



bimestrale dell'ENEA
anno 58
marzo - aprile 2012

Energia, Ambiente e Innovazione

2/2012

**Parla
il Ministro
dell'Ambiente**

**Mediterraneo
acido**

**Giappone
un anno dopo**

**Acqua sotto
pressione**

Direttore Responsabile
Vincenzo Ferrara

Comitato di Direzione

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

Comitato tecnico-scientifico

Osvaldo Aronica, Paola Batistoni, Iliaria Bertini,
Paolo Clemente, Paolo Di Lazzaro, Andrea Fidanza,
Stefano Giammartini, Rossella Giorgi, Giorgio
Graditi, Massimo Maffucci, Laura Maria Padovani,
Paolo Ruti, Emilio SantoroDirettore editoriale
Diana Savelli

Coordinamento editoriale

Giuliano Ghisu
Tel. 06-30486278 - giuliano.ghisu@enea.it

Comitato editoriale

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

Edizione web

Antonella Andreini, Daniela Bertuzzi, Concetta Manto

Promozione

Paola Crocianielli

Traduzioni

Carla Costigliola

Progetto grafico

Paola Carabotta, Bruno Giovannetti

Segreteria

Antonella Calamita

Per informazioni e contatti: infoeai@enea.it

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

Stampa

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

Registrazione

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

Pubblicità

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

Finito di stampare nel mese di maggio 2012



Prodotto realizzato impiegando carta Symbol Freelifc riciclata FSC

www.enea.it

	Editoriale	
2	Rio 1992-Rio 2012: dallo sviluppo sostenibile alla green economy <i>C. Pera</i>	
4	Intervista con il Ministro dell'Ambiente: Corrado Clini <i>a cura di C. Vinci</i>	
	World view	8
	Focus sulle notizie	20
20	Neutrini Il fantasma dell'Opera <i>E. Santoro</i>	
22	Spazio Con il lancio inaugurale del vettore VEGA un dimostratore tecnologico in orbita: ALMASat-1 <i>P. Tortora</i>	
26	Bioeconomia Bioeconomia in Europa, nel mondo <i>M. Leonardì</i>	
29	Suolo Manca in Europa un quadro di riferimento per la gestione sostenibile del suolo <i>P. Carrabba</i>	
	Primo piano	32
	Acqua	
32	La "governance" dell'acqua come pilastro dello sviluppo sostenibile <i>G. Checcucci</i>	
	Cattura e stoccaggio del carbonio	
37	Potenzialità delle tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio nell'industria italiana <i>A. Caliri, L. Panei</i>	
	Speciale: Giappone un anno dopo	
43	Lessons from the Tōhoku earthquake <i>G. Bongiovanni, P. Clemente, V. Verrubbi</i>	
50	Teachings from the Tōhoku-Oki event: tsunami hazard scenarios along Japanese and Italian coasts <i>F. Romanelli</i>	

56	Simulation & analysis of the severe accident of the Unit 1 of Fukushima Daiichi NPP <i>C. Parisi, A. Del Nevo, E. Negrenti, M. Sepielli</i>
----	---

Sr Studi & ricerche **62**

	Review & assessment papers
62	Economic analysis of energy efficiency programs in Italy <i>W. Mebane, E. Piccinno</i>
69	Le microalghe nel settore dei biocombustibili. Sviluppo e sostenibilità <i>V. Amicarelli, A. Paiano, L. Lobefaro</i>

	Research papers
78	Perspectives of the use of a compact linear accelerator for protontherapy <i>C. Ronsivalle, M. Carpanese, R. Fantoni, L. Picardi, M. Balduzzi, M. T. Mancuso, C. Marino, M. Benassi, M. D'Andrea, L. Strigari, E. Cisbani, C. De Angelis, G. Esposito, S. Frullani, F. Ghio, V. Macellari, M.A. Tabocchini</i>
87	Effects of acidification on a Mediterranean calcitic bryozoan <i>S. Cocito, C. Lombardi</i>

	Technical papers
92	Experimental results on a solar desiccant and evaporative cooling system equipped with wet heat exchangers <i>P. Finocchiaro</i>

Rb Rubriche **96**

96	dal Mondo
96	dall' Unione Europea
98	dalle Istituzioni nazionali
99	dai Giornali
100	Calendario eventi



Rio 1992-Rio 2012: dallo sviluppo sostenibile alla green economy

La ormai imminente Conferenza Rio+20 avrebbe potuto anche essere denominata "Stoccolma +40". È infatti nella capitale svedese, nel 1972, che le Nazioni Unite hanno cominciato ad esprimersi con forza sul problema del degrado dell'ambiente. E nello stesso anno, ormai lontanissimo, dilagava l'allarme lanciato dal Club di Roma con il rapporto presentato allo *Smithsonian Institute* di Washington sull'esauribilità delle risorse naturali.

Ma gli organizzatori delle Nazioni Unite, titolando la prossima Conferenza su Ambiente e Sviluppo a quella di Rio del 1992, e assegnandola alla stessa città di allora, hanno voluto rafforzare le responsabilità di chi vi prenderà parte. Infatti, l'Earth Summit di Rio espresse nei confronti dei problemi ambientali del mondo contemporaneo una vitalità e profondità tali, e produsse una vibrazione così forte e prolungata, che davvero riuscì ad imprimersi nelle coscienze dei governanti e dei popoli. Tornare a Rio vent'anni dopo vuol dire misurarsi con l'attesa e l'energia diffusa, per la prima volta e nel mondo intero (disastro di Chernobyl a parte), nei confronti della questione ambientale.

I documenti approvati nel 1992 rendono conto della straordinaria complessità e vastità degli argomenti e degli interessi che si erano confrontati in vista della Conferenza e che alla fine avevano trovato una composizione, sebbene la pregnanza degli impegni vincolanti fosse stata da molti giudicata insoddisfacente. La Convenzione quadro sul clima, la Convenzione sulla protezione della biodiversità, la Dichiarazione sulle foreste, la Dichiarazione di Rio e l'Agenda 21, benché frutto di strenui negoziati sui singoli paragrafi da parte di paesi i cui indici di sviluppo erano agli antipodi e le cui condizioni ambientali erano universi non confrontabili, sono tutti documenti che esprimono al loro interno l'esistenza di problemi impellenti e la necessità di adottare criteri, metodi e impegni che, secondo il nuovo lessico utilizzato dal Principio 8 della Dichiarazione di Rio e dalla Agenda 21, avrebbero dovuto modificare i *modi di produzione e gli stili (patterns) di consumo*.

Nel panorama dei documenti ufficiali adottati in sede internazionale questi obiettivi erano straordinariamente nuovi per l'impostazione e nella radicalità degli intenti. Essi erano la logica conclusione della scoperta dell'*interdipendenza* di tutti i settori e di tutte le aree del mondo globalizzato. La loro attuazione richiedeva di mettere in moto un ripensamento delle teorie e delle prassi economiche alla ricerca di strumenti per bilanciare gli opposti interessi dello sviluppo economico e della tutela del pianeta e delle sue risorse. Da allora il processo di rinnovamento culturale e concettuale dei meccanismi economici è stato effettivamente avviato e ha prodotto risultati soprattutto a partire dalle riflessioni sull'inquinamento atmosferico e sui problemi del clima globale. L'*emissions trading* e l'amplissima rete degli studi sulle emissioni di CO₂ a scala locale e globale basate su ogni dettaglio della produzione e dei consumi esprimono un'integrazione tra riflessione economica e consapevolezza ambientale che 20 anni fa non esisteva.

Nel frattempo è esplosa l'attenzione alle fonti energetiche rinnovabili alternative al petrolio, ma quest'ultimo è tuttora il *dominus* di larga parte degli equilibri geopolitici. La questione ambientale è ormai tutt'uno con i modi di produrre, consumare e accumulare la ricchezza in larga parte del mondo, ma la prospettiva di 1 miliardo e 200 milioni di persone che entreranno nella *middle class* nei paesi emergenti e la stima di 600.000 aree contaminate in Cina turbano i sonni di chi pensa alla ristrettezza della coperta ambientale. Le risorse naturali sono sempre più scarse, alcuni materiali sono *rari*. La *green economy* sarà pertanto al centro di Rio+20 con lo scopo di rompere il nesso tra l'uso delle risorse natu-

Non si tratta di lavorare ai margini di un sistema economico che produce un uso inefficiente del capitale naturale e delle risorse.



rali e la crescita economica e promuovere uno sviluppo che non consumi risorse e non liberi emissioni e scorie, riducendo i consumi energetici.

Rio 1992 ha decretato l'inadeguatezza della formula che ha dominato il Secondo dopoguerra, il Prodotto Interno Lordo, ed è alla base dell'alacrità con la quale la comunità scientifica cerca di individuare nuovi indicatori effettivamente rappresentativi dell'uso delle risorse e delle condizioni di vita delle popolazioni e degli Stati, a partire dall'Indice di Sviluppo Umano (HDI), utilizzato dalle Nazioni Unite a partire dal 1993.

Ma è impossibile anche solo tentare di riepilogare le novità che si sono prodotte in questi venti anni. Il confronto di esperienze, speranze e intenti che presiede alla formazione dei documenti delle sedi internazionali porta talora ad uno spirito che interpreta il senso profondo di un'epoca e mantiene il suo carattere di novità nel tempo. La Dichiarazione di Rio e Agenda 21 esprimono questa speciale alchimia e dopo 20 anni conservano la loro eccezionale carica di novità. Basti osservare che l'Agenda 21 si conclude con il capitolo dedicato alla necessità di migliorare la disponibilità dei dati e delle informazioni necessarie alle decisioni, nel quale si afferma che *nell'ambito dello sviluppo sostenibile ciascun individuo è un produttore e un utilizzatore di informazioni* e si preconizza, ben prima dell'avvio del world wide web, l'interconnessione delle reti e di protocolli condivisi per lo scambio tra livelli istituzionali, tra i protagonisti della ricerca e per la messa a disposizione di dati espressi nelle forme idonee agli utilizzatori.

Il Principio 10 della Dichiarazione del 1992 afferma che *il modo migliore di trattare le questioni ambientali è quello di assicurare la partecipazione di tutti i cittadini interessati, ai diversi livelli. Al livello nazionale, ciascun individuo avrà adeguato accesso alle informazioni concernenti l'ambiente in possesso delle pubbliche autorità (...). Sarà assicurato un accesso effettivo ai procedimenti giudiziari ed amministrativi, compresi i mezzi di ricorso ed indennizzo*. Si tratta di formulazioni rivoluzionarie per la larga parte del mondo che doveva ancora familiarizzare con gli strumenti della democrazia e per i procedimenti decisionali dei grandi organismi internazionali che operavano in quei paesi, come la Banca Mondiale. In molti hanno fatto tesoro di quelle linee di indirizzo, ma nell'ambito del Principio 10 appena richiamato, nel nostro stesso paese, l'Italia, ci sarebbe tuttora – dopo 20 anni – un amplissimo spazio giuridico, amministrativo e di iniziativa individuale ed istituzionale da riempire.

Ugualmente resta moltissimo da fare per interiorizzare, nel nostro paese, il principio del risparmio delle risorse naturali e del recupero e riuso, a partire dai rifiuti (ancora!) per arrivare al suolo fertile e alla superficie naturale e permeabile, nuova frontiera della sostenibilità in sede europea ed internazionale. La Relazione sullo stato dell'ambiente rivolta al Parlamento italiano sottolineava fin dal 1989, e poi nel 1992, nel 1996, nel 2002 la crescente urbanizzazione dei suoli italiani. Le politiche territoriali sembrano incapaci di indirizzare verso la conservazione della prima risorsa nazionale, che è un bene insostituibile per la biodiversità, per la produzione agricola ma anche per la stessa resilienza del territorio e per valori culturali come il paesaggio.

Secondo l'elaborazione resa nota dal JRC (*Joint Research Centre* della Commissione Europea), l'Italia si colloca tra il quarto e il quinto posto in Europa per perdita di aree agricole a causa dell'urbanizzazione tra il 1990 e il 2006. Questo è un buon esempio di sviluppo insostenibile, perché produce deprivazione dell'ambiente e problemi a cascata che, a parte i costi, non hanno possibilità di essere tutti risolti.

Ha dunque ragione la Commissione Europea nel suo documento in vista di Rio+20 quando afferma che "non si tratta di lavorare ai margini di un sistema economico che produce un uso inefficiente del capitale naturale e delle risorse", perché non basta più. Con la *green economy* si deve operare per separare e disconnettere l'uso delle risorse naturali dalla crescita economica, promuovendo contestualmente stili di produzione e consumo sostenibili. Indubbiamente l'azione si deve spostare sulle condizioni di regolazione del mercato per incorporare nei prezzi il capitale ambientale consumato.

Chi partirà per primo sarà certamente avvantaggiato.



Intervista con il Ministro dell'ambiente: Corrado Clini

Investire le risorse pubbliche per transitare in un futuro molto diverso, fatto di innovazione tecnologica

La presentazione del libro "Fukushima" di Alessandro Farruggia, avvenuta il 6 marzo scorso a Roma, nella splendida sala Igea di Palazzo Mattei di Paganica, sede storica dell'Istituto dell'Enciclopedia Italiana, è stata l'occasione per il Ministro dell'Ambiente, Corrado Clini, per tracciare, tra l'altro, quella che secondo lui dovrebbe essere la strategia ambientale nel nostro Paese. Questa strategia vede nella protezione dell'ambiente le opportunità di sviluppo nel quale un ruolo fondamentale viene giocato dall'energia ed in particolare dalle energie rinnovabili. E lo sviluppo delle rinnovabili, ha detto Clini, deve necessariamente basarsi, oltre che su nuove tecnologie, anche e soprattutto su un sistema costituito dalla generazione distribuita che combina elettricità, calore e freddo e che è abbinata alle reti intelligenti (smart grids). Ma ci sarà un gran lavoro da fare in Italia, perché il nostro sistema si è invece consolidato sui grandi impianti energetici e sulle grandi reti di trasmissione energetica.

Inoltre, ha chiarito il ministro Clini, incentivare le fonti rinnovabili non rappresenta uno spreco di risorse, anche se il sistema di incentivi ha privilegiato i consumi finali piuttosto che gli investimenti per lo sviluppo tecnologico. Sarebbe un gravissimo danno non investire nelle rinnovabili in Italia e in Europa. Servirebbe, piuttosto, orientare il supporto degli incentivi pubblici finalizzandoli in investimenti per l'innovazione tecnologica ed in particolare verso tecnologie energetiche innovative, comprese quelle rinnovabili, tenendo conto che in Italia ci sono esperienze importanti. Esperienze tali da attirare investimenti stranieri – americani, tedeschi, cinesi – non nella parte di maggiore redditività finanziaria degli incentivi, ma nella fase della ricerca per l'innovazione. Da questo punto di vista, la Conferenza delle Nazioni Unite sullo Sviluppo Sostenibile che si terrà a giugno sarà un'occasione preziosa, secondo il Ministro, per la diffusione di esperienze innovative e la raccolta di investimenti.

Per la rivista EAI dell'ENEA, sullo specifico tema della Conferenza ONU sullo Sviluppo Sostenibile e sull'incidente di Fukushima, il Ministro ha risposto ad alcune domande.

Verso Rio+20: la Conferenza delle Nazioni Unite sullo Sviluppo Sostenibile a 20 anni da Rio

Per quanto riguarda la prossima Conferenza mondiale sullo Sviluppo Sostenibile che si terrà a Rio de Janeiro dal 20 al 22 giugno, e denominata Rio+20 perché si svolgerà a 20 anni di distanza dal Vertice della Terra tenuto nella città brasiliana nel 1992, il Ministro ritiene che la grande sfida dello sviluppo sostenibile e della green economy si giochi nella cooperazione fra Paesi industrializzati e Paesi in via di sviluppo sulle nuove tecnologie e l'innovazione tecnologica, cooperazione che deve favorire una crescita economica a basse emissioni di anidride carbonica e di inquinamento. Gli abbiamo chiesto:

- **A 20 anni da Rio e in vista di Rio + 20 qual è la sfida ambientale, economica e sociale?**

La sfida ambientale ed economica globale è quella rappresentata dalle economie in rapida crescita, come la Cina, l'India, il Brasile, il Sud Africa, il Messico, l'Indonesia. Venti anni fa, quando Rio de Janeiro ospitò la prima Conferenza mondiale sull'ambiente e lo svi-



luppo, questi Paesi erano nelle condizioni di Paesi in via di sviluppo, che intendevano uscire da una situazione di sottosviluppo e di crisi, chiedendo ai Paesi industrializzati di essere aiutati nel loro cammino verso lo sviluppo.

Ora, lo scenario è completamente cambiato e, in qualche modo, la situazione appare ribaltata nelle prospettive di crescita economica, spesso tumultuosa, che hanno questi Paesi rispetto alle prospettive che abbiamo noi Paesi industrializzati. Non più il confronto fra il nord ed il sud del mondo come nel 1992, ma la ricerca di obiettivi comuni e di regole condivise per la crescita mondiale sostenibile e per l'uso sostenibile delle risorse naturali ed energetiche. Vent'anni fa ci si chiedeva come limitare l'impatto ambientale della crescita economica, oggi i problemi comuni sono le prospettive di qualità dello sviluppo sociale ed economico della popolazione del nostro pianeta, avendo presenti da un lato la limitatezza delle risorse e dall'altro le conseguenze di un loro uso non razionale. La prossima Conferenza di Rio+20 è, da questo punto di vista, non un "summit" da cui deve scaturire un trattato internazionale, ma un confronto costruttivo dal quale far emergere un quadro di riferimento globale e condiviso, rispetto al quale l'economia mondiale possa orientarsi nei prossimi anni nella direzione di una "green economy".

• **Che cosa l'Italia intende proporre?**

La sfida per l'Italia è quella di cogliere le grandi opportunità che si presentano nel nuovo scenario internazionale e nell'evoluzione delle economie emergenti. Se l'Italia riesce ad essere presente e ad avere un ruolo positivo e propositivo, se le imprese italiane e anche le istituzioni pubbliche italiane sapranno investire nelle economie emergenti con proposte in grado di rispondere alla loro domanda di energia, di energia pulita, di gestione delle acque, di uso efficiente e di conservazione delle risorse idriche, noi avremmo fatto un grande passo avanti per l'economia italiana e per lo sviluppo sostenibile di quei popoli e del nostro.

Tutto ciò appare ancora difficile da capire, almeno a livello di pubblica amministrazione e di iniziative dal punto di vista pubblico. Siamo ancora molto concentrati sulle modalità di sviluppo industriale degli anni 50 e 60 e sui paradigmi del lavoro in fabbrica allora esistenti, all'interno dei quali bisognava dare adeguate garanzie di sicurezza sociale e tutele fondate sulle casse integrazioni, le casse integrazioni speciali, i sistemi assistenziali e altri sistemi che abbiamo messo in piedi, ma che fanno riferimento a poli produttivi e a processi produttivi ormai obsoleti. È del tutto evidente che con lo sviluppo tecnologico e le diverse esigenze sociali e produttive, quelle modalità di produzione non ci sono più e che la gran parte dei lavoratori, non tornerà a fare il lavoro che facevano prima, né ci sarà quel tipo di lavoro.

