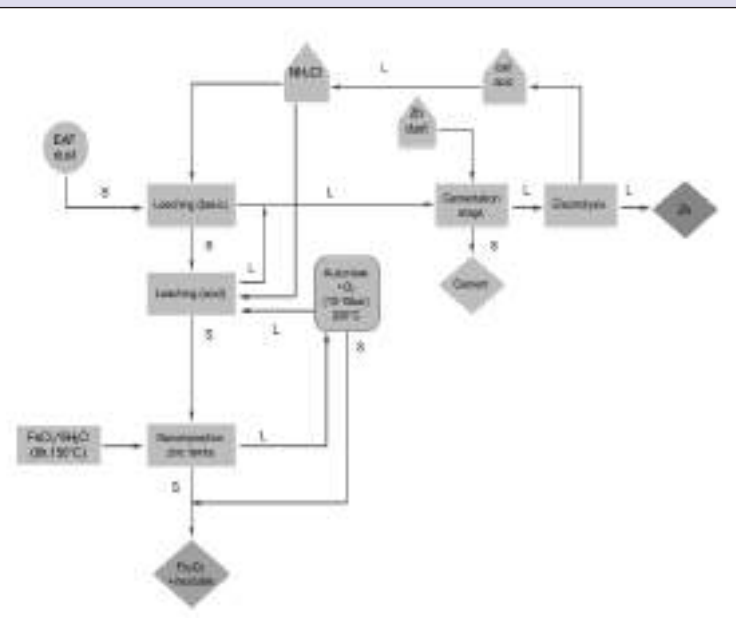


FIGURA 3 Schema Ezinex® modificato in due stadi
Fonte: ENEA

di Cr e Ni. La purificazione mediante cementazione è una fase importante e necessaria, in quanto le impurezze possono generare una serie di inconvenienti sia durante l'elettrolisi (abbassamento della efficienza in corrente, alterazione della morfologia dello zinco depositato al catodo), che nella fase successiva (formazione di schiume, incrostazioni, depositi).

La fase di purificazione con polvere di zinco in questo schema viene proposta in un doppio stadio per eliminare in maniera differenziata le impurezze metalliche, producendo cementi di composizione meno complessa e più interessanti commercialmente. In questo modo è possibile ottenere anche altri vantaggi:

- non è necessario aggiungere il rame per rimuovere il cobalto se presente;
- le piccole quantità di arsenico spesso presenti nelle soluzioni impure sono sufficienti alla attivazione della reazione;
- il processo è automatizzabile: è possibile dosare la quantità di zinco in base alla misura del potenziale di un elettrodo che è funzione della concentrazione delle impurezze in soluzione.

È stato effettuato un calcolo su 1.000 kg di polveri FEA, simulando una composizione delle polveri vicina a quella reale. I risultati (teorici) indicati in tabella 3 tengono conto dello schema proposto (figura 2), della stechiometria e delle rese delle reazioni indicate in ciascuno stage nel Box n. 2.

Uno schema alternativo a quello proposto potrebbe essere quello indicato in figura 3: teoricamente è possibile eseguire una lisciviazione in due stadi a pH leggermente acidi in cui è possibile riciclare la soluzione contenente l'HCl prodotto nello stage di decomposizione della zinco-ferrite con $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, nel secondo stadio di lisciviazione con cloruro d'ammonio. In questo modo si estraggono quantitativamente l'ossido di zinco ed il piombo, semplificando le operazioni successive di trattamento del residuo. In questo caso è possibile eliminare gli stage 3 e 4 e la fase relativa al lavaggio con acqua. Rispetto allo schema precedente, presenta il vantaggio di una maggiore economicità e semplicità operativa. Gli svantaggi sono: utilizzo di un quantitativo superiore di lisciviante, produzione di un residuo la cui composizione è più sensibile alla composizione della polvere in ingresso. La purificazione della soluzione è di tipo tradizionale (cementazione in singolo stadio a caldo).

Composto	% peso	Massa (kg)	Composizione (kg) residuo dopo stage 1 (Ezinex)	Composizione (kg) residuo dopo stage 2 (FeCl ₃)	Composizione (kg) residuo dopo stage 3+4
ZnO	20	200	40	4 (0,95%)	0,4 (0,096%)
ZnO·Fe ₂ O ₃ (zincoferrite)	22	220	220	22 (5,2%)	22 (5,3%)
PbO	4	40	4	4 (0,95%)	0,4 (0,096%)
PbSO ₄	1	10	0	0	0
CaSO ₄ ·2H ₂ O	2,5	25	0	0	0
CaO	5	50	0	0	0
MgO	2	20	0	0	0
Na ₂ O	2	20	0	0	0
K ₂ O	2	20	0	0	0
Fe ₂ O ₃	5	50	47,5	47,5	47,5
SiO ₂	10	100	100	100	100
Al ₂ O ₃	0,5	5	5	5	5
Silicati, alluminosilicati, inerti	24	240	240	240	240
Totale residuo (kg)	100	1.000	656,5	422,5	415,3

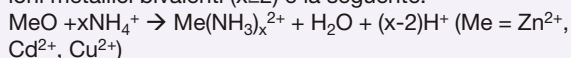
TABELLA 3 Composizione teorica delle polveri processate secondo lo schema proposto in figura 2

Fonte: ENEA

box 1

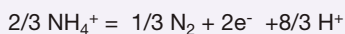
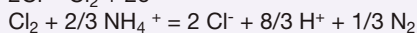
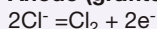
Reazioni nel processo Ezinex® tradizionale

La reazione generica in forma ionica semplificata, per ioni metallici bivalenti ($x \geq 2$) è la seguente:

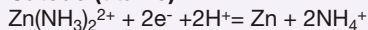


Questo processo è assai interessante in quanto permette una estrazione selettiva dello zinco in celle senza sviluppo di cloro: si ossida il cloruro d'ammonio, ma la formazione di azoto passa attraverso la formazione di cloro gassoso, il quale reagisce con l'ammonio in soluzione producendo cloruro d'ammonio; in questo modo è possibile lavorare ad un potenziale più basso rispetto all'equivalente elettrolisi di una soluzione di solfato di zinco in cui è coinvolto l'ossigeno (depolarizza l'anodo). Agli elettrodi:

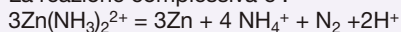
Anodo (grafite)



Catodo (titanio)



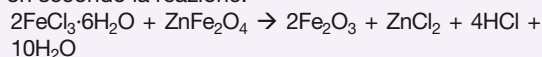
La reazione complessiva è:



box 2

Processo Ezinex® modificato

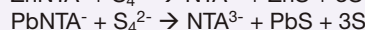
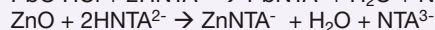
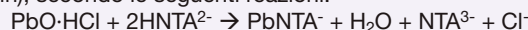
Per la decomposizione della zinco-ferrite si fa uso di un eccesso stechiometrico di FeCl₃·6H₂O a 150°C per 6~8h secondo la reazione:



Secondariamente:



Un reagente complessante efficace e riciclabile (mediante acidificazione) è l'HNTA²⁻/NTA³⁻ (mononitritotriacetato, pH 8, 20°C) in combinazione con Na₂S₄ 2M (60 min), secondo le seguenti reazioni:



Le reazioni in ciascuno stage sono:

stage 1: $\text{ZnO} + 4\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ (resa media dell'80%, processo Ezinex®)

stage 2: $4\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{ZnFe}_2\text{O}_4 + \text{ZnO} \rightarrow 3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{ZnCl}_2 + 8\text{HCl} + 20\text{H}_2\text{O}$ (resa media 90%)

stage 3: $\text{PbO} + \text{ZnO} + 4\text{HNTA}^{2-} \rightarrow \text{PbNTA}^- + \text{ZnNTA}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NTA}^{2-}$ (resa media 90%)

stage 4: $\text{PbNTA}^- + \text{ZnNTA}^- + 2\text{S}_4^{2-} \rightarrow 2\text{NTA}^{3-} + 6\text{S} + \text{ZnS} + \text{PbS}$ (resa media 90%)

Conclusioni

La tecnologia di stabilizzazione/vetrificazione non contempla recuperi o riciclo delle polveri e richiede inoltre elevati consumi elettrici. Il processo termico Waelz non recupera ferro o altri elementi, inoltre non è idoneo per polveri FEA.

Gli impianti di tipo idrometallurgico sinora realizzati presentano tutti degli svantaggi e sono di piccola taglia; risulta inoltre critico il riciclo dei reattivi ed il recupero di ogni elemento di valore. Secondo lo schema proposto in figura 2 è possibile processare polveri contenenti percentuali variabili di zinco-ferriti e piombo e ridurre il quantitativo di residui: in base alle reazioni ed alle rese è ipotizzabile in teoria un abbattimento del 36%

in peso dei residui, la rimozione del 99,5% del ZnO e la decomposizione del 90% della zinco-ferrite, eliminando una parte degli svantaggi del processo Ezinex®. In alternativa è possibile effettuare una lisciviazione in doppio stadio con cloruro d'ammonio in ambiente blandamente acido anch'esso facilmente integrabile nel processo Ezinex® tradizionale; in questo caso però è più difficile prevedere un bilancio, in quanto strettamente legato al grado di riciclo dei reagenti.