Allora, il problema vero che noi abbiamo è come riuscire ad investire le risorse pubbliche, pur garantendo la sicurezza sociale di chi oggi è fuori dai cicli produttivi, per transitare in un futuro molto diverso, che è fatto di innovazione tecnologica, di nuove tecnologie per le fonti rinnovabili, di nuovi sistemi per l'efficienza energetica, di sistemi avanzati e decentrati per l'uso efficiente e per la conservazione delle risorse idriche e delle risorse naturali. Se si dà uno sguardo agli investimenti mondiali, le grandi economie stanno indirizzando quantità notevolissime delle loro risorse economiche verso le nuove prospettive che offrono le tematiche suddette. L'unico paese, l'unica economia che in questo momento sembra mettersi, dopo anni di declino, lungo questa traiettoria è l'economia americana perché il presidente Obama ha fatto un lavoro enorme di supporto al cambiamento, soprattutto nel campo degli investimenti in nuove tecnologie e in *know-how*. Si tratta, in pratica, di mettere in moto "venture capital", cioè capacità di credito, che danno fiducia a chi ha idee nuove e a chi vuole investire in progetti innovativi, cosa che in Italia è un fatto molto raro.

- **Quindi cambiare modello di sviluppo per una nuova politica energetica?**

No. Non dobbiamo cambiare modello di sviluppo, dobbiamo intercettare le nuove sfide: la Cina ha in mente di crescere e assicurare ai suoi cittadini i vantaggi economici e i servizi che noi abbiamo garantito ai cittadini europei. E come la Cina anche altri Paesi emergenti. Loro non vogliono cambiare modello di sviluppo, ma vogliono ottenere risultati per la qualità della vita dei loro cittadini analoghi ai nostri. Faccio un esempio. Lo scorso anno in Cina, il mercato automobilistico è stato molto attivo: sono state vendute 20 milioni di autovetture nuove contro 10 milioni scarsi del mercato americano. Nello stesso tempo la Cina intende ridurre o eliminare i problemi di traffico ed inquinamento che la crescita della motorizzazione sta creando. Questo significa che la Cina non vuole ridurre le attese di crescita, ma che vuole accompagnarla e nello stesso tempo qualificarla in maniera tale da non compromettere l'ambiente, le risorse idriche, la qualità dell'aria. Hong Kong che è un "hub" economico mondiale, oggi non è più attrattivo come nel passato, perché risiedere ad Hong Kong significa una qualità della vita peggiorata per il forte inquinamento atmosferico. E le autorità locali si stanno affrettando per risolvere il problema, sviluppo economico e qualità dell'ambiente non sono più separati, ma integrati. Questi esempi dimostrano che la partita da giocare è quella di coniugare insieme economia, ambiente e società. Questa è la partita su cui l'Italia deve lavorare con le istituzioni di ricerca scientifica e tecnologica e con le imprese che sanno rispondere alle nuove esigenze, che creano valore aggiunto nell'offerta di soluzioni basate su tecnologie avanzate e che fondano il vantaggio competitivo nella continua innovazione di processi e di prodotti. Questa è la strada maestra per il nostro paese nel nuovo panorama economico mondiale.

- **L'incidente nucleare di Fukushima: una lezione da apprendere**

Nonostante la presentazione del libro di Alessandro Farruggia riguardasse l'incidente nucleare di Fukushima e la cattiva gestione di questo incidente, il Ministro non ha voluto né entrare in un dibattito sulla questione nucleare, né commentare, salvo a livello di qualche battuta. Per lui la gestione dell'incidente di Fukushima rappresenta un insegnamento che si può trasferire in campo ambientale e nella gestione della protezione dell'ambiente. Ecco quali sono state le sue parole.

- **Qual è la sua valutazione del disastro di Fukushima?**

Direi che Fukushima è stata un'enciclopedia di errori. Credo, tuttavia, che come sempre avviene nella storia degli eventi disastrosi, anche da Fukushima avremo molti spunti e molti insegnamenti per aggiornare le normative, gli standard tecnici e le diverse procedure. Per quanto riguarda l'evento in sé, non c'è dubbio, Fukushima è proprio una enciclopedia di errori: nella gestione tecnica, nell'informazione alla popolazione, nella politica.

- **C'è stata secondo lei una collusione fra controllori e controllati che ha amplificato le conseguenze del disastro?**

Questa potrebbe essere una delle ipotesi. E non escludo che possa capitare quando si lavora sulla sicurezza nucleare, perché la sicurezza nucleare è un tema di esclusivo interesse pubblico. Pertanto, le agenzie pubbliche nelle loro funzioni di controllori possono avere in moltissimi casi un rapporto stretto, non dico collusione, ma un rapporto stretto con i controllati, cioè con i soggetti gestori degli impianti, ma questo vale non soltanto per il nucleare. È necessario avere Autorità terze che siano in grado di entrare nel merito di problemi complessi e che diano adeguate garanzie sia ai cittadini, sia ai gestori, cioè di essere imparziali e dare una risposta di verità "super partes". Questo evita anche che ci siano possibili rapporti fra controllori e controllati.

- **Che insegnamento potrebbe dare la gestione dell'incidente di Fukushima?**

Per quanto riguarda l'ambiente e i problemi di gestione ambientale, in cui sussistono parimenti controllori e controllati, credo che l'Italia debba riesaminare il suo sistema delle Agenzie per la protezione dell'ambiente che svolgono funzioni autorizzative e di controllo. Sto lavorando perché l'Italia, la popolazione italiana, possa avere risposte sicure e autorevoli sulla protezione dell'ambiente da parte di una Autorità indipendente, in modo da fornire adeguate garanzie sia ai cittadini che alle imprese. Molto spesso avviene, e il caso di Taranto è significativo, che il rapporto fra Agenzie pubbliche e imprese, che porta poi una procedura di autorizzazione, venga, per così dire, messo in discussione in maniera drastica dall'Autorità giudiziaria, la quale avvia una procedura di valutazione parallela e, possiamo dire, anche antagonista rispetto a quella pubblica. Allora ci sono due questioni da risolvere. La prima è evidentemente la credibilità delle Agenzie pubbliche, che è ancora lontana da standard adeguati per fornire garanzie di imparzialità. La seconda è che nel sistema nazionale per la protezione dell'ambiente ci sono molti attori che giocano la stessa partita da posizioni diverse, mettendo in una posizione marginale il ruolo delle amministrazioni pubbliche. E questo non è accettabile. Però è un dato di fatto e dobbiamo lavorare per recuperare.

- **E per il nucleare in Italia?**

Il programma del precedente governo Berlusconi era quello di raggiungere entro il 2030 una produzione di energia elettrica in Italia suddivisa in un 25% da fonte nucleare, un 25% da fonti rinnovabili ed il rimanente 50% dalle fonti convenzionali. Evidentemente questo programma non sussiste più. Già lo stesso governo Berlusconi aveva deciso una moratoria. Poi il referendum dello scorso anno ha fatto il resto. Di conseguenza il problema del nucleare in Italia non si pone.

World View



Acqua sotto pressione

La domanda d'acqua aumenta in tutto il mondo a un ritmo doppio rispetto a quello della popolazione. Viceversa la disponibilità d'acqua tende a diminuire soprattutto alle medie e basse latitudini con ritmi ancora più veloci, non solo per l'aumento della domanda, ma anche a causa dei cambiamenti climatici. Le risorse idriche saranno sottoposte a una pressione senza precedenti: una pressione che, però, cresce in modo non omogeneo fra paesi industrializzati e quelli in via di sviluppo, dove già è problematico l'accesso all'acqua potabile e ai servizi igienici. Questa maggiore pressione, invece di ridurre, acuirà le disparità economiche tra paesi ricchi e paesi poveri. Insomma, le risorse idriche rappresenteranno il problema più importante per l'umanità nel prossimo futuro e dovranno essere considerate come la più alta priorità nella prossima

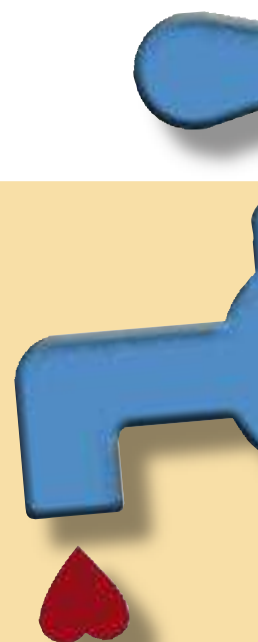


Conferenza mondiale Rio+20 sullo sviluppo sostenibile. È questo l'allarme lanciato dall'ultimo rapporto dell'UNESCO (<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/>) sullo sviluppo delle risorse idriche mondiali (rapporto WWDR4), presentato al World Water Forum in corso a Marsiglia (<http://www.worldwaterforum6.org/en/>).

Il rapporto è ricco di dati e informazioni da cui emerge che l'agricoltura, compreso l'allevamento del bestiame, consuma da sola a livello mondiale il 70% dell'acqua prelevata, con tendenza a un ulteriore aumento, soprattutto nel campo zootecnico. In un mondo in cui la produzione di cibo dovrà notevolmente aumentare anche per combattere la fame e la malnutrizione, la gestione responsabile ed efficiente delle risorse idriche in agricoltura si imporrà come condizione ineludibile per la sicurezza globale dell'acqua e la sicurezza alimentare di tutti i popoli. Per quanto riguarda il consumo umano, la principale fonte di

domanda di acqua proviene dalle comunità urbane che hanno bisogno di acqua potabile, per i servizi igienico-sanitari e le fognature. Quasi un miliardo di persone, nonostante la gran parte viva in ambienti urbanizzati, non ha ancora accesso all'acqua potabile; ma più grave è la situazione per ben 2,6 miliardi di persone nel mondo che non hanno accesso a servizi igienici adeguati, con altissimi rischi di malattie e infezioni.

Le disponibilità di risorse idriche, inoltre, subiranno variazioni anche marcate e fenomeni di estremizzazione in modo diseguale nelle varie parti del mondo, a causa del cambiamento climatico. Oltre al fatto che questo influenzerà gli ecosistemi terrestri, la sopravvivenza di specie animali e vegetali e la biodiversità, gli effetti principali dei cambiamenti del clima riguarderanno l'exasperazione delle tensioni sociali attuali e l'insorgenza di possibili conflitti





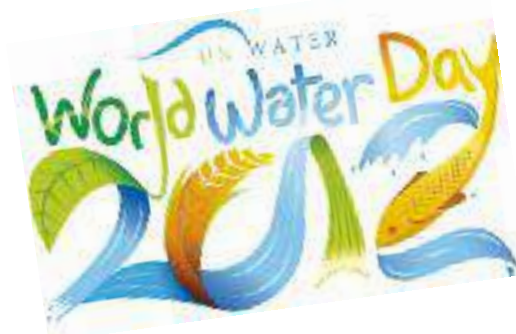
per accaparrarsi le scarse risorse idriche che saranno disponibili in futuro nella fascia subtropicale e alle basse latitudini, dove maggiori sono le condizioni di povertà. Infine, anche lo sviluppo industriale avrà bisogno crescente di acqua, così come un uso crescente di acqua sarà necessario per migliorare la prosperità dei popoli e per lo sviluppo sociale ed economico. Il messaggio lanciato dall'UNESCO al "World Water Forum" di Marsiglia è che i complessi problemi che si pongono per l'acqua, sia come tutela delle risorse idriche, sia come gestione integrata dell'acqua per i diversi usi – agricolo, industriale e potabile – sia, infine, come prevenzione dei rischi derivanti da eccessi o scarsità d'acqua, a causa dei cambiamenti del clima rappresentano le sfide più importanti dello sviluppo sostenibile di cui si dovrà occupare la Conferenza di Rio+20 il prossimo giugno.

((Paola Molinas)

La giornata mondiale dell'acqua

La popolazione mondiale ha superato i sette miliardi di persone e la pressione già forte sulle risorse naturali del pianeta diventerà sempre maggiore in futuro quando nel 2050 arriveremo a nove miliardi. Una crescente domanda di risorse naturali, tra cui soprattutto l'acqua, con una popolazione mondiale in aumento, in un contesto di cambiamenti climatici, sono i presupposti sui quali le Nazioni Unite (<http://www.unwater.org/worldwaterday>) lanciano un allarme su due rischi principali a cui l'umanità dovrà fare fronte: la crisi idrica, e in particolare la riduzione di acqua potabile disponibile, e la crisi alimentare, in termini soprattutto di diminuzione delle capacità dei suoli di produrre di cibo. La disponibilità di acqua potabile dipende dalle precipitazioni atmosferiche e dalla capacità delle riserve idriche che raccolgono le precipitazioni atmosferiche come i ghiacciai, i laghi, i fiumi, le falde ecc. L'uso crescente e spesso non sostenibile di risorse idriche, assieme ai cambiamenti del clima che ne stanno riducendo le capacità soprattutto alle medie e basse latitudini, è diventato un motivo di preoccupazione. Strettamente collegato a questo problema è la produzione di cibo. L'uso spesso conflittuale o non appropriato del suolo, assieme al suo consumo, al degrado generato dalle attività umane e al depauperamento delle risorse idriche sta divenendo parimenti un altro motivo di preoccupazione per la sicurezza alimentare di tutti i popoli, come

ha messo in evidenza anche la FAO (<http://www.fao.org/nr/water/news/wwd12.html>). Il 22 marzo ricorre la *Giornata Mondiale dell'Acqua*, una delle tipiche scadenze volute dalle Nazioni Unite per portare alla ribalta uno dei problemi cruciali dell'umanità. Quest'anno la Giornata è stata specificamente dedicata al ruolo dell'acqua nella sicurezza alimentare, tematica alla quale si aggiungono gli aspetti concernenti gli effetti delle abitudini alimentari, i costi idrici dell'agricoltura e dell'allevamento e, infine, il problema dell'uso sostenibile di una risorsa a torto ritenuta inesauribile e la cui qualità può essere messa in pericolo. In Italia, la situazione di gestione e "governance" complessiva in materia d'acqua appare problematica e inadeguata, come rilevato anche da OECD (http://www.oecd-ilibrary.org/environment/water-governance-in-oecd-countries_9789264119284-en): i distretti idrologici italiani sono ancora sulla carta, la gestione integrata dell'acqua e la prevenzione del dissesto idrogeologico rimangono in Italia particolarmente insufficienti, la frammentazione e i conflitti di





competenze, assieme alla non chiara distribuzione dei ruoli sono spesso all'origine dei problemi nei diversi usi delle risorse idriche, di qualità delle acque, di spreco dell'acqua e, non ultimi dei problemi, di carenza delle azioni di gestione dei rischi collegati all'accesso (alluvioni) o alla mancanza d'acqua (siccità). Come ha rilevato Massimo Iannetta, responsabile dell'Unità tecnica ENEA sullo sviluppo sostenibile e l'innovazione del sistema agroalimentare, la Giornata dell'Acqua deve costituire un nuovo punto di partenza per meditare non solo sui problemi globali collegati alle risorse idriche, ma anche per l'avvio in ambito nazionale di iniziative che, basandosi sulle conoscenze acquisite nella ricerca scientifica e tecnologica, possano impostare al più presto una "governance" complessiva dell'acqua, che superi le visioni settoriali "difesa dalle acque e difesa del suolo", "tutela delle acque e obiettivi di qualità", "gestione dei servizi idropotabili e usi irrigui in agricoltura". In questo contesto, l'uso efficiente dell'acqua nel settore agroalimentare è tra gli obiettivi prioritari di ricerca e dovrà tenere conto anche dell'esigenza di definire un piano di adattamento ai cambiamenti del clima per le risorse idriche, come ci è stato chiesto dall'Unione Europea.

(Laura Maria Padovani)

GEO5 UNEP: rivedere la *governance* ambientale per affrontare il XXI secolo

Il 20 febbraio scorso, nel corso della 12esima sessione speciale del Governing Council/Global Ministerial Environment Forum di Nairobi, l'UNEP ha presentato il *Rapporto GEO-5* sulla revisione della *governance* ambientale mondiale per raccogliere le sfide e le questioni urgenti del XXI secolo.

Il Rapporto, destinato ai *policy maker*, sottolinea che se da un lato la comunità scientifica è attiva sul fronte della valutazione delle minacce emergenti e della ricerca di soluzioni innovative, dall'altro necessita di un sostegno maggiore da parte delle strutture e delle politiche internazionali se vuole ottenere progressi effettivi in tema di sostenibilità.

I 22 esponenti della comunità scientifica internazionale che hanno redatto il Rapporto hanno selezionato una lista preliminare di *21 problemi emergenti*, concludendo che il problema principale del pianeta è l'*allineamento della governance* alle sfide dello sviluppo sostenibile mondiale e che l'attuale sistema di *governance* ambientale internazionale viene percepito dalla grande maggioranza come inadatto ad affrontare i rischi e cogliere le opportunità del XXI secolo.

Più in particolare, i problemi individuati possono essere raggruppati in cinque categorie:

1) *problemi trasversali*, quali la *governance* dei processi di sostenibilità globale, le capacità dei sistemi umani di procedere

verso la *green economy*, l'integrazione tra scienza e azione politica, le nuove sfide dell'umanità poste dai cambiamenti ambientali globali;

- 2) *problemi legati ad alimentazione, biodiversità e uso del suolo*, quali la sicurezza alimentare, la lotta contro la perdita di biodiversità, l'urbanizzazione e gli insediamenti umani, la speculazione sull'accaparramento dei suoli;
- 3) *problemi relativi all'acqua e al mare*, quali l'uso sostenibile delle risorse idriche, delle risorse marine, la protezione degli ecosistemi acquatici delle acque interne e marine;
- 4) *problemi sui cambiamenti climatici*, quali la riduzione delle emissioni di gas serra e la prevenzione dei maggiori rischi indotti dai cambiamenti del clima, la prevenzione delle conseguenze negative degli eventi climatici estremi e della ritirata dei ghiacciai;
- 5) *problemi riguardanti l'energia e i rifiuti*, quali l'uso di fonti energetiche rinnovabili, la riduzione dei rischi industriali e chimici, l'utilizzo efficiente delle risorse naturali ed in particolare delle minerarie e delle risorse naturali strategiche, i rifiuti, ma in particolare i rifiuti radioattivi e il *decommissioning* nucleare.

Il Rapporto raccomanda ai decisori politici di rivedere le loro politiche di sviluppo in modo tale che siano coordinate e coerenti a livello mondiale verso l'obiettivo della

sostenibilità, disincentivando azioni e pratiche insostenibili, promuovendo l'innovazione tecnologica, l'accesso alle informazioni e la formazione, favorendo nel contempo la cooperazione tra pubblico e privato e tra paesi ricchi e poveri. Il Rapporto definitivo sarà ufficialmente lanciato il 6 giugno 2012 in Brasile in occasione della Conferenza Rio+20, ed è redatto da 400 scienziati provenienti da tutti i paesi ONU in un lavoro di gruppo iniziato già da 8 mesi.