Il recupero totale dello zinco ed il riutilizzo dei residui, se concretamente realizzati, possono rappresentare un importante passo in avanti verso il raggiungimento dell'obiettivo zero waste. ●

bibliografia

- [1] Rapporto APAT 38 (2003), *Il ciclo industriale dell'acciaio da forno elettrico in Italia*. ISBN 88-448-0112-4.
- [2] C. Raggio (2004), *La tecnologia del recupero polveri degli impianti metallurgici: una panoramica sui processi, memoria presentata alla giornata di studio Emissioni di Polveri e Fumi*, Brescia.
- [3] Tomas Havlik, Martina Turzakova, Srecko Stopic, Bernd Friedrich (2005), *Atmospheric leaching of EAF dust with diluted sulphuric acid*. Hydrometallurgy 77, pp 41-50, Elsevier.
- [4] Tomas Havlik, Bernd Friedrich, Srecko Stopic (2004), *Pressure Leaching of EAF Dust with Sulphuric Acid*. World of Metallurgy – ERZMETALL 57, No. 2.
- [5] M. Cruells, A. Roca and C. Nunez (1992), *Electric arc furnace flue dusts: characterization and leaching with sulphuric acid*. Hydrometallurgy 31, pp 213-231, Elsevier.
- [6] Ulmann's (2007), *Encyclopedia of industrial chemistry*, Wiley.
- [7] Fillippou D. (2004), *Innovative hydrometallurgical processes for the primary processing of zinc*. Miner. Process. Extr. Metall. Rev. 25, pp.205-252, Maney Publishing.
- [8] Dr. Marco Olper (1998), *The ezinex process - five years of development from bench scale to a commercial plant*. Zinc and Lead processing CIM, Calgary, Alberta Canada.
- [9] Dr. Oliviero Lanzani, Dr. Marco Olper, Dr. Massimo Maccagni - Engitec Group (1999), *The Ezinex® process - an innovative approach for the crude zinc oxide/EAF dust treatment*. Cleaner production workshop in Taiwan - Recycling of wastes in EAF Steel Mill/Stainless Steel Mills, Kaoshiung, Taiwan ROC.
- [10] K. Jha, V. Kumar, R.J. Singh (2001), *Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes*. Resources Conservation & Recycling 33, pp 1-22, Elsevier.
- [11] Dr M. Olper, Dr M. Maccagni (2001), *Electrolytic Zinc Production from Crude Zinc Oxides with the EZINEX® Process*. Electrometallurgy - CIM Conference; August 18th-21st, 2001; Toronto, Canada.
- [12] Loris Bianco (2008), *Zero waste esperienza di un'acciaieria elettrica*, (parte I e II).
- [13] Sarka Langová, Juraj Lesko, Dalibor Matysek (2009), *Selective leaching of zinc from zinc ferrite with hydrochloric acid*. Hydrometallurgy 95, pp 179-182, Elsevier.
- [14] N. Leclerc, E. Meux, Jean-Marie Lecuire (2003), *Hydrometallurgical extraction of zinc from zinc ferrites*. Hydrometallurgy 70, pp 175-183, Elsevier.
- [15] Nathalie Leclerc, Eric Meux, Jean-Marie Lecuire (2002), *Hydrometallurgical recovery of zinc and lead from electric arc furnace dust using mononitritriacetate anion and hexahydrated ferric chloride*. Journal of Hazardous Materials B91, pp 257-270, Elsevier.
- [16] Hydrometallurgical principles (2001), *Encyclopedia of materials: Science and Technology*, ISBN: 0-08-0431526, pp 3976-3982, ELSEVIER SCIENCE Ltd.
- [17] S. Schlumberger, M. Schuster, S. Ringmann, R. Koralewska (2007), *Recovery of high purity zinc from filter ash produced during the thermal treatment of waste and inerting of residual materials*. Waste Management&Research 25 (6), pp 547-555. Elsevier.
- [18] Haldun Kurama, F. Goktepe (2003), *Recovery of zinc from waste material using hydrometallurgical processes*. Environmental Progress 22 (3), pp 161-166. Wiley.
- [19] Teresa Pecina, Telhma Franco, Pedro Castillo, Erasmo Orrantia (2008), *Leaching of a zinc concentrate in H₂SO₄ solutions containing H₂O₂ and complexing agents*. Minerals Engineering, 21, pp 23-30. Elsevier.
- [20] F. Baldassarre, P. Bruno, M. Caselli, P. Ielpo, G. Cornacchia, A. Canonico, G. Chita (2008), *Recovery of zinc from ashes of automobile tire wastes by pH controller solutions of ammonium chloride*. Environmental Science, An Indian Journal. ESAIJ,3(2), pp 206-211. Trade Science Inc.



dal
Mondo

Molti gli eventi e le iniziative a livello internazionale prevalentemente collegate alla celebrazione dell'anno delle foreste, ma soprattutto in preparazione della Conferenza mondiale delle Nazioni Unite sullo sviluppo sostenibile del 2012, detta Rio+20. In questo contesto va segnalato sia il *Summit Mondiale sul Futuro dell'Energia*, tenuto ad Abu Dhabi dal 16 al 19 gennaio, durante il quale si è discusso dello sviluppo di una green economy basata sulle energie rinnovabili e le tecnologie per un uso più efficiente dell'energia prodotta, riducendo gli impatti sull'ambiente, sia il *Forum Economico Mondiale* tenuto a Davos dal 26 al 31 gennaio scorso, durante il quale si è discusso, tra l'altro, dell'etica e della responsabilità della finanza alla luce dei nuovi problemi di sviluppo sostenibile e dei nuovi modi di pianificare la crescita economica e di gestire le risorse finanziarie per convergere verso una green economy.

L'OECD (l'Organizzazione dei paesi più industrializzati per la cooperazione e lo

sviluppo economico) sta focalizzando l'attenzione sulla *OECD Green Growth Strategy* ed in questo ambito ha tenuto riunioni e un workshop il 10 e 11 febbraio per elaborare un rapporto specifico sulla crescita verde da presentare alle Nazioni Unite e da portare in discussione a Rio+20.

Dal canto loro, le Nazioni Unite stanno lavorando intensamente alla preparazione di Rio+20, attraverso una apposita Commissione (*UN PrepCom*) che ha effettuato il 7 e 8 marzo la seconda riunione preparatoria nella quale si è discusso, tra l'altro, di quale quadro di riferimento istituzionale bisogna adottare, a livello intergovernativo mondiale, per conseguire lo sviluppo sostenibile e la transizione verso la *green economy*. La Commissione sullo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (*UN CSD*) ha invece preso in considerazione prioritaria le nuove modalità di produzione efficiente e di consumi sostenibili, formulando una proposta che verrà portata in discussione nelle prossime riunioni del corrente anno.

Per quanto riguarda specificamente la green economy e come attuarla, l'UNEP (l'Agenzia delle Nazioni Unite per l'ambiente), nel corso del Forum ministeriale sull'ambiente globale, tenuto a Nairobi dal 21 al 24 febbraio scorso, ha presentato il rapporto *Toward a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication*.

Il rapporto descrive le scelte politiche, le azioni necessarie e gli investimenti economici da attuare per raggiungere l'obiettivo di una società globale a basse emissioni di anidride carbonica, ad alta efficienza nell'uso delle risorse naturali e con una crescita economica sostenibile. In tale rapporto si afferma che la green economy non è un freno allo sviluppo socio-economico, ma un impulso ad una crescita diversa da quella attuale che, come noto, fa riferimento al PIL (prodotto interno lordo) ed ha mostrato tutti i suoi limiti, sia nell'uso non sostenibile dell'ambiente e delle risorse naturali, sia nella incapacità di eliminare le disuguaglianze fra i popoli e le iniquità sociali. Un apposito Comitato di esperti dell'UNEP (*UNEP International Resource Panel*) sta nel frattempo analizzando le modalità per disaccoppiare le necessità di crescita economica e del benessere sociale dall'uso progressivo delle risorse

naturali e dal continuo aumento degli impatti delle attività umane sull'ambiente globale.

Oltre questi grandi eventi internazionali, va segnalato il primo incontro, tenutosi il 28 e 29 aprile a Città del Messico, del Comitato Temporaneo per la definizione operativa del *Green Climate Fund* nell'ambito della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC). Il Green Climate Fund, deciso nell'ultima Conferenza UNFCCC di Cancun del 2010, è il fondo di 100 miliardi di dollari l'anno che i paesi industrializzati si sono impegnati a rendere disponibile entro il 2020 per aiutare i paesi più poveri nei loro impegni di sviluppo pulito e nei loro programmi di prevenzione delle conseguenze negative dei cambiamenti del clima.

Va inoltre menzionato il simposio Italia-Stati Uniti *Global Energy 2011* che, anche se inevitabilmente influenzato dagli sviluppi degli eventi in Giappone, ha confermato la stretta cooperazione fra i due paesi sulle sfide che l'attualità internazionale pone alle politiche di approvvigionamento energetico.

Infine, nel campo dell'energia, va evidenziato il Rapporto della Pew Charitable Trust che ha rilevato, nel 2010, un incremento del 30% degli investimenti mondiali nelle energie rinnovabili. Maggiore della media appare l'incremento degli investimenti cinesi, che rispetto al 2009 risultano essere cresciuti del 39%. Grandi passi in avanti sono stati compiuti da altri paesi, quali ad esempio la Germania, divenuta seconda leader mondiale a discapito degli Stati Uniti. Tuttavia, la Cina è diventata anche la prima produttrice mondiale di anidride carbonica, i cui livelli di emissione hanno raggiunto circa 8 miliardi di tonnellate per anno, ben superiori a quelli degli USA (attorno a 5,5 miliardi di tonnellate per anno) e pari a circa un quarto delle emissioni mondiali. Per quanto riguarda lo sviluppo tecnologico, nell'ultima classifica internazionale stilata dall'ITU (l'Agenzia delle Nazioni Unite per le telecomunicazioni), la Corea è risultata al primo posto mondiale tra i paesi del G20 in relazione alle nuove tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) e al terzo posto assoluto mondiale per lo sviluppo tecnologico dopo Svezia e Lussemburgo.