(Daniela Bertuzzi)

Bioeconomia: la nuova sfida europea per la sostenibilità

La Commissione europea ha pubblicato la strategia europea per supportare una crescita sostenibile attraverso un rafforzamento della bioeconomia (EC, 2012. *"Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe"*). Per bioeconomia si intende un'economia basata sull'impiego di risorse biologiche per la produzione di alimenti, mangimi e combustibili per la produzione industriale ed energetica. L'avvio di una bioeconomia a larga scala può significare, per l'Europa, creare nuova occupazione, avviare la crescita economica nelle aree rurali, lungo le coste e nelle aree industriali provate dalla attuale crisi economica, riducendo la dipendenza dai combustibili fossili e aumentando la sostenibilità economica e ambientale della produzione primaria e dei processi industriali. Il piano d'azione messo a punto dalla Commissione è basato su un approccio intersettoriale e

sull'obiettivo di favorire la nascita di un'economia a emissioni ridotte, conciliando le esigenze di sostenibilità nell'uso delle risorse biologiche per fini produttivi con la tutela della biodiversità e dell'ambiente. I tre aspetti chiave della strategia riguardano lo sviluppo di nuove tecnologie e processi produttivi ispirati alla bioeconomia; lo sviluppo di nuovi mercati in diversi settori interessati e l'avvio di una collaborazione più ampia tra i responsabili politici e le parti interessate. Maire Geoghegan-Quinn, commissaria EU responsabile per la Ricerca, l'innovazione e la scienza, ha affermato in un'intervista che l'Europa è ormai matura per passare a un'economia 'post-petrolio', dove un più ampio utilizzo delle fonti rinnovabili è una necessità ma anche un'opportunità. Questo processo può essere favorito attraverso la ricerca e l'innovazione, elementi chiave per la protezione dell'ambiente, la sicurezza energetica e alimentare e la futura competitività dell'Europa. La Commissaria ha però sottolineato che l'Europa si mostra troppo lenta a recepire le grandi sfide dello sviluppo e che spesso le azioni politiche in questo senso risultano isolate. Una scommessa come quella lanciata dalla strategia europea per la bioeconomia, invece, richiede un quadro di riferimento più forte ed organico, che coinvolga contemporaneamente il mondo scientifico, politico e imprenditoriale. I fondi pensati per sostenere la strategia europea fanno capo a filoni di finanziamento come la politica agricola comunitaria, il programma di ricerca "Horizon 2020" e altri programmi comunitari e nazionali. La strategia europea per la bioeconomia segue l'Agenda messa a punto dall'OECD nel 2009 (OECD, 2009. *The Bioeconomy to 2030:*

designing a Policy Agenda) in modo originale. L'Agenda dell'OECD, infatti, è tarata sul ruolo che le biotecnologie (applicate agli ambiti di tipo agricolo, sanitario ed industriale) possono giocare nel lanciare a livello mondiale una bioeconomia condivisa. La Commissione europea, invece, facendo seguito al lungo dibattito e al percorso effettuato negli ultimi anni sulla strada della sostenibilità, vede la bioeconomia in un contesto più vasto, dove trovano spazio la sicurezza alimentare, la gestione sostenibile delle risorse naturali, la riduzione della dipendenza dalle risorse non rinnovabili, la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, la competitività europea per creare e mantenere nuovi posti di lavoro. La visione europea della bioeconomia ha, quindi, un carattere più globale e coerente, che prevede aspetti politici, investimenti in conoscenza, innovazione e incremento di capacità, nuove infrastrutture e strumenti, una governance partecipativa basata su un dialogo informato con la società. L'applicazione di questa strategia, che prevede tra l'altro aspetti controversi come quelli, ad esempio, legati alla produzione dei bio-carburanti, richiederà senza dubbio un notevole impegno a livello politico, economico e sociale. È bene però ricordare che la bioeconomia in Europa muove già, di fatto, circa 2.000 miliardi di euro l'anno nei settori dell'agricoltura, della silvicoltura, della pesca, della produzione alimentare, della produzione di pasta di carta e carta, dell'industria chimica, biotecnologica ed energetica. Si prevede che l'attuazione della strategia europea sulla bioeconomia possa moltiplicare tale valore di un fattore dieci entro il 2025.

(Paola Carrabba)

Il ruolo dell'agricoltura e delle foreste nella politica climatica della UE

Lil 12 marzo scorso la Commissione europea ha adottato la proposta di Decisione relativa alle norme di contabilizzazione e ai piani di azione relativi alle emissioni e agli assorbimenti di gas a effetto serra risultanti da attività connesse all'uso del suolo, ai cambiamenti di uso del suolo e alla silvicoltura (COM (2012) 93 final), <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0093:FIN:IT:PDF>

Nello stesso giorno la Commissione ha anche pubblicato la Comunicazione "Contabilizzare l'uso del suolo, i cambiamenti di uso del suolo e la silvicoltura negli impegni dell'Unione nell'ambito della lotta ai cambiamenti climatici" (COM (2012) 94 final), <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0094:FIN:IT:PDF>

Le foreste e i terreni agricoli coprono più di tre quarti del territorio della UE e contengono naturalmente ingenti quantitativi di carbonio sotto forma di sostanza organica, prevenendone la fuga nell'atmosfera e, di conseguenza, sono importanti per la politica climatica. Aumentare di soli 0,1 punti percentuali l'assorbimento di anidride carbonica atmosferica e sequestrare il carbonio nel suolo come sostanza organica, mediante, ad esempio, una migliore gestione forestale e dei pascoli oppure con migliori pratiche agricole, permetterebbe di eliminare l'equivalente delle emissioni annue nell'atmosfera di 100 milioni di automobili. Tuttavia, fino ad oggi gli sforzi

degli agricoltori e dei proprietari di foreste, e le loro buone prassi volte a trattenere il carbonio presente nelle foreste o ad aumentare quello contenuto nei suoli, non sono stati riconosciuti o lo sono stati solo parzialmente, e a livello volontario. L'Italia, per esempio, con il Protocollo di Kyoto, ha ottenuto il riconoscimento del ruolo delle foreste e della gestione forestale, ma ha rinunciato, per difficoltà di contabilizzazione, a farsi riconoscere i crediti di carbonio derivanti dalla gestione del suolo nel settore agricolo. Ora l'Unione Europea è determinata a stabilire una contabilizzazione comune nella propria politica energetica e climatica, fornendo nuove opportunità, ad esempio per ricompensare gli agricoltori per il loro contributo alla lotta contro i cambiamenti climatici e nel contesto della politica agricola comune.

La proposta di decisione della Commissione europea, che sarà ora presentata al Parlamento europeo e al Consiglio secondo le procedure legislative ordinarie, rappresenta per l'Italia una grande opportunità, non solo per promuovere lo sviluppo di pratiche agricole meno inquinanti e più efficienti, ma anche per incentivare un settore ad alta potenzialità di immagazzinamento di sostanza organica nel suolo come l'agricoltura biologica, settore in cui l'Italia è la prima in Europa con circa 48 mila imprese "agrobio" e quasi 1,2 milioni di ettari di coltivazioni biologiche, secondo i dati del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

(Paola Cicchetti)

Petrolio da sabbie bituminose? Perché no?

La modifica alla Direttiva 2009/30/EC sulla qualità dei combustibili, proposta dalla Commissaria europea Connie Hedegaard, prevede per l'importazione in Europa di combustibili fossili una minor intensità di anidride carbonica che viene calcolata attraverso una apposita metodologia di valutazione della cosiddetta "carbon footprint". L'obiettivo è quello di ridurre del 6%, entro il prossimo decennio, l'intensità carbonica così valutata e classificata.

Il petrolio estratto da sabbie bituminose è stato classificato "ad alta emissione" di anidride carbonica (oltre il 20% in più rispetto al valor medio contenuto nel petrolio estratto con metodi convenzionali). La maggiore emissione deriva dalla maggiore energia necessaria per estrarre il bitume dalle rocce in cui è contenuto e per convertirlo poi in petrolio greggio. Poiché la produzione di petrolio utilizzando sabbie bituminose è fondamentalmente canadese, il Canada considera questa classificazione non giustificata da una solida base scientifica, anzi vede in questa proposta della UE una discriminazione che riguarda l'origine e i metodi di produzione del petrolio e non il prodotto in sé (il petrolio da sabbie bituminose è indistinguibile dal petrolio estratto da giacimenti fossili), una discriminazione che si ripercuote anche nel libero scambio dei commerci internazionali. Il problema vero dovrebbe essere quello di ridurre l'uso dei



combustibili fossili, non quello di cercare di stabilire dei criteri per selezionare il combustibile fossile "migliore".

Le modifiche alla direttiva 2009/30/EC, che era all'esame il 23 febbraio scorso, non hanno raggiunto il consenso nell'apposito comitato tecnico che riunisce la Commissione Europea, l'Europarlamento e il Consiglio Europeo, sollevando le proteste delle associazioni ambientaliste. L'8 marzo, su questa vicenda, anche se non direttamente evocata, si è svolto presso l'Ambasciata del Canada in Italia un convegno "Energia sicura e responsabile. Canada e Italia a confronto", introdotto dall'ambasciatore del Canada in Italia James A. Fox. Nel corso del convegno è emerso che il Canada ha assunto, anche grazie alle sabbie bituminose, una leadership mondiale nel campo delle fonti energetiche e delle tecnologie energetiche per la produzione di energia. Alcuni dati presentati sono significativi: il Canada è al 3° posto nel mondo come riserve di petrolio, al 3° posto come riserve di uranio al 6° posto come produttore di energia elettrica; è terzo produttore mondiale di gas, quinto produttore di petrolio, secondo produttore di uranio. Le sabbie bituminose di cui il Canada dispone e che ammontano al 97% dei 174 miliardi di barili di petrolio delle riserve accertate al 2010 in territorio canadese, rappresentano un'opportunità economica ed un fattore di sicurezza energetico non solo per il Canada, ma anche per altri paesi, proprio perché queste riserve sono in Canada, un paese occidentale, politicamente stabile, ad economia di mercato e con le regole e gli standard (in campo sociale ed ambientale) dei paesi più avanzati.

Il volume delle sabbie bituminose in Canada è stimato in 1.800 miliardi di barili, tale, quindi, da offrire garanzie di sicurezza energetica anche di lungo periodo, superando i problemi delle possibili instabilità politiche dei fornitori come è avvenuto, di recente, in Italia con la Libia durante la cosiddetta "primavera araba". Inoltre, con rigorosi regimi normativi e con le nuove tecnologie, più efficienti, meno invasive del territorio e più rispettose dell'ambiente, la "carbon footprint" del petrolio canadese sarà tale da offrire garanzie di sostenibilità ambientale, oltre che economica e sociale.

Le nuove proposte dell'Unione Europea sulla qualità dei combustibili che, salvo gli oli leggeri, tende ad escludere gran parte della produzione di petrolio canadese, devono perciò essere adeguatamente riconsiderate alla luce di diversi fattori tra cui: quelli dettati dalla WTO (organizzazione mondiale del commercio) per garantire a livello internazionale il libero scambio, e quello più specificamente ambientale, riguardante gli sforzi che il Canada sta compiendo per ridurre le proprie emissioni di gas serra del 17% al 2020 rispetto al 2005, e che ha già fatto tra il 1990 ed il 2009 per ridurre del 29% le emissioni di gas serra per barile di petrolio prodotto.

La decisione finale dell'Unione Europea su questo controverso argomento sarà presa a livello politico dal Consiglio dei Ministri europei nel prossimo mese di giugno.

(Daniela Bertuzzi)

Sempre più ingenti i danni del disastro del Golfo del Messico

Le conseguenze del disastro alla piattaforma petrolifera *Deepwater Horizon*, avvenuto nell'aprile 2010 nel Golfo del Messico, potrebbero essere molto più gravi rispetto a quanto si era inizialmente valutato. Lo dice una ricerca pubblicata on-line sul *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* e condotta da ricercatori ed economisti dell'Università canadese della British Columbia e dell'Università britannica della East Anglia. Le valutazioni più recenti hanno stimato che a seguito dell'incidente sia stato rilasciato in mare un volume di 4,9 milioni di barili di petrolio, pari a 780 milioni di litri, dato che consente di qualificare il disastro del Golfo del Messico come il più grave incidente petrolifero avvenuto in acque americane. In confronto, l'incidente nel Golfo di Alaska alla *Exxon Valdez* del 1989, che aveva provocato il rilascio in mare di 0,5 milioni di barili di petrolio ed era stato giudicato molto grave (oltre un miliardo di dollari), appare ora abbastanza limitato. Con le nuove valutazioni sull'entità dell'incidente alla *Deepwater Horizon* ed esaminando le caratteristiche economiche del Golfo del Messico, i ricercatori hanno valutato, attraverso una serie di modelli economici ed econometrici, i danni sul settore della pesca e quelli ad esso collegati in un periodo di sette

(segue a pagina 15)



La pioggia frena l'energia eolica

La pioggia condiziona la velocità del vento perché le precipitazioni portano via dall'atmosfera una quantità rilevante di energia cinetica contenuta nelle correnti aeree e, poiché la piovosità media globale tenderà ad aumentare con il riscaldamento climatico del nostro pianeta, la velocità media del vento tenderà in futuro a diminuire. Queste sono le conclusioni di una ricerca effettuata da un ricercatore dell'Università di New York e da una ricercatrice della NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), pubblicata sul numero del 24 febbraio della rivista *Science* (<http://www.sciencemag.org/content/335/6071/953>). Per arrivare a queste conclusioni, i ricercatori hanno utilizzato i dati di precipitazione ottenuti dalle misure radar effettuate dal satellite meteorologico della NASA, adibito al programma di osservazioni TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission). I dati rilevati sono stati poi elaborati per valutare la dissipazione di energia cinetica causata dalla pioggia nella fascia di superficie terrestre compresa fra i 30° nord e i 30° sud di latitudine, cioè in pratica tutta l'area intertropicale e quelle adiacenti subtropicali dell'emisfero nord e di quello sud, la cui estensione complessiva equivale alla metà della superficie terrestre. La dissipazione di energia cinetica è stata calcolata in base all'attrito e alla micro-turbolenza atmosferica prodotta dalle gocce di pioggia quando attraversano l'atmosfera fino a giungere al suolo. Il valore finale ricavato corrisponde a un flusso medio di energia cinetica dissipata pari a 1,8 watt/m², un valore che è molto piccolo, attorno allo 0,75%, rispetto ai flussi energetici complessivi esistenti in atmosfera, ma che è abbastanza rilevante, attorno al 22%, se si fa riferimento ai soli flussi di energia cinetica. Se il regime delle precipitazioni cambia e, in particolare, se diventa più veloce il ciclo dell'acqua – evaporazione, condensazione, precipitazioni – anche l'energia cinetica dissipata sarà maggiore e minore sarà il contenuto di energia cinetica disponibile per generare i venti e sostenere le correnti aeree, con il risultato che la circolazione atmosferica tenderà a indebolirsi. Questa tendenza, che è già attuale a

causa dei cambiamenti climatici in corso, sarà molto più marcata in futuro quando l'entità del riscaldamento climatico sarà maggiore. Vale la pena osservare che nell'atmosfera l'energia cinetica è essenzialmente prodotta dai processi di trasferimento del calore dalle zone più calde equatoriali a quelle più fredde polari e, in parte, prodotta dai processi termodinamici che avvengono in atmosfera. Ebbene, precedenti studi, effettuati anche dall'ENEA in Italia, hanno mostrato che, poiché con il riscaldamento climatico la temperatura aumenterà di più ai poli che all'equatore, la produzione di energia cinetica media globale è destinata a diminuire, a causa della riduzione della differenza di temperatura tra zone polari e zone equatoriali. Ora, secondo i risultati di questa ricerca, alla riduzione di ventosità causata dalla minore produzione di energia cinetica globale bisognerà aggiungere un'ulteriore diminuzione di ventosità a causa dell'aumento medio delle precipitazioni, una conclusione questa che non lascia intravedere prospettive favorevoli sullo sfruttamento futuro dell'energia eolica. Tuttavia, poiché la superficie del nostro pianeta non è omogenea, la riduzione effettiva della ventosità non riguarderà tutta la superficie terrestre, ma dipenderà dalla posizione geografica delle diverse aree territoriali e dalle loro caratteristiche: sarà più sensibile per quelle aree dove sarà maggiore l'aumento delle precipitazioni e dove, viceversa, sarà minore il contributo alla produzione di energia cinetica, in relazione alle peculiarità locali e alle prevalenti configurazioni termiche e bariche che si presenteranno.

(Daniela Bertuzzi)



(segue da pagina 13)

anni, comprensivo sia dei danni finora subiti (2010-2012), sia di quelli prevedibili nel prossimo quinquennio (2012-2017). I danni maggiori riguardano le attività dei pescatori, la maricoltura e le attività industriali legate alla produzione ittica. Entro il 2017 i ricercatori stimano che si arriverà a un impatto negativo sull'economia del Golfo del Messico, che si aggirerà su 8,7 miliardi di dollari, con una perdita complessiva di 22 mila posti di lavoro nel settore ittico. A questi danni bisognerà aggiungere quelli correlati alle attività ittiche, e cioè le attività di commercio e quelle legate al settore turistico ricreazionale che, si stima, potrebbero aggirarsi rispettivamente su 4,9 miliardi di dollari e su 3,5 miliardi di dollari. Più difficile è, invece, valutare i danni non direttamente collegati con il settore ittico, come i possibili danni alla salute umana, i danni sociali e al benessere socio-economico, o quelli derivanti dalle mutate opportunità di

sviluppo economico dell'intera area del Golfo del Messico. Ancora più difficile, se non impossibile, è la valutazione dei danni ambientali, di breve e di lungo periodo, sugli ecosistemi marino-pelagici, compresi quelli bentonici, sugli ecosistemi marino-costieri e sulla biodiversità, cui concorrono anche gli anfibi e gli uccelli marini, che direttamente o indirettamente dipendono dagli equilibri del sistema ambientale del Golfo del Messico, equilibri che sono stati modificati e per il cui ripristino occorrerà un numero non prevedibile di decenni futuri. Come evidenziano gli autori di questa ricerca, l'analisi condotta sui danni del disastro del Golfo del Messico è del tutto parziale ed è estesa a un periodo molto limitato di tempo. Il quadro complessivo dei danni appare, invece, sempre più ampio e l'effettiva dimensione delle conseguenze di questo incidente si potrà forse tracciare solo fra molti anni.