(Paola Cicchetti)



dall'
Unione Europea

Nel periodo gennaio-aprile 2011, La Commissione Europea ha svolto un intenso lavoro sui temi dell'energia, dell'ambiente e dell'innovazione.

Le principali iniziative riguardano:

- la Comunicazione del 26 gennaio, su una Europa efficiente nell'impiego delle risorse, nell'ambito della strategia Europa 2020 per la crescita e l'occupazione;
- la Comunicazione del 2 febbraio: "Affrontare le sfide relative ai mercati dei prodotti di base e alle materie prime" che prevede misure mirate per garantire e migliorare l'accesso alle materie prime da parte dell'UE;
- la Comunicazione del 8 marzo 2011: "Una tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050" che descrive come sarà possibile conseguire entro il 2050, in maniera economicamente sostenibile, nelle diverse politiche settoriali, l'obiettivo dell'UE di ridurre le emissioni di gas a effetto serra dell'80-95% rispetto ai livelli del 1990;
- la *Nuova Strategia sulla biodiversità* (presentata il 3 maggio), per proteggere e migliorare la biodiversità in Europa nel prossimo decennio: la strategia, che vincola le principali politiche settoriali a tener conto anche della protezione della biodiversità, si basa su sei obiettivi che dovranno portare entro il 2020 a ridurre la pressione delle attività umane sugli ecosistemi naturali e sullo sfruttamento dei servizi ecosistemici;
- il *Libro Verde della ricerca e dell'innovazione*: "Trasformare le sfide in opportunità, un Quadro strategico comune per il finanziamento della ricerca e dell'innovazione dell'Unione Europea", presentato il 9 febbraio, con l'obiettivo di costituire, nell'ambito dell'attuale programma quadro della ricerca (7^o PQ), un insieme coerente di strumenti di finanziamento lungo l'intera catena dell'innovazione, dalla ricerca fondamentale fino all'immissione sul mercato di prodotti. Il Libro Verde è stato posto on-line per una consultazione pubblica con scadenza il 20 maggio. L'esito della consultazione sarà analizzato il 10 giugno 2011;
- il *Libro Bianco sui trasporti*, presentato il 28 marzo, che fornisce indicazioni per rendere i trasporti, e le relative infrastrutture, più sostenibili nei prossimi dieci anni e per ridurre la dipendenza dell'Europa dalle importazioni di petrolio, abbattendo, nel contempo, le emissioni di anidride carbonica dai trasporti del 60% entro il 2050.

Tra le azioni svolte dalla Commissione, vanno evidenziate:

- il rapporto, presentato il 1 febbraio, riguardante il *Quadro Europeo di Valutazione dell'Innovazione 2010*, alla sua prima edizione, che si basa su 25 indicatori relativi a ricerca e innovazione e considera i 27 Stati membri dell'UE, la Croazia, la Serbia, la Turchia, l'Islanda, la Norvegia e la Svizzera. Il confronto tra gli indicatori di UE-27, USA e Giappone evidenzia che l'Unione non riesce a colmare il divario nelle prestazioni in materia d'innovazione che la separa dai suoi principali concorrenti;
- la revisione di medio termine del 9 febbraio sulle *Key Enabling Technologies* (KET tra cui fotonica, micro e nanoelettronica, nanotecnologie, materiali avanzati, biotecnologie industriali) svolta da un apposito Gruppo di esperti per analizzare e valutare: la situazione concorrenziale di tali tecnologie nell'Unione europea e le capacità della ricerca pubblica e privata di sviluppare le KET; le possibili raccomandazioni politiche per una efficace penetrazione delle KET nelle attività industriali;
- un pacchetto di due proposte legislative (presentato il 13 aprile), nell'ambito dell'Atto per il mercato unico e nel quadro della cooperazione rafforzata, che contribuiranno a ridurre radicalmente i costi dei brevetti in Europa fin dell'80%. La nuova normativa consentirà di tutelare le invenzioni mediante un brevetto europeo unico valido in 25 Stati membri. Le proposte saranno sottoposte all'esame del Parlamento europeo e del Consiglio;
- una proposta (adottata il 7 marzo) di prolungamento del programma Euratom 2007-2011, per allinearla alla

durata del VII Programma Quadro. Il Consiglio dovrebbe decidere entro la fine dell'anno. È previsto un budget di 2,5 miliardi di euro per il periodo 2012-2013, con poco più di 2,2 miliardi (86% del totale) per la ricerca sulla fusione nucleare ed il reattore sperimentale ITER;

- l'accordo di cooperazione strategica tra la Commissione Europea e l'UNEP (l'Agenzia delle Nazioni Unite per l'ambiente) in materia di ambiente e gestione sostenibile delle risorse naturali, incluse le risorse energetiche, firmato il 16 febbraio. In seguito saranno definiti i progetti da avviare e le modalità di finanziamento.

Infine, la Commissione Europea ha avviato una serie di pubbliche consultazioni, oltre quella già precedentemente citata sul Libro Verde della ricerca e dell'innovazione. In particolare il 14 ed il 22 febbraio sono state avviate due consultazioni in materia di ambiente, di cui una riguardante la *Roadmap* della UE sull'uso efficiente delle risorse, l'altra relativa alla posizione che la UE dovrà assumere nella Conferenza Rio+20. Il 22 febbraio è stata avviata anche una consultazione sulla bioeconomia, mentre il 14 aprile è stata lanciata una pubblica consultazione sulla futura strategia - sino al 2020 - del costituendo Istituto Europeo di Innovazione e Tecnologia (EIT). Tra i lavori del Consiglio Europeo va segnalata la manifestazione condivisa, espressa il 4 febbraio scorso, di tre impegni: uno riguardante l'esigenza di procedere verso un reale mercato unico europeo dell'energia entro il 2014, modernizzando le infrastrutture energetiche dell'Europa, l'altro riguardante un approccio integrato per l'innovazione tecnologica a vantaggio soprattutto delle piccole e medie imprese e dei ricercatori. Il terzo riguardante lo spazio europeo della ricerca da attuarsi entro il 2014 con il concorso di investimenti privati in prodotti e servizi innovativi. Altro impegno condiviso è stato espresso dal Consiglio europeo nella riunione del 24-25 marzo sulla esigenza di riesaminare la sicurezza di tutte le centrali nucleari dell'UE, attraverso una valutazione esauriente e trasparente dei rischi e della sicurezza nucleare (prove di stress).

(Valerio Abbadesse)



dalle
Istituzioni nazionali

Il dibattito parlamentare e istituzionale sul tema del **nucleare** si è intensificato negli ultimi mesi, non solo in prospettiva del referendum convocato in giugno per esprimersi sulla normativa relativa alla localizzazione dei nuovi impianti, ma soprattutto a seguito degli eventi del Giappone e della richiesta europea di procedere a *stress test* per verificare la sicurezza degli impianti nucleari. Il Consiglio dei Ministri ha quindi previsto, nell'ambito del DL 31 marzo 2011, n. 34, la sospensione per un anno delle procedure riguardanti la localizzazione e la realizzazione di impianti nucleari. Restano le disposizioni relative al deposito nazionale per lo stoccaggio e il ruolo dell'Agenzia per la Sicurezza Nucleare. Il Senato ha poi approvato un emendamento del Governo al testo che prevede l'abrogazione delle norme riguardanti il programma nucleare. Il nuovo testo affida al Consiglio dei Ministri il compito di definire una nuova Strategia Energetica Nazionale, tenendo conto delle indicazioni dei competenti organismi europei ed internazionali.

Nel settore delle **fonti rinnovabili**, il Dlgs 3 marzo 2011, n. 28, di attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili è stato approvato in via definitiva dal Consiglio dei Ministri nel mese di marzo. I contenuti e l'iter del testo hanno suscitato un intenso dibattito sul futuro delle fonti rinnovabili. Le Commissioni parlamentari hanno esaminato il testo, anche attraverso le audizioni dei principali enti, tra cui l'ENEA, e degli operatori di settore. Il Parlamento ha approvato mozioni che impegnano il Governo ad approfondire le previsioni del decreto e definire un nuovo sistema di incentivi, al fine di far salvi gli investimenti avviati sulla base del precedente quadro e garantire una crescita di lungo periodo per il settore del fotovoltaico, anche con il sostegno ad iniziative di ricerca e sviluppo. Il Ministro dello Sviluppo Economico e il Ministro dell'Ambiente hanno quindi definito e firmato, all'inizio del mese di maggio, il decreto ministeriale che determina una nuova disciplina delle modalità di incen-

tivazione della produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici (Quarto conto energia). Il provvedimento pone le basi per lo sviluppo di medio-lungo periodo del comparto, accompagnandolo al raggiungimento dell'autosufficienza economica. Attraverso la razionalizzazione e una progressiva riduzione delle tariffe, sarà possibile controllare e impiegare con maggiore efficacia l'onere a carico di cittadini e imprese.

Nell'ambito della promozione e del rafforzamento della **Ricerca**, il Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca ha presentato il Programma Nazionale della Ricerca 2011-2013, che prevede l'avvio di 14 Progetti Bandiera. Il CIPE ha stanziato 1.772 milioni di euro, somma che potrà generare un volume complessivo di investimenti di circa 2.522 milioni di euro per l'intero arco temporale. Il Programma sarà finanziato con risorse proprie degli enti di ricerca e con una quota del Fondo Agevolazione e Ricerca.

Lo scorso 13 aprile, il Consiglio dei Ministri ha approvato il *Documento di Economia e Finanza pubblica 2011*, nuovo strumento fondamentale in materia di programmazione economica e finanziaria. Il testo è composto dal Programma di stabilità dell'Italia, l'Analisi e tendenze della finanza pubblica e il Programma nazionale di riforma. Tra i settori di intervento: l'energia, il capitale umano e l'innovazione.