(Daniela Bertuzzi)

Un nanorobot contro le cellule tumorali

Sono robot di DNA le Sultimissime nanobiotecnologie intelligenti nate per combattere in modo mirato le cellule tumorali e in generale le patologie cancerogene. Ricercatori della Harvard School of Boston (USA), utilizzando filamenti di DNA ripiegati e intrecciati fra loro (una tecnica denominata "DNA-origami") per costruire nanostrutture tridimensionali, hanno messo a punto un nanorobot capace di muoversi all'interno del corpo umano, di identificare le cellule cancerogene e, infine di attaccarle inducendole all'auto-distruzione. L'articolo che descrive questa nanobiotecnologia è stato pubblicato sul numero del 17 febbraio scorso di *Science* (<http://www.sciencemag.org/content/335/6070/831.full>), ma ne ha parlato anche la rivista *Nature* (<http://www.nature.com/news/dna-robot-could-kill-cancer-cells-1.10047>). In pratica, viene imitato il funzionamento dei leucociti nel sistema immunitario umano, programmando, in questo caso, a priori il nanorobot per colpire quelle cellule che il sistema immunitario non riesce a controllare o a distruggere. Il nanorobot realizzato dai ricercatori ha la forma di un minuscolo barile esagonale delle dimensioni di 35 milionesimi di millimetro (cioè da cento a mille volte inferiore alle dimensioni delle cellule), che si apre e si chiude longitudinalmente, munito di speciali aptameri (filamenti di



acido nucleico) capaci di identificare le cellule bersaglio e di interagire con loro. Questo nano barile contiene al suo interno un "carico" costituito da opportune strutture molecolari che hanno, invece, la funzione di modificare le caratteristiche della cellula bersaglio fino a indurla all'autodistruzione. Quando gli aptameri identificano la cellula bersaglio, secondo le istruzioni programmate, il nano barile si apre e il "carico" entra in funzione per attaccare e distruggere la cellula bersaglio. Sia gli aptameri, sia il "carico" possono agire in modo molto



mirato, non solo per identificare e interagire con le specifiche cellule da distruggere, ma anche per eseguire il loro compito di distruzione in tempi prestabiliti. Quindi, il nanorobot può avere varie applicazioni non limitate soltanto alla terapia delle patologie tumorali, ma può funzionare come un anticorpo specifico contro virus e batteri oppure attivare risposte adatte a combattere le alterazioni del

sistema immunitario. Secondo Barbara Benassi, esperta dell'ENEA nel settore dell'oncologia sperimentale, la messa a punto di questo tipo di nanorobot potrebbe aprire nuove possibilità applicative per l'organismo. In particolar modo in campo oncologico, ma non solo, l'utilizzo di queste nanobiotecnologie permetterebbe di superare uno dei principali limiti applicativi delle terapie sistemiche antineoplastiche, quali la non specificità del bersaglio biologico. Dal momento che i nanorobot possono essere progettati e programmati in modo da rilasciare il loro "carico" esclusivamente in presenza di un "marker" molecolare caratteristico e possibilmente esclusivo della cellula patologica, quale ad esempio un antigene di superficie, l'effetto della terapia basata sul DNA-origami potrebbe risultare molto più specifico, e quindi meno tossico, di una strategia convenzionale. Allo stato attuale i nanorobot non hanno lunga vita nell'organismo umano perché vengono processati e rimossi dal fegato oppure distrutti ad opera di specifici enzimi. Tuttavia, la loro stabilità si potrebbe in prospettiva prolungare mediante eventuali sinergie con diverse sostanze, quali ad esempio il polietilen glicol, in modo da protrarre nel tempo, in relazione al tipo di patologia, l'effetto della specifica terapia molecolare da somministrare mediante nanorobot.

(Caterina Vinci)

Le grafine? Superiori al grafene

Il carbonio non finisce mai di stupire. Finora ci aveva strabiliato con sorprendenti proprietà e applicazioni sui nanomateriali, quali ad esempio il fullerene, i nanotubi di carbonio e il grafene. Così come ci aveva meravigliato svelando le diverse strutture molecolari (allotropi) che formano gli atomi di carbonio quando si legano tra loro, ma le sorprese non sono finite. Nuovi nanomateriali, sempre a base di carbonio, denominati *grafine*, si rivelano a noi con nuove strabilianti strutture, ma soprattutto con proprietà e caratteristiche che, in alcuni campi di applicazione, sembrano superare quelle del grafene.

Il grafene è una struttura bidimensionale di spessore atomico, con una tipica configurazione esagonale ad alveare, che possiede eccellenti proprietà di resistenza meccanica e di conduttività elettrica. Le grafine, come il grafene, sono strutture bidimensionali di spessore atomico ma, a differenza del grafene, i legami fra gli atomi di carbonio non sono singoli e omogenei, ma possono essere doppi e tripli, con il risultato che le configurazioni risultanti differiscono dalla nota struttura esagonale ad alveare del grafene e possono essere teoricamente molto diverse tra loro e da quelle del grafene stesso. Le diverse configurazioni hanno caratteristiche particolari, in relazione alle proprietà di resistenza meccanica e di conducibilità elettrica. Infatti,



queste non sono più isotrope come nel grafene, cioè le stesse lungo qualsiasi direzione, ma hanno la capacità di cambiare nelle diverse direzioni. Inoltre, le grafine sono più leggere: hanno una densità (e un peso) che è circa la metà di quello del grafene.

Le grafine non esistono ancora nella realtà, quantunque alcuni frammenti siano stati già prodotti in laboratorio. Tuttavia, se ne stanno studiando le caratteristiche e le possibili applicazioni da un punto di vista teorico, attraverso simulazioni modellistiche computerizzate.

In un recente articolo apparso su *Physical Review Letters* (<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v108/i8/e086804>), ripreso nell'ultimo numero di *Science* (<http://news.sciencemag.org/sciencenow/2012/03/graphyne-could-be-better-than-gr.html?ref=hp>) sono descritte le ultime ricerche teoriche effettuate da un gruppo di ricercatori dell'Università di Erlangen-Nürnberg, in Germania, su tre tipi di grafine con tre diverse strutture molecolari e che presentano proprietà meccaniche ed elettriche asimmetriche.

Una di queste strutture, a simmetria rettangolare e denominata grafina 6,6,12, mostra, secondo i risultati di questo studio, una conduttività elettrica anche superiore a quella del grafene, ma lungo una sola direzione preferenziale, mentre lungo le altre direzioni la conducibilità elettrica è pari a quello di un materiale isolante. Ciò significa che tale tipo di grafina può trovare applicazioni nella fabbricazione di nanotransistor superveloci o di

altri nanodispositivi elettronici basati sulla direzionalità della corrente elettrica.

Le ricerche sui nanomateriali a base di carbonio sono particolarmente promettenti per le nano tecnologie e il futuro dell'innovazione tecnologica, in quanto sfruttano le proprietà dell'atomo di carbonio, la cui versatilità nel coordinare differenti strutture è alla base della chimica organica, oltre che delle strutture organiche che consentono la vita, ha commentato Marco Vittori, Responsabile dell'Unità Tecnica Tecnologia dei Materiali dell'ENEA.

La difficoltà, come spesso accade, sta nel tradurre in dispositivi sperimentali, che rappresentano i primordi di una tecnologia, le intuizioni o i risultati di simulazioni numeriche. Se si riuscirà a concretizzare questo aspetto, le grafine potrebbero giocare un ruolo importante per l'elettronica di domani. Si tratta quindi di passare dalle simulazioni al computer alle prove sperimentali necessarie a individuare il metodo migliore per produrre questo tipo di materiale.

(Caterina Vinci)

L'energia da fusione nucleare nel mirino

Il 15 marzo i ricercatori della National Ignition Facility (NIF) del Lawrence Livermore National Laboratory (Ca) hanno raggiunto un importante risultato tecnologico, molto atteso anche se non sufficiente a garantire la fattibilità della fusione nucleare.

La NIF è progettata per innescare la fusione nucleare convogliando energia mediante potenti fasci laser su un bersaglio di isotopi dell'idrogeno (deuterio e trizio); l'implosione porterebbe il bersaglio a temperature di milioni di gradi e densità centinaia di volte superiore a quelle di un solido, condizioni necessarie per l'ignizione del combustibile nucleare.

Il raggiungimento della potenza di progetto in tutti i 4 settori di 48 laser ciascuno dimostra la maturità della ricerca sui laser di alta potenza e sui sistemi ottici di trasporto e controllo del fascio. Per evitare danneggiamenti dovuti alle elevate concentrazioni di energia, i fasci e alcuni componenti ottici hanno dimensioni che possono raggiungere i 40 centimetri di lato. Lo "sparo" record è avvenuto senza danni rilevanti e l'impianto è stato in grado di riprendere le operazioni dopo breve tempo.

L'energia dei fasci non è la sola grandezza importante, occorre che questi siano sincroni, spazialmente uniformi, con controllo del profilo temporale e dei possibili impulsi precursori. Inoltre, enormi cristalli ottici devono convertire la radiazione infrarossa del laser in radiazione



ultravioletta per una migliore interazione con il bersaglio. La focalizzazione, su bersagli di dimensioni inferiori al millimetro, deve essere molto accurata e uniforme per evitare che durante l'implosione si sviluppino instabilità che ridurrebbero la compressione finale.

Per il momento la campagna sperimentale si limita alla cosiddetta illuminazione indiretta nella quale il laser irraggia, attraverso opportune aperture, le pareti interne di un minuscolo cilindro d'oro, che a sua volta diviene un illuminatore uniforme a raggi X per la capsula di combustibile in esso contenuta.

Siamo ancora lontani da un possibile prototipo per produrre energia nucleare. Il laser necessario per un reattore dovrà produrre impulsi di questo tipo molte volte al secondo su bersagli successivi. Questo comporta un ulteriore impegno nella ricerca sui sistemi di pompaggio ottico del laser

nonché della tecnologia di produzione, posizionamento e smaltimento dei bersagli. Lo sfruttamento energetico della fusione nucleare richiede la dimostrazione che nelle microesplosioni l'energia prodotta sia superiore a quella impiegata, questo è l'obiettivo fondamentale della NIC americana (National Ignition Campaign) in corso.

La progettazione dei bersagli da impiegare è tra i parametri più decisivi per raggiungere alti guadagni, la loro realizzazione richiede uno sviluppo tecnologico che dovrà anche ridurre apprezzabilmente i costi di produzione. Schemi di compressione più complessi, la 'shock ignition' e la 'fast ignition', finalizzati ad una maggiore efficienza del processo sono considerate con grande interesse. Entro un paio di anni l'impegno europeo sulla fusione inerziale sarà rivolto all'esperimento francese LMJ (Laser MegaJoule) che avrà caratteristiche simili al NIF.

Inoltre è in fase di studio l'esperimento HiPER, finanziato da molti paesi europei, che dovrebbe costituire l'ultimo gradino prima di un reattore dimostrativo.

La produzione di energia da fusione nucleare può avvenire anche seguendo un principio completamente diverso, basato sul confinamento prodotto da elevati campi magnetici. Questa via prevede la generazione di plasmi molto meno densi ma di dimensioni e tempi di vita molto maggiori. Attualmente, questo è il progetto più oneroso per la comunità europea che sta realizzando il tokamak ITER, il cui primo plasma è atteso tra poco più di 10 anni.

L'ENEA partecipa attivamente allo studio della fusione nei laboratori di Frascati dove sono presenti l'impianto ABC per lo studio di plasmi a confinamento inerziale e il tokamak FTU per lo studio del confinamento magnetico.

(Antonino Dattola, Riccardo de Angelis)

Addio a Renato Dulbecco, “forward-thinking scientist”

Tutti gli studenti di Medicina, Biologia, Biotecnologie degli ultimi 50 anni, hanno incontrato, durante il loro corso di studi, Renato Dulbecco. Infatti, non vi è libro scientifico, trattato o manuale di laboratorio che non riporti il nome del professore che ha reso “grande” la Virologia molecolare. Laureato giovanissimo in Medicina all’Università di Torino, apprende il rigore scientifico dalla scuola di Giuseppe Levi, anatomo-patologo, mentore di ben tre premi Nobel (Luria, Levi Montalcini e dello stesso Dulbecco). Lascia l’Italia per gli Stati Uniti, dove lega il suo nome alle più grosse istituzioni statunitensi come il Caltech e il Salk Institute. La sua brillantissima carriera di virologo lo vede inizialmente impegnato insieme a Salvator Luria nello studio dei Batteriofagi (virus dei batteri), ma è con il passaggio nel gruppo di Max Delbrück che intraprende la ricerca nel campo che diventerà fondamentale per sua carriera: quello dei virus oncogeni umani. Dulbecco dimostra per primo che l’infezione da parte di alcuni virus può comportare l’introduzione permanente di geni virali nel genoma della cellula ospite e che questo evento determina l’acquisizione di un fe-

notipo tumorale; egli scopre che il trasferimento delle sequenze virali è mediato da un enzima, la trascrittasi inversa o, più precisamente, la DNA polimerasi RNA-dipendente. È questa una delle scoperte fondamentali che hanno dato l’impulso agli studi su meccanismi molecolari di base su cui si fonda tutta la ricerca attuale nell’ambito della cancerogenesi, tema che lo vede sempre protagonista, con pubblicazioni sulle più prestigiose riviste del settore, fino a pochi anni or sono. Premio Nobel per la Fisiologia e la Medicina nel 1975, insieme a David Baltimore, Renato Dulbecco è a buona ragione anche uno dei padri fondatori della genomica del ventunesimo secolo, quale propugnatore del primo grande progetto di sequenziamento del genoma umano. Rimane sempre attento al contesto italiano della ricerca in questo settore e, alla fine degli anni novanta, fa il punto sullo stato dell’arte del contributo e dei futuri indirizzi che l’Italia decide di dare in quest’area di ricerca. Paladino di una ricerca libera da vincoli politico-ideologici, sottoscrive, insieme con altri scienziati, un accurato appello al Congresso USA e, poi, al Presidente Bush, mettendo in evidenza la necessità di non

porre restrizioni, se non quelle dettate da etica scientifica, agli studi sulle cellule staminali embrionali senza i quali, si cita testualmente, “...i tremendi benefici scientifici e medici derivati, non potrebbero essere messi a disposizione dei pazienti che ne hanno un disperato bisogno”. Figura di riferimento per i molti cervelli che lasciano l’Italia a causa della cronica incapacità delle istituzioni di attuare progetti che valorizzino i percorsi culturali-formativi di eccellente qualità che l’insegnamento universitario propone, Dulbecco appare uno dei testimoni chiave della rivoluzione della conoscenza biologica attuale. La rivoluzione a cui tutti stiamo assistendo, deriva principalmente dalla velocità con la quale si procede con la decifrazione puntuale del corredo genomico dei viventi, cosa che è già di importanza strategica per la salute dell’uomo, per l’agricoltura e per l’ambiente. Nel prendere atto che una pietra miliare della storia della biologia dei tempi moderni sia stata posta da un italiano, osserviamo con scarsa soddisfazione che le eccellenze italiane in campo scientifico non hanno spesso modo di esprimersi in Italia, ma all’estero.

(Eugenio Benvenuto)

NEUTRINI

I risultati dell'esperimento "Icarus" condotto da Carlo Rubbia, premio Nobel per la fisica, nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN e pubblicati on-line il 16 marzo scorso, hanno dimostrato che i neutrini non viaggiano a velocità superiore a quella della luce, smentendo quanto era stato trovato in precedenza con un altro esperimento denominato "Opera" condotto da Antonio Ereditato, dell'Università di Berna, i cui risultati erano stati pubblicati il 23 settembre 2010.

A seguito delle polemiche sorte sui neutrini più veloci della luce e dopo un'altra verifica effettuata da Antonino Zichichi il 28 marzo con l'esperimento LVD, Antonio Ereditato ha deciso il 31 marzo scorso di dimettersi da coordinatore dell'esperimento "Opera". Qui di seguito il commento di un esperto dell'ENEA

Il fantasma dell'Opera

■ Emilio Santoro

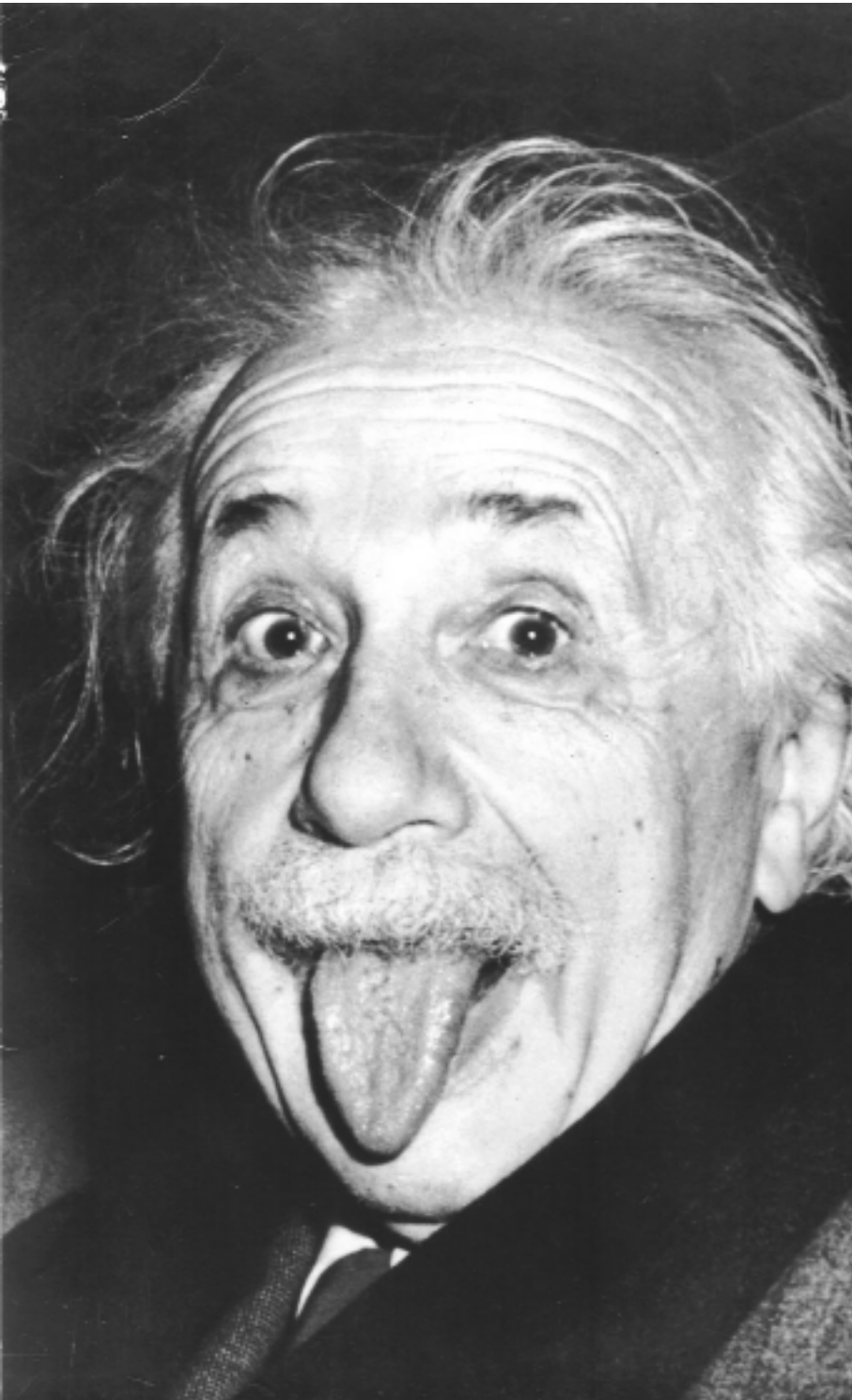
Contrordine ragazzi. Forse ci siamo sbagliati. Era ancora troppo presto per esserne veramente sicuri. Un probabile difetto nel collegamento di certi apparati elettronici ha prodotto il fantasma della supervelocità dei neutrini che, indifferenti, sia al brulicante mondo materiale, sia al "gossip" da qualche tempo circolante intorno alle loro fin troppo dinamiche abitudini di viaggio, continuano infaticabili a spostarsi da una parte all'altra di un universo per essi malinconicamente vuoto alla stessa invariabile velocità, quella della luce. Che dire? Qualche tempo fa, su queste pagine, abbiamo fatto un po' di conti per calcolare esattamente a quanto ammontasse il surplus di velocità: un'inezia che però avrebbe potuto avere un effetto molto amplificato sulle assunzioni di una teoria ormai vagliata fin nelle pieghe più riposte, come quella della relatività di Einstein. Ebbene, pare che quella manciata di chilometri al secondo in più rispetto all'immutabilità quasi sacra della velocità della luce fosse l'artefatto di un problema molto più terra-terra e del tutto umano.