(Laura Migliorini)



dai
Giornali

In questi mesi la stampa si è concentrata maggiormente sulla catastrofe del Giappone, in particolare sull'incidente nucleare di Fukushima e sulla più generale questione nucleare che è stata oggetto di forti polemiche. Anche la tematica delle energie rinnovabili ha avuto una particolare enfasi sulla stampa, enfasi collegata, indirettamente alla questione nucleare, ma più direttamente connessa con le vicende del rinnovo degli incentivi. Minore attenzione per gli altri argomenti di energia ambiente ed innovazione. Qui di seguito una breve analisi.

Nucleare: In gennaio i giornali hanno iniziato ad occuparsi di referendum; è stato pubblicizzato il sito "forum nucleare.it"; numerose sono state le polemiche sulla faziosità dello spot; la Consulta ha dato il via libera ai referendum. In febbraio, in seguito ai rilievi della Corte Costituzionale, il Governo ha riscritto il decreto sulla localizzazione dei siti nucleari, il parere delle Regioni diventa ora "obbligatorio ma non vincolante". Continua il dibattito sui referendum e nascono i primi Comitati. Lo spot sul nucleare viene dichiarato "pubblicità ingannevole" dallo Iap, l'Istituto di autodisciplina pubblicitaria. Dall'11 marzo in poi sulla stampa si parla solo o quasi del terremoto e dello tsunami che hanno colpito il Giappone, con interventi, in una prima fase, soprattutto di esperti sismologi; solo qualche ora più tardi si inizia a parlare di una possibile ripercussione sugli impianti nucleari di Fukushima. I giornali richiedono allora i contributi degli esperti di nucleare, anche dell'ENEA, per la verità in principio abbastanza rassicuranti. Per avere una chiara visione dell'entità dell'incidente bisogna attendere ancora qualche giorno quando si iniziano a valutare i possibili scenari di dispersione della nube radioattiva in atmosfera. L'incidente non riguarda più solo il Giappone, ma il mondo intero, si valutano le conseguenze sulla salute, a breve-medio-lungo termine, la contaminazione dei cibi, dei mari e delle acque piovane. Si riapre il dibattito sul nucleare italiano. Si definisce la data dei referendum.

L'incidente nucleare dall'iniziale livello 4 viene portato al livello 7, il massimo della scala Ines, lo stesso di Chernobyl. Nell'Unione europea si decide di effettuare *stress test* sulle 143 centrali nucleari in funzione. Il governo italiano decide per una pausa di riflessione la cosiddetta "moratoria" di un anno. Largo spazio viene dato alle decisioni prese dagli altri paesi europei. In aprile arriva lo stop ufficiale del governo al nucleare, si stimano i costi dell'addio all'atomo. Si cercano strade alternative al nucleare; viene ampiamente analizzata la situazione degli altri paesi.

Rinnovabili: In gennaio il Parlamento esamina lo schema di DLgs di recepi-



mento della direttiva europea sulle rinnovabili, che presenta una riduzione degli incentivi per eolico e solare fotovoltaico. Grande spazio viene dato alle polemiche delle associazioni ambientaliste. Durante il mese di febbraio continua il clima molto teso tra gli operatori che temono forti riduzioni degli incentivi statali. Per i lavori di riqualificazione energetica viene confermato, anche per il 2011, il bonus del 55%. Nel corso del mese di marzo il Presidente Napolitano firma il decreto legislativo sulle energie rinnovabili che, nel frattempo, a seguito delle proteste, ha subito diverse modifiche nella direzione di conferme agli incentivi. Reazioni e commenti. In aprile entra nel vivo il "quarto conto energia", decreto attuativo volto a conciliare le esigenze di sviluppo delle fonti rinnovabili con le esigenze di razionalizzazione dei costi.

Ricerca: Il mese di gennaio si apre con la protesta dei ricercatori che in nome dell'art. 33 della Costituzione chiedono una maggiore libertà di ricerca scientifica e il Ministro dell'Istruzione, università e ricerca viene duramente attaccato per i suoi tentativi di mettere mano al CNR, il più grande ente di ricerca italiano. Intanto entra in vigore la riforma dell'Università, è caos negli atenei italiani. In febbraio largo spazio viene dato ad uno studio Ue secondo cui l'Italia si colloca, per innovazione e ricerca sotto la media europea già debole nei confronti di Usa e Giappone. Nei mesi successivi i temi legati alla ricerca passano in secondo piano.

Autorità: Sempre nel mese di gennaio Guido Bortoni viene nominato Presidente dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas. Viene completata anche la nomina dei vertici dell'Autorità per la sicurezza nucleare. In febbraio i giornali trattano del dibattito scaturito dalla riforma Brunetta.

Politica energetica: la stampa, a partire dal mese di febbraio in poi, parla diffusamente dei possibili scenari petroliferi in seguito alle insurrezioni nord africane, in Tunisia, in Egitto e soprattutto in Libia.

(Laura Di Pietro)

1 2 3 4
5 6 7 8
9 10 11

Calendario eventi

■ VIENNA ENERGY CONFERENCE 2011 (VEC 2011)

Organizzata da UN Industrial Development Organization (UNIDO), all'insegna di "Energy for All: Time for Action": accesso universale ai moderni servizi energetici e aumento dell'efficienza energetica riducendo l'intensità energetica del 40% entro il 2030.

21-23 giugno, Vienna (Austria)

<http://www.unido.org/index.php?id=1001185>

■ UNECE/FAO WORKSHOP - PAYMENTS FOR ECOSYSTEMS SERVICES: WHAT ROLE FOR A GREEN ECONOMY?

Organizzato da UN Economic Commission for Europe (UNECE) e FAO, il workshop predisporrà il piano di azione su foreste e green economy da presentare all'UNECE Timber Committee e alla FAO European Forestry Commission (10-14 ottobre 2011) e nel 2012 alla UN Conference on Sustainable Development (Rio+20).

4-6 luglio, Ginevra (Svizzera)

<http://timber.unece.org/index.php?id=329>

■ 13th SESSION OF THE COMMISSION ON GENETIC RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE

Sessione della Commissione sulle risorse genetiche (FAO), forum permanente dei governi per discutere e negoziare questioni rilevanti per la biodiversità, minacciata da crescita della popolazione e cambiamento climatico.

16-22 luglio, Roma

<http://www.fao.org/nr/cgrfa/cgrfa-home/en/>

■ 2011 WORLD WATER WEEK

Tema della Conferenza: "Responding to Global Changes - Water in an Urbanising World."

21-27 agosto, Stoccolma (Svezia)

<http://www.worldwaterweek.org/>

■ SECOND WORLD BIODIVERSITY CONGRESS

Temi del Congresso: utilizzazione sostenibile della biodiversità; protezione delle risorse della terra, marine e acquatiche; gestione informazioni sulla biodiversità; brevetti e tutela della biodiversità; desertificazione, agricoltura sostenibile; protezione insetti benefici: agrobiodiversità; biotecnologia ambientale.

8-12 settembre, Kuching, Sarawak (Malaysia)

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

■ QUANTIFYING AND MANAGING LAND USE IMPACTS OF BIOENERGY

Organizzata da IEA Bioenergy and Brazilian Bioethanol Science and Technology Laboratory per discutere l'impatto del cambiamento di uso della terra per la produzione di bioenergia e le strategie per ridurre tale impatto.

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

<http://www.bioenergytrade.org/downloads/firstannouncementt384043workshopbrazil.pdf>

■ UNCCD COP 10

Decima sessione della Conference of the Parties (COP 10) della UN Convention to Combat Desertification (UNCCD).

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

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

MATERIALI E TECNICHE NELLA PITTURA MURALE DEL QUATTROCENTO

Atti del Convegno Internazionale
Sapienza Università di Roma
20-22 febbraio 2002

a cura di: *Barbara Fabjan, Marco Cardinali, Maria Beatrice De Ruggieri*
con il coordinamento scientifico di: *Marisa Dalai Emiliani*



Con la realizzazione di questa pubblicazione e dell'allegato CD-ROM, si conclude il progetto scientifico che ha avuto nel convegno internazionale di studi "Materiali e tecniche nella pittura murale del Quattrocento" (Roma, Università La Sapienza, 20-22 febbraio 2002) la sua prima occasione di verifica e di confronto. Nel volume sono riportati i testi delle relazioni e discussioni tenute nel corso del convegno. I testi sono riprodotti anche nel CD-ROM, dove sono corredati da un prezioso repertorio di immagini in larga parte inedite, offrendo una vera e propria mappa degli interventi conservativi che hanno interessato i principali cicli di pittura murale del primo Rinascimento italiano. L'approccio multidisciplinare dei testi riflette l'integrazione, durante le campagne di restauro, delle competenze delle tre figure professionali coinvolte: lo storico dell'arte, l'esperto scientifico, il restauratore. Originali non sono soltanto la natura, la qualità e la quantità dei materiali e degli apparati illustrativi, quanto la struttura stessa di atlante, che propone un itinerario visivo di alto interesse scientifico attraverso la documentazione fotografica, la quale, per ogni caso studio, risale progressivamente dai supporti agli strati pittorici, rivelandone le caratteristiche materiche non meno che tecniche e stilistiche. Promotrici dell'iniziativa sono state le principali istituzioni attive nel campo della conservazione del patrimonio artistico come della ricerca, suo indispensabile fondamento: ENEA, la Scuola di Specializzazione in Storia dell'arte dell'Università "Sapienza" di Roma e la Soprintendenza per il Patrimonio Artistico, Storico e Demotnoantropologico di Roma, affiancate dall'Istituto Centrale per il Restauro, dall'Opificio delle Pietre Dure e dal Gabinetto di Ricerche Scientifiche dei Monumenti, Musei e Gallerie Pontificie.

Euro **50,00**

**energia
ambiente
e innovazione**

bimestrale dell'ENEA

anno 57

gennaio - aprile 2011