La ricerca vive di conferme per validare teorie. Così come gli errori. E già, anche gli errori vanno ben analizzati, valutati, soppesati. Nel nostro caso, la domanda nasce spontanea: l'effetto di quel falso contatto (o di tutto l'insieme possibile degli eventuali difetti di allestimento dell'esperienza) può bilanciare e giustificare *esattamente* l'eccesso di velocità dei neutrini che è stato registrato? Come a dire che se si dovesse scoprire, ripetendo l'errore più volte, che quest'ultimo può spiegare la superluminarità dei neutrini fino al 99% dei casi, rimarrebbe quell'1% di incertezza sull'effettiva realtà del fenomeno. Troppo poco? Stiamo facendo filosofia? No. Questo è il bello, l'affascinante della ricerca: si ripeterà l'esperimento, magari in altri laboratori e in altre condizioni, con connettori più affidabili e con personale più energico nel collegarli, meno vergognoso nel promuovere piccanti accoppiamenti tra fibre ottiche e tra orologi atomici, forse a caccia non dei neutrini, ma dell'errore. In fondo, se posso permettermi di invidiare chi fa tredici al totocalcio, non potrei ugualmente ammirare anche chi riesca a sbagliare tutto e fare zero?

Einstein ha elaborato una teoria mirabile fondandola sul postulato di insuperabilità della velocità della luce nel vuoto. E in tanti avevano già lacerato le loro vesti,

■ Emilio Santoro

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie e Impianti per la Fissione e la Gestione del Materiale Nucleare



gridando allo scandalo, o fregandosi per contro le mani, assaporando la voluttà, un po' perversa, del: "Lo sapevo io! Era tutto sbagliato, e ora rifacciamo tutta la fisica!". Il padre della relatività può continuare il suo sonno tranquillo. La velocità del pensiero di un genio fa impallidire, sia quella della luce, sia quella di questi vivaci e inafferrabili neutrini. L'eleganza suprema della sintesi raccolta nella sua teoria lo dimostra. Niente può fermare il pensiero dell'uomo.

E i neutrini? Preoccupati perché non attraverseranno più le prime pagine dei giornali? Niente paura: li attraverseranno, eccome! Attraverseranno giornali, esseri umani, città, tunnel (quelli veri!), pianeti, sistemi solari, galassie. Da qualche parte essi interagiranno pure, perché la statistica ha pure la sua ragion d'essere. Sono le particelle più abbondanti dell'universo, molto più dei protoni e degli elettroni contati insieme, ma anche le più *timide*. Ad esempio, chi si è preoccupato del diluvio intenso di neutrini abbattutosi sulla Terra il 23 febbraio del 1987, alle 7 e 30 orario di Greenwich, proveniente da una supernova di una lontana galassia? Forse in quel giorno ci saranno pure stati mille giustificati motivi per lamentarsi di qualcosa, ma posso assicurarvi che nessuno l'ha fatto per i neutrini piovuti dal cielo.

Ed Einstein, col sorriso sornione di chi la sa lunga, attraversa invece il nostro sapere e la nostra cultura, lasciando sì traccia indelebile delle sue idee formidabili, ma anche i germogli del progresso della nuova conoscenza. Forse egli è andato oltre. Forse aveva la capacità, più di altri ciarlatani indovini del futuro, di guardare oltre. Forse già sapeva di questi nostri giorni. Ripensate all'immagine irriverente che lo ritrae mentre egli fa la linguaccia. Una foto famosa. Probabilmente l'aveva indirizzata al futuro, lui vero mago dei salti spazio-temporali. A chi già gridava che la sua teoria era ormai superata...

SPAZIO

Il volo inaugurale di VEGA, il nuovo lanciatore dell'Agencia Spaziale Europea, è avvenuto la mattina del 13 febbraio scorso dalla Guyana Francese. Nel carico secondario del lancio c'era anche il satellite ALMASat-1, nato dal Laboratorio di Microsatelliti e Microsistemi Spaziali della Seconda Facoltà di Ingegneria dell'Alma Mater con sede a Forlì.

Intanto, il laboratorio forlivese è già al lavoro per il successore di ALMASat-1: si chiamerà ALMASat-EO e sarà dedicato all'osservazione della Terra dallo spazio. Qui di seguito il coordinatore del progetto presenta l'ALMASat-1 e descrive questo satellite

Con il lancio inaugurale del vettore VEGA un dimostratore tecnologico in orbita: ALMASat-1

■ Paolo Tortora

In Italia c'è un'importante tradizione nella costruzione di piccoli satelliti universitari a carattere scientifico; fin dall'inizio del programma San Marco, iniziato negli anni 60, l'Università Sapienza di Roma ha avuto un ruolo guida in questo tipo di progetti. L'ultimo satellite lanciato dalla piattaforma San Marco, il quinto di una serie lanciata con successo dalla omonima base in Kenya, è stato lanciato nel 1988. Questa tradizione è stata rinnovata negli ultimi anni con l'istituzione, in molti atenei italiani, di una serie di programmi per la costruzione di piccoli satelliti, un'attività che ha dato ottimi frutti sia sotto il profilo scientifico, sia come "palestra" per la formazione di un'intera generazione di ingegneri aerospaziali.

Sulla stessa scia è nato, presso la sede di Forlì della Seconda Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna (UniBO), il programma ALMASat (Alma MAter SA-

Tellite). Con questo programma si intende effettuare ricerca applicata, studiando e sperimentando la possibilità di impiego di tecnologie terrestri in ambito aerospaziale, effettuando prove in orbita di tecnologia allo stato dell'arte, con tempi di costruzione rapidi, ottenendo anche una considerevole riduzione dei costi. Si ha dunque la possibilità di effettuare missioni innovative, fornendo anche alla comunità scientifica uno strumento per effettuare piccoli esperimenti in orbita, e dando l'opportunità di sviluppare tecnologie in ambito aerospaziale alle Piccole e Medie Imprese. Allo stesso tempo il progetto è pensato per gli studenti, che hanno l'opportunità di migliorare la propria formazione partecipando ad un progetto concreto, in particolare nello svolgimento della tesi di laurea o della tesi di dottorato. Gli stretti contatti con l'industria aerospaziale facilitano anche l'ingresso dei giovani laureati nel mondo del lavoro.

Si è poi avuta la possibilità di istituire un laboratorio permanente di microtecnologie spaziali (il Laboratorio di Microsatelliti e Microsistemi Spaziali) e una sta-

■ Paolo Tortora

Università di Bologna, Seconda Facoltà di Ingegneria, Forlì

zione di terra per ricetrasmisione dati di satelliti in orbita bassa (AMGS – Alma Mater Ground Station), sempre presso la sede di Forlì della Seconda Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna (figura 1) realizzata con sistemi d'antenna facilmente reperibili sul mercato nazionale.



FIGURA 1 Stazione di terra AMGS (Alma Mater Ground Station) installata presso la sede di Forlì dell'Università di Bologna

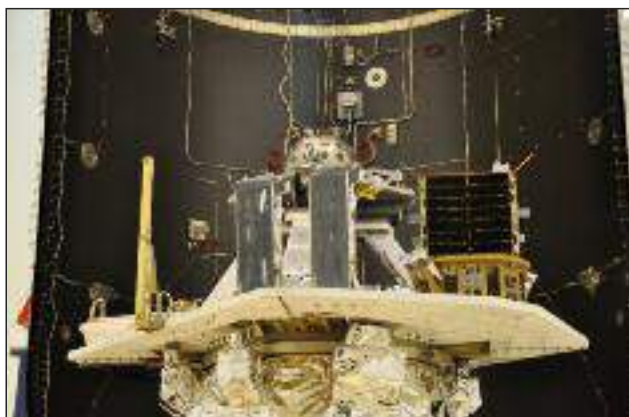


FIGURA 2 ALMASat-1 (a destra sul LARES system) prima della chiusura dei *fairings* di VEGA, in configurazione di lancio

Per il primo satellite ALMASat-1 (figura 2), lanciato lo scorso 13 febbraio 2012 dallo spazioporto europeo di Kourou (Guyana Francese), si è scelto di privilegiare gli aspetti tecnologici rispetto a quelli scientifici, per qualificare per il volo orbitale tutte le tecnologie sviluppate, e poterle riutilizzare per la costruzione di altri satelliti con esperimenti scientifici in futuro. Molti dei sottosistemi di ALMASat-1 sono stati assemblati impiegando tecnologie disponibili in commercio, garantendo in questo modo la capacità di allestire missioni *low-cost* e con rapida risposta.

Caratteristiche di ALMASat-1

Il microsatellite consiste in un prisma cubico, con una struttura modulare di cassette in alluminio e quattro pannelli laterali in nido d'ape di fibra di carbonio e Nomex. Il sistema di determinazione e controllo d'assetto fornisce una stabilizzazione a tre assi con puntamento verso il Nadir in modo da soddisfare la performance di puntamento tipica di *payload* equipaggiati con camere ottiche e sensori multispettrali. Il sistema di determinazione d'assetto è composto da quattro sensori di Sole (progettati e sviluppati da UniBO) e da due magnetometri. Il sistema di controllo d'assetto è invece composto da una ruota di momento in rotazione attorno all'asse di *pitch* e da tre coppie di bobine magnetiche tra loro ortogonali.

ALMASat-1 include anche un sistema di micropropulsione come *payload* tecnologico, anch'esso interamente progettato, sviluppato e assemblato presso UniBO, in collaborazione con Carlo Gavazzi Space, la quale ha prodotto i *micro-thruster*. Tale impianto impiega per la propulsione gas freddo inerte (azoto) ed è in grado di produrre una spinta prevista costante di 0,75 mN a una pressione costante di 0,1 MPa.

Il sistema di comunicazione è composto da tre blocchi principali che lavorano in diverse bande di frequenza: un sistema in banda VHF viene utilizzato come canale di up-link per dati e telecomandi dalla stazione di terra, mentre un secondo sistema in banda UHF costituisce il canale principale di down-link per le informazioni di telemetria del satellite. La missione ALMASat-1 ospita a bordo anche un sistema di comunicazione in banda S (sempre sviluppato da UniBO) con data-rate (fino a 38.400 bps).

Il sistema di alimentazione di ALMASat-1, infine, si

compone di tre parti principali: pannelli solari, batterie e una scheda dedicata alla gestione della potenza in gioco. Il sistema fotovoltaico del satellite è basato su celle solari a tripla giunzione (TJ). Il satellite possiede quattro pannelli in *honeycomb* di fibra di carbonio e *Nomex* con celle solari all'arseniuro di gallio posizionate sui lati. Sul coperchio superiore del satellite è posizionata una ulteriore serie di celle solari per un numero totale di celle pari a sedici. Per il sistema di immagazzinamento della potenza sono impiegate batterie agli ioni di litio: tre pacchi da 2.600 mAh sono connessi in parallelo per aumentare la ridondanza.

Il sistema di separazione di ALMASat-1 dal lanciatore (ADapter and Separation System – AD-SS) è stato progettato seguendo i requisiti del lanciatore VEGA, i requisiti generali di missione e di ulteriori requisiti specifici relativi alla geometria e le proprietà inerziali di ALMASat-1. In primo luogo, l'adattatore deve garantire il corretto posizionamento del satellite sullo stadio superiore del lanciatore durante le fasi iniziali di lancio, quando i carichi esterni dovuti allo shock dato dall'accensione dei diversi stadi del missile, alle vibrazioni ed alle accelerazioni del veicolo raggiungono i valori massimi.

L'AD-SS nella sua configurazione finale è basato sul tipico metodo di separazione a 2-*clamps*, frequentemente usato per micro-satelliti e nano-satelliti. L'adattatore è costituito da due perni mobili di spinta, che vincolano due angoli diagonalmente opposti della piastra di base del satellite ad un grande cilindro che supporta il satellite e che funge da interfaccia con il veicolo di lancio.

Da un punto di vista funzionale, il satellite viene fissato

al supporto cilindrico mediante precarico dei perni mobili che agiscono su superfici inclinate a 45° della piastra di fondo del satellite. Una coppia di molle per *clamp* garantisce la loro veloce estensione e contestualmente il rilascio del satellite, una volta che gli attuatori dei *clamp* rilasciano il precarico dei perni mobili di spinta. Una volta che i *clamp* sono estesi, quattro molle dotate di distanziatori in PTFE, spingono il satellite e lo separano dal lanciatore applicando una velocità relativa fissata ad 1 m/s. Come attuatori dei *clamps* sono stati selezionati gli attuatori non esplosivi ERM-E-2000 prodotti dalla TiNi Aerospace, che garantiscono bassi livelli di *shock* e non pongono problemi di sicurezza come gli attuatori pirotecnici (oltre ad essere riutilizzabili fino a 50 volte, facilitando lo svolgimento di numerose prove funzionali).

Il lancio

L'opportunità di lancio per ALMASat-1, identificata all'inizio del 2008 e concretizzatasi pochi mesi dopo, riguardava il lancio inaugurale del nuovissimo piccolo (per così dire, visto che misura 30 metri di altezza, 3 di diametro massimo e 137 tonnellate di peso) lanciatore VEGA, allora programmata per la fine del 2009. VEGA è stato ideato con l'obiettivo di rendere l'accesso allo spazio il più semplice possibile: si tratta infatti di un lanciatore per satelliti di piccole dimensioni, fino a 1.500 kg, che completa la famiglia di lanciatori europei (composta da "Ariane 5" per satelliti fino a 5 o 6 tonnellate e dalla "Soyuz" per satelliti fino a 3 tonnellate).

Nel suo primo volo, era stato stabilito che VEGA met-

FIGURA 3 Il modello di volo dell'adattatore e sistema di separazione di ALMASat-1

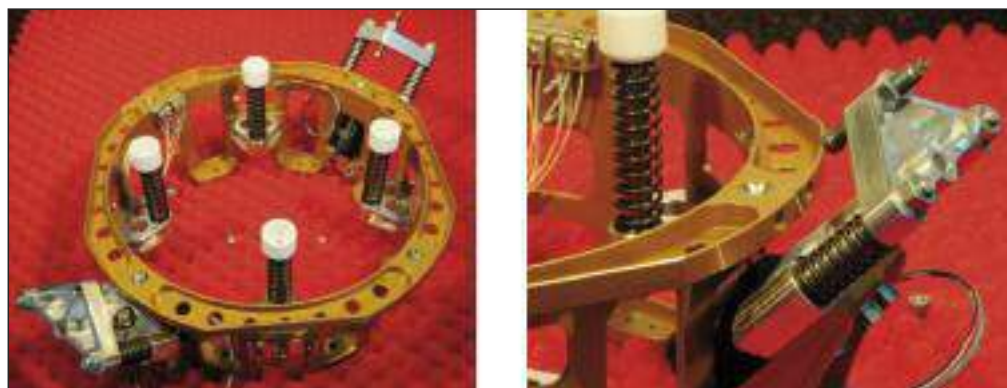




FIGURA 4 Il *lift-off* di VEGA, al suo volo inaugurale, il 13 febbraio 2012

tesse in orbita un carico utile principale italiano, fornito dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), rappresentato dal satellite scientifico LARES (LAsEr RELativity Satellite) volto a misurare l'effetto relativistico Lense-Thirring con una precisione dell'1%, attraverso l'uso della tecnica del *laser ranging*. Insieme a LARES, il sistema comprendeva tre *dispenser* per nanosatelliti, per il rilascio in orbita di sette CubeSats forniti dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea) a seguito di una *call for proposals* per la realizzazione di Cubesats rivolta ad università europee, ed il microsatellite ALMASat-1 dell'Università di Bologna.

Dopo vari rinvii, dovuti a questioni tecniche legate allo sviluppo del lanciatore e del suo sistema di supporto a terra, la data di lancio è stata fissata per il 13 febbraio, con lancio alle ore 7.00, ora locale di Kourou (11.00, in Italia).

Il lancio ha rappresentato un completo successo di questo attesissimo volo di qualifica: il primo stadio del vettore si è regolarmente separato a due minuti dal *lift-off*, il secondo dopo un altro minuto e mezzo e il terzo a sei minuti dal lancio. Il quarto stadio ha quindi continuato a volare per tre quarti d'ora circa, fino a raggiungere l'orbita prefissata a 1.450 km d'altezza

per il rilascio, in sequenza, di LARES (55 minuti esatti dal lancio) e, dopo una manciata di minuti, degli altri 8 esperimenti a bordo: ALMASat-1 e i sette CubeSats. Fondamentale il contributo italiano: con un investimento pari al 63% della spesa totale, il nostro Paese rappresenta il principale "azionista" del Programma, sviluppato dall'Agenzia Spaziale Europea e realizzato con il forte contributo dell'ASI e di industrie come ELV ed Avio.

Il futuro

A mettere le mani su ALMASat-1, assieme allo staff del Laboratorio di Microsatelliti e Microspaziali dell'Università di Bologna, sono stati gli studenti: ne sono passati una quarantina, nel corso dei sei anni di progettazione e costruzione, ognuno prendendosi carico di un piccolo sottosistema nel corso del loro tirocinio e/o tesi di laurea.

La conquista dello spazio dell'Università di Bologna però non si ferma. Il laboratorio di Microsatelliti è già al lavoro sul successore di ALMASat-1: si chiamerà ALMASat-EO e sarà un satellite dedicato all'osservazione della Terra dallo spazio. Finanziato dal Miur, il nuovo satellite segna anche l'avvio di ALMASpace, lo spin-off commerciale nato dal laboratorio di Microsatelliti. Al momento dà lavoro a nove persone, tutti laureati passati dal Laboratorio di Microsatelliti, con una forte esperienza "sul campo". Il nuovo satellite è già stato accettato per il secondo lancio del lanciatore VEGA (denominato VERTA-1), al momento previsto per i primi mesi del 2013.

E proprio per il volo VERTA-1, ALMASpace è stata investita da parte di ESA dell'importante responsabilità di realizzare gli adattatori ed i sistemi di separazione anche per gli altri due microsatelliti da 160 kg l'uno che, insieme ad ALMASat-EO, verranno immessi in orbita eliosincrona: PROBA-V, commissionato da ESA e realizzato dalla belga QinetiQ Space, e TechDemoSat, dimostratore tecnologico della inglese SSTL, pioniera dell'attività dei microsatelliti in Europa, sin dagli anni 90.

BIOECONOMIA

Una strategia europea sulla bioeconomia è stata recentemente adottata dalla Commissione europea con un focus specifico sull'uso sostenibile delle risorse rinnovabili per produrre alimenti, mangimi, bio-energia e bio-materiali. Nel 2009 l'OECD aveva già dedicato un suo report alla definizione di un'agenda politica per i potenziali sviluppi della bioeconomia nel 2030. Cosa accomuna e cosa invece differenzia le due visioni?

Bioeconomia in Europa, nel mondo

■ Marina Leonardi

Se si pensa alla popolazione del pianeta e alla necessità di sfamarla anche quando raggiungerà quota 9 miliardi, si coglie immediatamente la dimensione del problema. La crescita demografica porterebbe, secondo alcune stime, ad un incremento del 70% della domanda alimentare, con un previsto raddoppio del consumo di carne.

In Europa questo implicherebbe la necessità di sfruttare in modo non sostenibile le risorse naturali, con prevedibili effetti nefasti sul cambiamento climatico e sulla biodiversità.

In gioco, a livello complessivo, ci sono le risorse non infinite di un pianeta già molto sfruttato e le necessità primarie di coloro che lo popoleranno in un futuro molto vicino.

La *food security* – garantire a ciascun individuo una dieta sufficiente in termini quali-quantitativi – è già oggi un problema di dimensioni globali. Per provare a garantirla, bisogna agire in modo integrato su tre aspetti cruciali: *resilience* (capacità di ripresa), *sustainability* (sostenibilità), *productivity* (produttività) come ha ricordato in un recente incontro Antonio Di Giulio, Capo dell'Unità Aspetti Orizzontali del Directorate E - Biotecnologie, Agricoltura, Alimenti della DG Ricerca e innovazione della Commissione europea.

D'altra parte, la popolazione europea può anche essere indotta a cambiare (migliorandolo) il proprio stile di vita, a modificare la domanda e al contempo a ridurre gli sprechi di alimenti. Questo ultimo aspetto ha due declinazioni diverse se si pensa all'Europa, dove la maggior parte degli sprechi avviene nella fase di distribuzione alimentare e nelle abitazioni, e ai Paesi poveri o emergenti. In questi ultimi le perdite alimentari sono soprattutto riscontrabili lungo la filiera produttiva, a partire dai campi per proseguire nella post-raccolta. In Europa, invece, lo spreco alimentare costa al contribuente tra 55 e 90 euro per tonnellata da eliminare, e produce, al contempo, ben 170 milioni di tonnellate di CO₂. Questi quantitativi di alimenti non utilizzati potrebbero essere trasformati in bio-energia o altri prodotti, tra l'altro offrendo nuova occupazione.

Un altro aspetto cruciale del problema è rappresentato dal ricorso eccessivo, nella dieta dei Paesi più ricchi, alle proteine di origine animale con effetti di aumento dei costi delle *commodities*, incrementi che possono essere messi in relazione in alcuni casi anche con il ricorso ai biocombustibili. Quest'ultimo aspetto è stato oggetto di numerosi interventi e non rappresenta il tema del presente articolo, tuttavia è noto che le soluzioni possibili in relazione alle materie (prime e seconde) da cui ottenere bioenergia sono allo studio ed esistono possibilità alternative alle *crop* finora utilizzate, come le alghe (micro e macro) e altre colture che non sot-

■ Marina Leonardi

ENEA, Relazioni Internazionali

traggano terreno alle coltivazioni a fini alimentari. La natura orizzontale della bioeconomia è tale che può affrontare alcune delle sfide interconnesse rappresentate dalla sicurezza alimentare, che si deve confrontare con la scarsità di risorse naturali e con la dipendenza di alcuni Paesi dal petrolio e dalle risorse energetiche fossili, e che deve fare i conti con il cambiamento climatico, tutto ciò garantendo al tempo stesso crescita e sviluppo.

La pervasività delle imprese *bio-based* è tale che in Europa esse rappresentano un settore economicamente molto importante, essendo la bio-industria europea di dimensioni inferiori solo a quella US, del Giappone e della Corea del Sud, ma ancora superiori rispetto ai cosiddetti Paesi BRICS (Brasile, Russia, India, Cina, Sudafrica). La bioeconomia europea presenta infatti un fatturato di circa 2.000 miliardi di euro e impiega oltre 22 milioni di persone, che equivale al 9% dell'occupazione complessiva dell'UE. Comprende i settori dell'agricoltura e della produzione alimentare, della silvicoltura, della pesca, della produzione di pasta di carta e carta, nonché alcuni comparti dell'industria chimica, biotecnologica ed energetica. Si è calcolato che, per ogni euro investito in ricerca e innovazione nella bioeconomia, la ricaduta in valore aggiunto nei settori del comparto sarà pari a dieci euro entro il 2025.

Consapevole di questi e molti altri aspetti del problema, l'Europa ha deciso di investire su tale sfida 4,7 miliardi di euro per *"Food security, sustainable agriculture, marine e maritime research and the bioeconomy"*. Ad integrazione di questi fondi, ne saranno impegnati altri per aumentare ricerca, innovazione e competenze nel settore; ma l'*Action plan* europeo prevede anche un coordinamento delle politiche europee e un maggior coinvolgimento degli *stakeholder*, mediante la creazione di un Bioeconomy Panel, di un Osservatorio dedicato e di continui incontri/conferenze con i vari portatori di interesse.

La strategia europea, per la stessa natura della bioeconomia, può trovare sinergie e aspetti complementari con altre politiche dell'Unione, altri strumenti finanziari come i Fondi di Coesione la Politica Comune dell'Agricoltura e della Pesca e mol-

te altre politiche legate all'ambiente, all'energia, alla salute ecc.

La preparazione della Strategia europea si deve alla Commissaria Geoghegan-Quinn con il supporto degli altri Commissari tra cui il Vice-Presidente Tajani e gli altri Commissari Ciolo, Damanaki e Potolnik. Durante il Consiglio Competitività dello scorso 21 febbraio 2012, anche alcuni Ministri degli Stati membri si sono potuti esprimere in merito. Tra gli altri, la Danimarca, la Finlandia, la Germania, l'Irlanda e i Paesi Bassi hanno già definito le proprie strategie sulla Bioeconomia. L'Italia deve ancora farlo. A livello mondiale Canada, Cina, Sud Africa e Stati Uniti si stanno rapidamente posizionando sul tema in oggetto.

Da parte dell'OECD, il Report *"The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda"* è il risultato di un progetto interdisciplinare di *foresight* sul tema. Esso rappresenta un'ottima analisi di partenza per valutare i potenziali sviluppi futuri delle biotecnologie in tre settori fondamentali per lo sviluppo delle scienze omiche più in generale: agricoltura, salute e industria.

Il Rapporto considera le implicazioni future di questi tre ambiti per l'economia e la società per le prossime due decadi e non manca di sviluppare un'agenda. Rispetto a quella europea, questa è appena più datata, risalendo alla fine del 2008. Il punto di partenza e le considerazioni iniziali, da cui parte lo studio, non possono che essere in larga parte gli stessi già anticipati per l'agenda europea, ma le principali considerazioni, di seguito brevemente riportate, divergono almeno in parte.

Qualunque sia la parte del mondo in cui si vive, alla bioeconomia necessitano più ricerca, come pure infrastrutture, che ancora mancano sia per la produzione primaria che per la trasformazione industriale e, ancora, più trasferimento di *know-how* agli utilizzatori finali. Essi possono essere non solo rappresentati da grandi gruppi industriali, ma anche da PMI che utilizzino impianti di piccola taglia. I fondi di coesione possono supportare la creazione di ciò che manca, a livello territoriale, per l'implementazione di una specifica filiera dedicata ai *biobased products*, termine quasi intraducibile, ma di portata molto ampia.

Sintesi delle principali conclusioni del Report dell'OECD: "The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda"

1 Preparare le fondamenta per uno sviluppo di lungo periodo della bioeconomia

Tra le *policies* fondamentali sono incluse:

- l'applicazione della biotecnologia resa possibile in **agricoltura** per dispiegare tutto il suo potenziale, attraverso un numero incrementato di attori pubblici e privati e sostenendo il dibattito pubblico;
- nel settore **salute** lo sviluppo di sistemi in ambito regolamentare e altri a supporto del possibile sfruttamento dei risultati della ricerca per la cura delle malattie e la prevenzione;
- per l'**industria**, incrementare l'adozione di standard internazionali per la LCA (*life cycle analysis*), insieme ad altri incentivi per tecnologie ambientalmente sostenibili.

2 Contrastare la mancanza di impatto delle biotecnologie in agricoltura e nei settori industriali

Circa il 75% del futuro contributo economico del *biotech* verrà da questi due settori. Tuttavia più dell'80% degli investimenti in ricerca sia privati che pubblici sono destinati alle applicazioni biomediche. Per questo serve:

- incrementare la ricerca pubblica in agricoltura e per le biotecnologie industriali, ridurre i vincoli regolamentari e incoraggiare le PPP (*private-public partnership*);
- aumentare l'impiego delle biotecnologie per affrontare le sfide globali (come cambiamento climatico e riduzioni del pescato).

3 Preparare la prossima rivoluzione in medicina

Costosa, ma dai potenziali enormi benefici, si pensi alla medicina rigenerativa, personalizzata e preventiva, mediante:

- incentivi pubblici e privati più finalizzati e integrati;
- sistemi regolatori per consentire di sfruttare il potenziale della *pharmacogenetics*;
- ricerca a lungo termine e impiego di database medici della popolazione;
- analisi di impatto della medicina rigenerativa e personalizzata;
- esame delle diverse conseguenze dell'aumento dell'aspettativa di vita.

4 Trasformare il potenziale distruttivo (se non utilizzato appropriatamente) della biotecnologia in vantaggio economico

Alcune applicazioni recano in sé il potenziale di distruggere modelli correnti di *business* e strutture economiche affermate. Per evitare effetti negativi e potenziare quelli positivi occorrono:

- politiche flessibili, che possono supportare l'impiego di biotecnologie altrimenti potenzialmente negativo;
- la *foresight research*, che può rendere possibile l'analisi e l'identificazione di eventuali soluzioni.

5 Ridurre le barriere all'innovazione *biotech*

ad esempio gli alti costi della ricerca, le barriere regolamentari ed economiche. È necessario:

- identificare le barriere per specifiche applicazioni;
- valutare le azioni che si possono opporre alle barriere, inclusa l'adozione di *guidelines* per l'IPR (*Intellectual Property Rights*).

6 Promuovere le applicazioni commerciali della ricerca *biotech*

Gli effetti di ricaduta a partire dalle discipline scientifiche fino alle applicazioni commerciali possono essere coordinate tra ministeri, inclusi quelli che si occupano di agricoltura, istruzione, ambiente, salute, industria e ricerca. Appare non rinviabile

- coordinare le politiche dei ministeri: è una sfida, in questo caso da raccogliere e vincere.

7 Creare un costante dialogo tra governi, cittadini e imprese

Molte politiche a supporto della bioeconomia richiedono la partecipazione attiva dei soggetti citati.

I governi si devono far carico di chiarire i preconcetti e descrivere le differenti alternative per gestire la sostenibilità. Fondamentale in questo quadro complesso appare il

- dialogo tra società e industria sulle implicazioni socio-economiche ed etiche, i benefici e i costi delle biotecnologie.

(adattamento di Marina Leonardi)

SUOLO

L'Agenzia Europea dell'Ambiente e il Joint Research Centre della Commissione Europea hanno pubblicato un report sullo stato del suolo in Europa dal quale emergono problemi di degrado, super sfruttamento e gestione inadeguata, ma si danno anche utili raccomandazioni per il futuro. I contenuti e l'importanza di questo rapporto sono qui illustrati

Manca in Europa un quadro di riferimento per la gestione sostenibile del suolo

■ Paola Carrabba

L'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) e il Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea hanno pubblicato lo scorso febbraio un report sullo stato del suolo in Europa^[1] basato sui risultati dell'attività di ricerca del JRC sui dati resi disponibili dall'European Soil Data Centre (ESDAC), che opera come *focal point* per i dati e le informazioni sul suolo a livello europeo.

Il suolo è, nell'ambito ecologico ed economico, l'elemento chiave nel mantenimento dell'equilibrio degli ecosistemi e della loro produttività. Un suolo in buono stato, ben areato e ricco in elementi nutritivi, infatti, sostiene la biodiversità e permette la produzione di cibo, di combustibile e di fibre utili all'uso umano. Il suolo entra anche come fattore determinante nel ciclo dell'acqua, fornendo, ad esempio, una funzione di filtraggio e potabilizzazione fondamentale per le società umane, così come di regolazione della composizione atmosferica. Per dare il senso dell'importanza di questo elemento, basti pensare che circa ¼ delle specie viventi risiede nel suolo (soprattutto batteri, alghe, funghi,

invertebrati), che rappresenta quindi un importantissimo bacino di diversità specifica e genetica.

Il suolo è lo strato superficiale che ricopre la crosta terrestre, formato da una parte solida, minerale, derivante dall'alterazione del substrato roccioso sottostante, e da una parte organica, derivante dagli organismi presenti su e dentro di esso. Sono poi presenti una componente liquida, acquea, ed una gassosa, legata alla composizione dell'atmosfera e alla decomposizione della materia organica presente nel suolo stesso. Poiché matrice minerale, componenti biologiche e caratteristiche atmosferiche sono differenti a seconda delle aree geografiche considerate, anche i suoli sono profondamente diversi tra loro. Da ciò deriva l'importanza del clima e delle sue alterazioni in relazione alla qualità e stabilità dei suoli. Un clima più arido, infatti, tenderà a far diminuire il tenore d'acqua e di materia organica nel suolo, con conseguente diminuzione di fertilità fino a fenomeni di aridificazione e desertificazione.

Il rapporto clima-suolo risulta particolarmente importante quando si affronti il tema della gestione del suolo. L'aumento della temperatura abbinato ad una diminuzione delle precipitazioni provoca, ad esempio, l'accelerazione dei fenomeni di erosione eolica e di salinizzazione. Al contrario, le po-

■ Paola Carrabba

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

litiche e le strategie a supporto di una corretta gestione del suolo possono portare ad una mitigazione del cambiamento climatico.

A livello mondiale, gli effetti dell'alterazione del suolo (desertificazione, degrado e siccità) colpiscono più di 1,5 miliardi di persone in oltre 110 paesi, il 90% dei quali vive in aree a basso reddito. Secondo l'UNEP^[2], ogni anno si perdono, per lo più a causa dell'erosione dei suoli, fino a 50.000 km² di terreni. Ogni anno il pianeta perde circa 24 miliardi di tonnellate di terra arabile, con un costo che supera, mediamente, i 40 miliardi di dollari di produttività all'anno.

La Commissione europea, particolarmente sensibile all'argomento della salvaguardia dei suoli, ha pubblicato nel 2005 l'*Atlante europeo dei suoli*^[3] e nel 2010, in occasione dell'Anno Internazionale della Biodiversità, l'*Atlante della Biodiversità del suolo*^[4], destinato a descrivere e illustrare le minacce che pesano sui suoli europei e a sensibilizzare il pubblico sulla loro diversità e la loro importanza.

Con il Report del JRC, l'Agenzia Europea per l'Ambiente sottolinea come, in molte parti d'Europa, il suolo risulti degradato e sovrasfruttato. Pratiche inadeguate di gestione, attività industriali, cambiamenti nell'uso del suolo, hanno causato in molti casi erosione e impoverimento organico, impermeabilizzazione del terreno, contaminazione dello stesso.

Secondo il Rapporto del JRC, infatti, in Europa le principali minacce per il suolo sono determinate da:

- perdita di biodiversità e diminuzione della componente organica (batteri, funghi, piante, ecc.) che ne determinano la fertilità, con conseguente isterilimento e perdita di capacità produttiva. Circa il 45% dei terreni europei hanno un basso contenuto di materia organica, soprattutto nei paesi del Sud dell'Europa, a causa spesso della trasformazione di terreni boschivi ed erbosi in terreni agricoli.
- compattazione del suolo, dovuta all'uso di macchine pesanti in agricoltura, con minore permeabilità all'acqua, perdita di capacità di filtraggio, aumento del fenomeno del ruscellamento con aumento dell'erosione.

- contaminazione del terreno soprattutto da metalli pesanti e oli minerali a causa dell'industrializzazione sempre più diffusa.
- erosione: il report segnala che circa 147 milioni di ettari del territorio europeo (esclusa la Russia) sono soggetti ad erosione sia di natura idrica che eolica.
- frane: alcune aree più di altre sono soggette a dissesto idrogeologico causato da cattiva gestione del territorio e da cambiamenti nell'uso del suolo, con abbandono di terreni prima produttivi per i quali non sono state adottate adeguate iniziative di recupero.
- aumento della salinità come risultato di fenomeni di inquinamento o eccessiva fertilizzazione che rendono i terreni sempre più sterili.
- impermeabilizzazione, che deriva dalla diffusione del tessuto urbano ed industriale, con rimozione di strati di terreno fertile sostituito da materiali impermeabili, con conseguente perdita di importanti funzioni svolte dal suolo, come la capacità di produrre cibo, di stoccare l'acqua e di regolare la temperatura.

Leggendo questo elenco è possibile individuare facilmente le cause di una serie di alterazioni che affliggono anche il nostro paese. È cronaca, purtroppo, drammatica e quasi giornaliera quella che parla di frane, erosione, impermeabilizzazione e aumento della salinità del suolo in molte aree del territorio nazionale, con risvolti a volte drammatici e perdita di vite umane. Questo è indicativo dell'importanza anche sociale, per la salute umana e l'ambiente, rivestita dal suolo.

Purtroppo a livello europeo non esiste una normativa sul suolo, anche se la Commissione Europea ha prodotto nel 2006 una Strategia Tematica per la protezione del suolo (COM (2006)231) e una proposta di Direttiva che affrontava anche gli aspetti di natura transfrontaliera della degradazione dei suoli (COM(2006)232), direttiva che, finora, non ha avuto seguito.

La pubblicazione del Rapporto del JRC è stata però l'occasione che ha permesso alla Commissione Europea di fare il punto della situazione sulla "Attuazione della strategia tematica (del 2006 n.d.a.) per la protezione del suolo e attività in corso" (COM(2012)46 final), nel quale la Commissione

rende conto delle attività svolte nei campi della sensibilizzazione, della ricerca, dell'integrazione delle politiche e della legislazione in materia.

Una delle difficoltà di arrivare ad una legislazione comunitaria in materia di protezione del suolo è data dal carattere di trasversalità che il suolo riveste su temi già di per se complessi e difficili a livello ambientale, economico e sociale, come, ad es., l'acqua, i rifiuti, l'inquinamento nelle sue diverse forme, la produzione industriale, l'agricoltura, l'uso di pesticidi, l'urbanistica ecc. Una tematica come quella della protezione del suolo richiederebbe, quindi, di essere inserita, in giusta misura, ogni qual volta uno di questi ambiti fosse trattato a livello normativo.

La Commissione Europea, tuttavia, riconosce che sia nella UE che a livello mondiale il degrado del suolo è aumentato negli ultimi dieci anni e che questa tendenza è destinata a continuare se non verranno adeguatamente affrontati temi quali l'utilizzo del territorio, la conservazione della materia organica del suolo, un uso più efficiente delle risorse, una maggiore integrazione del problema nelle diverse politiche di settore interessate. La Commissione Europea, tuttavia, fermamente intenzionata a continuare il proprio cammino verso la protezione di questo importantissimo bene comune, ha individuato i quattro pilastri che possono sostenere a livello europeo una adeguata strategia per la protezione del suolo: una adeguata sensibilizzazione al

problema, una ricerca sempre più volta alla individuazione delle problematiche, un continuo monitoraggio dello stato del suolo nell'Unione, una adeguata integrazione nelle politiche settoriali, sostenuta da una legislazione *ad hoc*, basata sulla proposta di direttiva già in parte discussa nel 2006.

Da quanto detto si può concludere che l'importanza del suolo va ben al di là di mere considerazioni patriottiche o nazionalistiche. Il suolo non solo è vivo, ma entra funzionalmente e strutturalmente nelle accezioni ambientali, sociali ed economiche delle singole nazioni e, nel nostro caso, dell'Europa intera. Proprio per i suoi significati ambientali sociali ed economici, il suolo e la sua qualità risultano essere alla base di qualunque considerazione legata alla capacità della società di mantenere un proprio livello economico o, addirittura, di riuscire a crescere nella direzione di uno sviluppo sostenibile.

Bibliografia

- [1] EEA, JRC, 2012. *The State of Soil in Europe – A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report – SOER 2010*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- [2] UNEP, 2007. *Global Environment Outlook. GEO4 - environment for development*. Progress Press LTD, Malta.
- [3] EC, 2005. *Soil Atlas of Europe, European Soil Bureau Network*. European Commission, 2005, 128 pp. Office for Official Publications of the European Communities, L-2995 Luxembourg.
- [4] S. Jeffery, C. Gardi, A. Jones, L. Montanarella, L. Marmo, L. Miko, K. Ritz, G. Peres, J. Römcke and W. H. van der Putten (eds.), 2010, *European Atlas of Soil Biodiversity*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.



La governance dell'acqua come pilastro dello sviluppo sostenibile

È necessario assicurare al più presto in Italia una “governance” complessiva e coerente delle risorse idriche nazionali anche in caso di siccità e di alluvioni, adottando un quadro normativo improntato ad una logica unitaria della gestione integrata delle risorse idriche, rendendo operative le Autorità di distretto idrografico e portando a rapida approvazione i piani di gestione dei bacini distrettuali e relativi programmi di azione. Il buon governo dell'acqua rappresenta non solo un fondamentale pilastro della sostenibilità nell'uso delle risorse naturali, ma anche l'elemento decisivo per il benessere sociale e per la crescita economica

■ Gaia Checcucci

Con nota del 26 marzo scorso la Commissione Europea ha notificato all'Italia un parere motivato C(2012)1676 nell'ambito della procedura di infrazione 2007/4680 riguardante la non corretta trasposizione della direttiva 2000/60/CE in materia di acque, per la quale l'Italia era stata messa in mora già nel 2010. Nel suddetto parere si ribadisce che le argomentazioni fornite al riguardo dalle autorità italiane e le modifiche apportate a tal fine alla legislazione nazionale non sono sufficienti. È stato, dunque, chiesto all'Italia il pieno rispetto della direttiva, con particolare riferimento ai Piani di gestione dei distretti idrografici e al loro aggiornamento, ad un miglior monitoraggio della qualità delle acque e

alla riproduzione su mappe dei livelli di qualità nei corpi idrici sotterranei. L'Italia ha ora due mesi di tempo, a decorrere dalla data di notifica, per evitare che Bruxelles ricorra alla Corte di giustizia europea.

Tutto ciò, al di là degli aspetti formali di corretto recepimento delle direttive, rappresenta, in realtà, un campanello di allarme per porre rimedio ad un fondamentale problema che l'Italia deve, al più presto, risolvere in materia di risorse idriche. È il problema della “governance” dell'acqua nei suoi diversi profili, da una parte di chiarezza di ruoli e compiti dei diversi attori coinvolti e dall'altra di adeguatezza degli strumenti attuativi da utilizzare nei diversi campi di intervento settoriale. Si tratta di profili che vanno dalla responsabilità di chi deve impartire obiettivi ed indirizzi sulle risorse idriche, alla responsabilità di chi

deve pianificare e programmare in relazione ad adeguate strategie che attuino gli obiettivi e gli indirizzi, fino a chi deve gestire le risorse idriche coerentemente con gli obiettivi da raggiungere e con i piani e programmi per raggiungerli. E i diversi profili riguardano nel merito una varietà di aspetti che vanno dalla tutela delle risorse, compresi gli ecosistemi acquatici, alla qualità dell'acqua nei diversi corpi idrici fino alle acque costiere, dalla difesa del suolo in relazione alla prevenzione dei rischi da inondazioni e di dissesto idrologico, alle soluzioni equilibrate che bisogna individuare per rispondere alle esigenze dei diversi utenti dell'acqua, soprattutto in relazione a condizioni di siccità o di scarsità di acqua. Ma riguardano anche problemi territoriali che vanno dalla gestione dell'approvvigionamento idrico ai fini dei diversi

■ Gaia Checcucci

Segretario Generale dell'Autorità di Bacino dell'Arno

usi (usi idropotabili, usi irrigui e usi industriali) fino alla depurazione delle acque reflue e alla loro riutilizzazione.

Occorre, insomma, avere la consapevolezza, e non solo la formale presa d'atto del rispetto di questa o quella direttiva, che il buon governo dell'acqua rappresenta non solo un fondamentale pilastro della protezione ambientale e della sostenibilità nell'uso delle risorse naturali, ma anche e soprattutto l'elemento decisivo sia per il benessere sociale e la salute dei cittadini anche sotto il profilo igienico sanitario, che per la crescita economica e le attività produttive: in altre parole la "governance" dell'acqua e i metodi di attuazione della "governance" dell'acqua sono i fattori determinanti per la sostenibilità dello sviluppo di una nazione e della qualità di vita della popolazione nel lungo periodo.

La gestione dell'acqua come risorsa

La direttiva 2000/60/CE (WFD - Direttiva quadro in materia di acque) non a caso impone un approccio integrato al governo della risorsa, che superi la storica tripartizione della "difesa dalle acque/ difesa del suolo", "tutela delle acque e obiettivi di qualità", "gestione del servizio idrico integrato" e che metta il più possibile in relazione tutte le altre politiche comunitarie ad essa riferibili o riconducibili. È significativo a tale proposito il recente "Fitness Check" (documento ricognitivo di medio periodo sull'attuazione della direttiva da parte

degli Stati Membri) che pone grande enfasi nell'evidenziare come le strategie e gli obiettivi relativi alle risorse idriche rappresentino un'ampia cornice delle politiche ambientali e territoriali, seppur la politica europea dell'acqua si sia sviluppata nel corso del tempo con l'adozione di direttive isolate e focalizzate su questioni specifiche, a cui vanno ad aggiungersi i contributi non legislativi attinenti alla "water scarcity and drought" e al "climate change".

L'approccio integrato che la normativa comunitaria prevede poggia su alcuni irrinunciabili pilastri a cui il nostro Paese, al di là del recepimento formale, deve ancora adeguarsi: l'individuazione di un soggetto unico, l'Autorità di Distretto, a cui è demandata la pianificazione ai fini e per il raggiungimento degli obiettivi della direttiva 2000/60/CE, nonché la pianificazione, storicamente appannaggio delle Autorità di bacino, per la prevenzione e la riduzione del rischio da frana e del rischio da alluvioni che la direttiva 2007/60/CE codifica e disciplina assorbendo i principi ispiratori della legge 183/89, attualizzando contenuti e modalità. In entrambi i casi l'unità geografica di riferimento è un'ampia porzione di territorio raggruppante più bacini individuata come distretto idrografico.

All'unicità di riferimento fisico e istituzionale corrisponde un'analoga unicità in termini di pianificazione: il "Piano di gestione", previsto all'art.13 della direttiva quadro, i cui contenuti sono in essa dettagliatamente esplicitati, è

lo strumento previsto alla scala distrettuale per affrontare il tema della gestione della risorsa idrica nel suo complesso e secondo i principi ispiratori, nonché gli obiettivi cogenti, imposti dalla medesima direttiva. Il Piano di gestione è il *masterplan* di riferimento in termini di ricognizione delle caratteristiche di partenza del distretto e di pianificazione in termini di misure da assumere per il mantenimento o ripristino delle situazioni compromesse, ai fini del rispetto dell'obiettivo di qualità buono per ciascun corpo idrico al 2015 e di condizioni di utilizzo della risorsa senza sfruttamento. Si tratta in definitiva di una pianificazione complessiva sulla base di un quadro accertato e documentato di cause/effetti in cui le azioni intraprese o da intraprendere hanno conseguenze da valutarsi alla scala dell'intero distretto idrografico e devono poggiare su una efficace analisi economica.

L'analisi economica è un concetto che rappresenta una novità in questo settore poiché richiama un'analisi di sostenibilità economica degli obiettivi ambientali sotto il profilo delle misure/interventi previsti per il loro raggiungimento. Il Piano di gestione deve occuparsi degli aspetti economici con una duplice finalità: quella del recupero del costo dei servizi idrici (principio del Full Cost Recovery) e quella della ricerca della combinazione delle misure più efficaci per i diversi utilizzi idrici in base ad una stima dei potenziali costi delle stesse. Si determina, così facendo, una forte interdipendenza tra il perseguimento

dell'obiettivo ambientale codificato in una specifica misura e la sua sostenibilità complessiva che comprende ed integra anche gli aspetti economici e che è, in definitiva, il risultato di una valutazione e della conseguente selezione tra azioni strategiche diverse accompagnate dalla quantificazione dei relativi costi ambientali e dei costi alternativi.

Proprio in virtù di ciò, la direttiva quadro prescrive inoltre che entro il 2010 gli Stati membri dell'Unione Europea avrebbero dovuto provvedere a che le politiche dei prezzi dell'acqua incentivino gli utenti ad usare le risorse in modo efficiente, contribuendo con ciò sia al perseguimento degli obiettivi ambientali, sia al recupero dei costi dei servizi a carico dei diversi settori di impiego dell'acqua, tenendo conto del principio "chi inquina paga", in attuazione del concetto della copertura integrale del costo del servizio, ovvero della quantificazione dei costi finanziari, ambientali e della risorsa, così come esplicitati nella direttiva stessa, negli allegati di riferimento, nelle linee guida WATECO e in altre comunicazioni a ciò specificatamente dedicate.

L'analisi economica assume dunque il significato di rendere effettiva la sostenibilità ambientale attraverso l'uso di strumenti economico/finanziari che individuano priorità di azioni e misure attuative concrete. Di conseguenza, gli Stati Membri che ritardano l'attuazione della direttiva o che la attuano solo parzialmente, possono giustificare la loro insufficiente azione o l'inazione solo sulla

base della suddetta analisi di sostenibilità economica. Eventuali richieste di deroga o proroga, per posticipare l'obiettivo di qualità, ed in particolare di "qualità buono", del corpo idrico fissato al 2015, rimandandolo al 2021 o al 2027, sono ammissibili solo adducendo una motivazione che poggi sulla risultanze dell'analisi economica e della sostenibilità economica degli interventi.

Gli adempimenti previsti dalla normativa comunitaria in materia di qualità, declinati nella direttiva Quadro, circostanziati e aggiornati dalla costante produzione non legislativa che accompagna la *Common Implementation Strategy* (CIS), nonché dalle risultanze dei gruppi di esperti dedicati alle diverse problematiche, non sono soltanto obiettivi da perseguire in modo formale e formalistico ai fini di non incorrere nelle infrazioni. Si tratta prima ancora di una grande opportunità: quella di aggiornare le nostre politiche di tutela e prevenzione dell'inquinamento secondo parametri e approcci diversi i quali, anche a causa dei cambiamenti climatici in atto, impongono di fare i conti anche con gli eventi di estrema variabilità della disponibilità delle risorse idriche e di prevenzione di situazioni di carenza idrica come si sta manifestando proprio in questa primavera soprattutto nelle regioni settentrionali, primavera che segue un periodo molto prolungato di mancanza di precipitazioni atmosferiche e di disequilibrio indotto fra la ricarica degli acquiferi o delle riserve idriche e gli emungimenti d'acqua per i diversi usi.

Ecco che la valutazione progressiva, d'insieme e di dettaglio, dell'efficacia delle misure del Piano di Gestione, intendendo per essa la misura del livello di ottenimento dei risultati conseguiti, mettendoli a confronto con gli obiettivi prefissati, diventa fondamentale per disporre di una pianificazione quali-quantitativa che non sia solo la fotografia statica del presente ma diventi lo strumento per avere "scatti" costantemente aggiornati che registrano la dinamicità del contesto di riferimento e consentono di intervenire efficacemente in tempo utile.

La filosofia che sta alla base del Piano di gestione (dove non a caso si utilizza il concetto di gestione della risorsa idrica richiamando la centralità della pianificazione strategica da attuarsi tramite misure ed interventi sostenibili) impone di fornire un quadro che combina da una parte le informazioni relative agli interventi, con i loro costi e la loro tempistica, dall'altra, lo stato e le caratteristiche dei corpi idrici, così come definiti e descritti nel Piano di Gestione; necessita di un'organizzazione dei dati tale da permettere la visualizzazione di questi elementi a scale diverse, passando dal livello di sintesi generale al livello di dettaglio, ponendosi dal punto di vista del singolo intervento (rispondendo alla domanda: "a quali corpi idrici dà benefici tale intervento?"), oppure dal punto di vista dello specifico corpo idrico ("quali interventi danno un contributo al corpo idrico di interesse?").

La "rivoluzione" della direttiva 2000/60 costringe ad una rivisita-

zione dell'elementare rapporto causa/effetto, ovvero intervento/beneficio, inducendo a porre al centro del sistema il corpo idrico, valutandone il saldo dei benefici ad esso arrecati solo dopo aver tenuto in considerazione tutte le misure che direttamente o indirettamente influiscono sullo stesso, siano esse riconducibili al settore depurazione/fognatura, che misure di gestione prettamente quantitativa della risorsa a monte, piuttosto che azioni impattanti su corpi idrici differenti che però provocano benefici effetti qualitativi sullo stesso. Si tratta in definitiva di poter disporre di una macropianificazione che assorba e attualizzi, in coerenza con le disposizioni, gli obiettivi e il linguaggio della direttiva quadro, le pianificazioni esistenti e le riconduca ad unità, senza annullarne le singole specificità ma, al contempo, senza fare di queste ultime un punto di arrivo, sacrificando l'opportunità di "europeizzare" la nostra expertise pianificatoria sull'altare dell'intangibilità di ruoli e procedure sin qui portate avanti.

La gestione dell'acqua come fonte di rischio

La successiva direttiva 2007/60/CE, notoriamente detta "direttiva alluvioni", persegue lo scopo di istituire un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni e integra la precedente direttiva "acqua" stabilendo che all'interno dei distretti siano elaborati Piani di gestione del rischio alluvioni individuando i rischi idrogeologici e le misure di prevenzione, di protezione e di

gestione delle emergenze. In riferimento alla nostra legislazione, ancorata alla legge 183/1989, la direttiva si pone in un'ottica di assoluta continuità, assumendo come punto di partenza il quadro unitario di azione fondato sull'attività di studio, di analisi, di approfondimento e quindi di pianificazione e introducendo come elemento innovativo, in un'ottica di stretta interdipendenza consequenziale, l'attività centrata sulla gestione in fase di evento e quindi di protezione civile vera e propria. Se il precedente quadro normativo in ambito di rischio idraulico contemplava l'attività di studio e pianificazione di bacino, seppur comprensiva dell'analisi della possibile "mitigazione" del rischio, e le attività di protezione civile, disciplinando i due ambiti di azione in provvedimenti separati, con l'occasione data dal recepimento della direttiva europea 2007/60 il decreto legislativo 49/2010 mette invece in stretta correlazione - in un unico strumento legislativo - i due settori alla luce del nuovo concetto di "gestione del rischio". E con questa innovativa visione il Piano di gestione dovrà essere composto da due parti: la pianificazione di bacino e la gestione del sistema di protezione civile. La nuova mappatura dovrà necessariamente tenere conto dei fenomeni correlati al cambiamento climatico in atto che determinano un quadro della pericolosità qualitativamente e quantitativamente diverso rispetto a quello "storico" contenuto nei Piani di Assetto idrogeologico attuali (si pensi alle cd. *flash floods*)

Anche questa direttiva è considerata un tassello funzionale all'ampliamento delle prospettive (*extending the scope*) della politica quadro europea sulle acque, così come del resto affermato nelle considerazioni introduttive della stessa. La scelta di agire sulla base di una visione unitaria è, infatti, confermata sin dalle premesse, nelle quali si esplicita chiaramente che l'elaborazione dei Piani di gestione dei bacini idrografici della direttiva 2000/60 e l'elaborazione dei Piani di gestione del rischio di alluvioni rientrano nella gestione integrata dei bacini idrografici. Non a caso anche i processi di formazione dei due *masterplan* devono essere condotti in modo tale da sfruttare le reciproche potenzialità di sinergie e benefici comuni, tenendo conto degli obiettivi ambientali della direttiva 2000/60, anche per garantire l'efficienza e un razionale utilizzo delle risorse, pur riconoscendo le particolarità dei due ambiti di azione. Proprio in tale ottica sia la predisposizione del Piano di gestione alluvioni, sia il riesame e l'aggiornamento dei Piani (acque e alluvioni), sia le relative fasi di partecipazione attiva delle parti interessate dovranno essere sempre opportunamente coordinate tra loro. Il documento guida della CIS, come detto, specifica che "*la direttiva 2007/60/CE dovrebbe essere implementata secondo un processo di implementazione a tre fasi e i Piani di gestione alluvioni dovrebbero essere pubblicati nel 2015 in coordinamento con la direttiva 2000/60/CE*", sottolineando la forte interdipendenza tra la diret-

tiva alluvioni e la direttiva quadro.

La stessa Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea evidenzia che i cicli di implementazione ed i meccanismi di reporting delle due direttive dovrebbero essere strettamente sincronizzati, considerata anche la disposizione contenuta nella direttiva 2007/60 per la quale gli Stati membri possono prevedere di includere i Piani di gestione ex direttiva alluvioni nei Piani di gestione predisposti ai sensi della direttiva 2000/60.

Le prospettive

Sulle risorse idriche nazionali ci sono due fondamentali fattori di pressione: da una parte i cambiamenti climatici ed ambientali, e dall'altra parte le crescenti esigenze di acqua per la crescita economica, lo sviluppo industriale e le esigenze civili. Secondo i più recenti scenari elaborati da autorevoli Istituzioni internazionali, a causa dei cambiamenti climatici tutta l'area del bacino del Mediterraneo, e l'Italia in partico-

lare, andrà incontro ad una riduzione della disponibilità delle risorse idriche e ad un aumento della loro variabilità a causa di più intensi e frequenti fenomeni estremi sia di piogge intense ed alluvionali sia di prolungati periodi di mancanza di precipitazioni. Nel frattempo la domanda d'acqua e gli usi dell'acqua tenderanno, viceversa, ad aumentare non solo nei paesi della sponda nord del Mediterraneo, ma soprattutto nella sponda sud dove già la disponibilità d'acqua è scarsa e diventerà ancor più scarsa in futuro e di cui si dovrà tener conto perché alimenterà maggiori migrazioni di popolazioni dai paesi del sud verso i paesi del nord. Questi problemi, assieme ad altri e alle relative sfide che pongono, dovranno essere affrontati entro il corrente anno da un adeguato "Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici" come ci è stato richiesto dall'Unione Europea (Libro Bianco sull'adattamento).

In questo contesto di evoluzione del clima e dello sviluppo, il recente Forum mondiale tenutosi a

Marsiglia (*Forum des solutions*) ha ribadito in tutte le possibili declinazioni e prospettive la imprescindibile necessità di un governo/gestione integrata delle risorse idriche: integrazione delle pianificazioni settoriali esistenti all'interno del *masterplan* rappresentato dal Piano di gestione della WFD; interrelazione con le altre politiche europee direttamente o indirettamente contigue; centralità delle ripercussioni derivanti dal cambiamento climatico in atto sia sotto l'aspetto della carenza idrica e siccità, sia sotto quello riconducibile al rischio alluvioni e alle modalità nelle quali esse si sostanziano; sostenibilità economica degli obiettivi ambientali da perseguire e raggiungere attraverso strumenti economici come il "water pricing", cioè il "prezzo dell'acqua".

Sfide, ma anche opportunità sia dal lato ambientale per migliorare la sicurezza territoriale e sociale, sia dal lato economico per migliorare l'efficienza dei processi produttivi con particolare riferimento all'uso efficiente delle risorse naturali, tra cui prioritariamente le risorse idriche. Sono sfide alle quali il nostro Paese, non può sottrarsi, se è vero com'è vero che la protezione dell'ambiente e la salvaguardia delle caratteristiche del nostro territorio sono la garanzia non solo del mantenimento della qualità dei nostri stili di vita, ma anche di preservazione delle peculiarità dell'ambiente "antropico e culturale" che ci derivano dalla nostra storia, dalla nostra cultura e della tipicità del "made in Italy".



Potenzialità delle tecnologie di cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica nell'industria italiana

Le tecnologie di cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica potranno giocare un ruolo importante nella riduzione delle emissioni di gas serra.

Nell'articolo viene analizzato il possibile contributo dell'applicazione di tali tecnologie al parco italiano delle centrali a carbone e sono individuate ulteriori aree cui estenderne l'applicazione

■ Antonino Caliri, Liliana Panei

Al giorno d'oggi i cambiamenti climatici stanno interessando l'intero panorama globale incidendo sulla collettività in maniera sempre più decisa. I dati diffusi evidenziano uno scenario verso il quale nutrire non poca preoccupazione, se i governi nazionali non interverranno prontamente con azioni decise, mirate e soprattutto lungimiranti. Le problematiche che affliggono il nostro eco-sistema sono, infatti, molteplici ma, senza dubbio, significativo è il dato relativo alla crescente concentrazione in atmosfera di CO₂ e le conseguenti ricadute che essa può determinare sull'intero assetto climatico. Gli studi effettuati negli ultimi anni da parte dell'Agazia Internazionale dell'Energia dell'OECD portano a prevedere come la domanda mondiale di energia continuerà a

crescere da qui al 2035. Infatti, assumendo uno scenario che tenga conto sia delle azioni già in atto che di quelle previste dalla maggior parte dei governi mondiali, si stima che la domanda di energia nel 2035 sarà del 36% più alta di quella del 2008, con i combustibili fossili che accresceranno drasticamente la loro incidenza. Ciò comporterà un aumento delle emissioni annue di CO₂, con la conseguenza che la concentrazione di tale gas nell'atmosfera rischierà di superare di gran lunga i livelli tollerati dal nostro ecosistema.

L'abbattimento delle emissioni nocive può avvenire con diverse tecniche che spaziano dal miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti nel settore industriale, civile e dei trasporti, al potenziamento del ricorso a forme di energia rinnovabili, all'impiego di combustibili fossili con minore contenuto di carbonio sino allo stoccaggio permanente

dell'anidride carbonica nel sottosuolo.

Questa ultima tecnica, nota internazionalmente come CCS (Carbon Capture and Storage), è negli ultimi anni considerata come uno dei principali strumenti da implementare per assicurare un deciso contributo alla riduzione delle emissioni in atmosfera di gas serra. La direttiva europea 31/2009/EC riconosce infatti la necessità di ridurre nei prossimi decenni il contenuto di emissioni di gas serra del 20% entro il 2020, rispetto ai valori del 1990, proprio attraverso l'implementazione di tale tecnica [1].

Scopo della presente analisi è quindi quello di valutare il potenziale legato all'applicazione delle tecnologie CCS alla realtà industriale italiana. Dalla documentazione disponibile, si è compiuta un'analisi *quantitativa* che, attraverso la costruzione di un *modello numerico*, cerca di valutare in maniera predittiva gli scenari al 2050

■ Antonino Caliri, Liliana Panei

Ministero Sviluppo Economico, Direzione Generale Risorse Minerarie ed Energetiche

Centrale	Proprietà	Localizzazione	N° moduli	Potenza modulo	Potenza totale
Brindisi Nord	Edipower	Puglia	2	320 MW	640 MW
Fiumesanto	EON	Sardegna	2	320 MW	640 MW
Vado Ligure	Tirreno Power	Liguria	2	330 MW	660 MW
Monfalcone	A2A	Friuli	1+1	165 MW + 171 MW	336 MW
Brescia	A2A	Lombardia	1	70 MW	70 MW
Torrevaldaliga Nord	ENEL	Lazio	3	660 MW	1.980 MW
Brindisi Sud	ENEL	Puglia	4	660 MW	2.640 MW
Genova	ENEL	Liguria	3	70 MW (Gr. 3) + 70 MW (Gr. 4) + 155 (Gr. 6) MW	295 MW
Sulcis	ENEL	Sardegna	2	350 MW (Sezione SU2) + 240 MW (Sezione SU3)	590 MW
Fusina	ENEL	Veneto	4	165 MW (Gr. 1) + 172 MW (Gr. 2) + 320 MW (Gr. 3) + 320 MW (Gr. 4)	976 MW
Marghera	ENEL	Veneto	2	70 MW	140 MW
La Spezia	ENEL	Liguria	1	600 MW	600 MW
Bastardo	ENEL	Umbria	2	75 MW	150 MW

TABELLA 1 Centrali elettriche a carbone attive in Italia
Fonte: Assocarboni [2] e DataBase Interno MiSE

legati all'implementazione delle tecnologie CCS, al fine di supportare la definizione di una *Strategia Energetica*.

Analisi della situazione al 2010

L'esercizio di calcolo compiuto, e qui di seguito esposto, è partito da alcune assunzioni che fotografano lo *status quo* della realtà italiana al 2010, in termini di consumi e mix energetico.

È ragionevole ipotizzare che gli impianti che prima di tutti saranno oggetto di interventi legati all'adeguamento attraverso l'installazione di sistemi di cattura della CO₂, saranno le *centrali a carbone*. Si è dunque prioritariamente proceduto ad un censimento delle centrali a carbone attive in Italia [2], riportato in tabella 1.

Il quadro complessivo che emerge dall'analisi di tali dati e che rappresenta il punto di partenza per la costruzione del citato modello

predittivo (tabella 1), evidenzia quindi una *potenza totale installata*, con riferimento al parco di centrali a carbone, di *8.151 MW*.

Da tale dato si è, più in generale, considerata l'intera *produzione lorda di energia elettrica* [3] comparando la cifra con la percentuale che, sulla base dell'attuale mix energetico, è imputabile al carbone (tabella 2).

Si evince, quindi, come la quota parte di tale produzione, soddisfatta attraverso l'impiego del carbone come fonte primaria, è

stimata in $(300.000 \text{ GWh} * 0,14) = 42.000 \text{ GWh}$ (dato 2010).

Le attuali tecnologie di produzione installate presso il parco di centrali a carbone italiano sono tali per cui le emissioni di CO₂ sono stimabili in *0,77-1 kg CO₂/kWh* (tabella 3).

Si è proceduto dunque ad una analisi, in ottica prudenziale, per la quale si è quindi stimato lo scenario più conservativo che prevede emissioni prossime al limite superiore del *range* sopra-presentato, ossia **1 kg CO₂/kWh**.

Anno	2010
Potenza installata delle centrali a carbone	8.151 MW
Produzione lorda di energia elettrica da tutte le fonti	300.000 GWh
% della produzione elettrica lorda da carbone	14%
Stima della produzione lorda di energia elettrica da carbone	42.000 GWh
Stima delle emissioni di CO ₂ per kWh prodotto	1 kgCO ₂ /kWh

TABELLA 2 Potenza installata, produzione lorda e quota di energia elettrica da carbone nel 2010. Fattore di emissione di CO₂
Fonte: elaborazione degli autori su dati ENEA [3] e LegAmbiente [4]

Impianto e fonte	kg CO ₂ /kWh
Carbone nelle vecchie centrali	0,95- 1,0
Carbone nelle centrali di ultima generazione	0,77
Olio combustibile	0,70
Gas naturale in centrale turbogas	0,45
Gas naturale in centrale a ciclo combinato	0,40
Gas naturale in centrale a ciclo combinato con cogenerazione	< 0,3
Fonti rinnovabili	0

TABELLA 3 Stima delle emissioni di CO₂ da impianti di generazione elettrica
Fonte: LegAmbiente [4]

Combinando tale dato di *performance* in termini di emissioni con l'attuale quota di domanda energetica soddisfatta dall'impiego di carbone, precedentemente calcolata (42.000 GWh), si ricava che le emissioni totali di CO₂ provenienti da centrali a carbone sono stimate in 42.000.000 t (dato 2010).

Tale dato se confrontato con le *emissioni totali di CO₂* fatte registrare in Italia nel 2010, approssimativamente 400.000.000 t [5], rappresenta il 10,5% delle emissioni totali.

Analisi della situazione al 2050 - Modello previsionale

Al fine di valutare l'impatto in termini di strategia energetica, si è ripetuto il ragionamento di calcolo delle emissioni sopra citato con riferimento allo scenario 2050, cercando di *modellare tutte le principali variabili* che possono intervenire in tale mutato contesto.

Le *principali assunzioni* compiute, rispetto a quanto presentato sulla situazione al 2010, sono le seguenti:

- *potenza installata* - si è considerato intatto l'attuale parco di centrali a carbone (8.151

MW), il quale nonostante la vetustà che si raggiungerà al 2050, realisticamente, sarà oggetto di interventi di miglioramento e sostituzione/revamping per tutte quelle parti soggette ad usura. Si è inoltre ipotizzata l'entrata in marcia della centrale di Porto Tolle (1.980 MW) [6], nonché una ulteriore espansione del parco centrali di un 20% approssimativo, in linea con l'incremento della domanda energetica italiana al 2050. La potenza complessiva installata al 2050, relativamente al parco di centrali a carbone, è quindi stimata in 11.781 MW;

- *produzione lorda di energia elettrica* - si sono considerate le stime fatte da ENEA [3], che proiettano la produzione lorda di energia elettrica italiana a circa 450.000 GWh;
- *percentuale di produzione da carbone (mix energetico)* - si è ipotizzato di *mantenere costante* l'impiego del carbone come fonte primaria, ossia il 14%.
- *stima delle emissioni di CO₂* - si è ipotizzato uno scenario auspicabile di progresso tecnologico per il quale al 2050 l'incidenza delle emissioni si ri-

Potenza installata delle centrali a carbone	11.781 MW
Produzione lorda di energia elettrica da tutte le fonti	450.000 GWh
Produzione di energia elettrica da carbone	63.000 GWh
% della produzione elettrica lorda da carbone	14%
Stima delle emissioni di CO ₂ per kWh prodotto	0,8 kgCO ₂ /kWh

TABELLA 4 Stima al 2050 della potenza installata e della produzione lorda delle centrali a carbone. Quota di energia elettrica generata dal carbone al 2050. Fattore di emissione di CO₂
Fonte: elaborazione degli autori

durrà con l'avanzare di moderne tecnologie di produzione, raggiungendo una incidenza di 0,8 kgCO₂/kWh.

Il risultato di queste assunzioni viene mostrato in tabella 4.

A questo punto si è concretamente valutato l'impatto delle tecnologie di cattura su tali dati di produzione energetica da carbone ed emissioni totali da centrali a carbone.

Cattura di CO₂

Come base di riferimento per capire l'applicazione e la potenzialità delle tecnologie di *cattura di CO₂* si è fatto riferimento all'unico progetto dimostrativo su larga scala, attualmente nello stato più avanzato, nell'intero panorama italiano dei progetti di CCS, ossia quello di Porto Tolle [6], con l'obiettivo di determinare un fattore di scala che legghi la potenza installata (250 MW) con la CO₂ catturata (un milione di tonnellate annue).

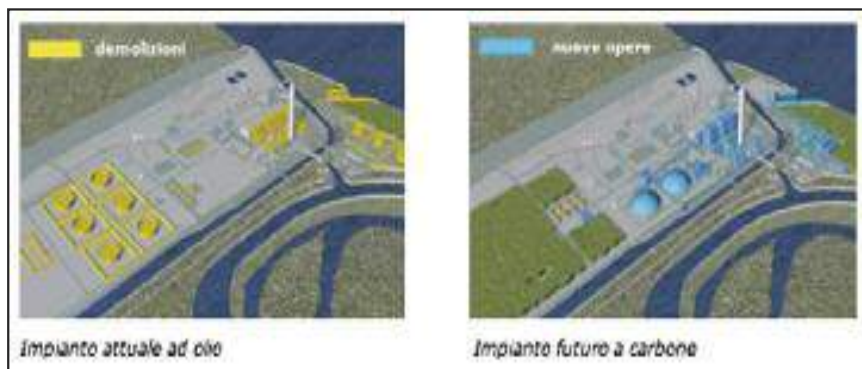


FIGURA 1 Progetto di trasformazione della centrale di Porto Tolle dall'attuale impianto a olio combustibile a quello futuro a carbone
Fonte: ENEL [6]

	Scenario_60	Scenario_90
% applicazione CCS	60%	90%
Perdita di efficienza	10%	
Potenza centrali a carbone dotate di impianti CCS*	6.362 MW	9.543 MW
Fattore di scala (caso Porto Tolle)	25,45	38,17
CO ₂ catturata nella centrale di Porto Tolle	25.446.960 t CO ₂	38.170.440 t CO ₂
% cattura CO ₂ -rispetto a emissioni totali 2010	6%	10%
* al netto della perdita di efficienza del 10%		

TABELLA 5 Parco centrali interessate dall'applicazione delle tecnologie CCS e performance in termini di cattura di CO₂ della centrale di Porto Tolle
Fonte: elaborazione degli autori

In figura 1 viene mostrato il progetto di trasformazione della centrale di Porto Tolle dall'attuale impianto a olio combustibile a quello futuro a carbone. Prima di confrontare i dati relativi alla centrale di Porto Tolle e, proporzionalmente, ribaltare le performance sull'intero parco centrali italiano, si è proceduto ad individuare 2 scenari, uno più prudente che vede l'applicazione delle tecnologie CCS al 60% del parco centrali a carbone italiano (**Scenario_60**) e l'altro che vede una applicazione più capillare, ossia al 90% del parco centrali (**Scenario_90**). Ulteriormente, al

fine di tener conto degli effetti in termini prestazionali dovuti all'applicazione delle tecnologie di cattura CCS, si è prudenzialmente provveduto a ridurre di un fattore stimato nel 10%, l'efficienza e quindi la potenza del parco centrali che ospiterà tale nuova tecnologia. La perdita di efficienza è infatti una diretta conseguenza dell'impiego delle tecniche di cattura.

In tali contesti il parco centrali interessate dall'applicazione delle tecnologie CCS risulta quello mostrato in tabella 5.

Il fattore di scala, per i due scenari, è stato ricavato dividendo la

potenza complessiva del parco centrali al 2050, al netto delle perdite di efficienza, per la potenzialità di targa della centrale di Porto Tolle, oggetto del progetto CCS, ossia 250 MW.

L'ultimo step dell'analisi è quello di calcolare, note le performance in termini di cattura di CO₂ di Porto Tolle, ossia 1.000.000 t di CO₂ a fronte di 250 MW, la CO₂ complessivamente catturabile nei 2 scenari (ultime due righe della tabella 5).

Per quanto concerne le tematiche di trasporto e stoccaggio, molteplici sono ancora gli elementi di incertezza che non rendono possibili stime quantitative affidabili. Lo studio si è limitato quindi a considerazioni generali, di seguito esposte.

Trasporto di CO₂

Si è ipotizzata la creazione di infrastrutture comuni per il trasporto della CO₂, tramite opportuna rete nazionale di tubazioni. Non si evincono significativi vincoli, se non di natura esclusivamente economica, per la costruzione di tali infrastrutture: esse, infatti, sono del tutto equiparabili alla attuale rete di metanodotti, in termini di impatto sul territorio.

Stoccaggio di CO₂

Gli studi in merito alla mappatura dei siti potenzialmente idonei allo stoccaggio accusano ancora uno stato di sviluppo embrionale. La classificazione ad oggi compiuta da autorevoli enti di ricerca (ENEA, RSE, OGS, INGV fra tutti) ha avuto come obiettivo quello di compiere una mappatura generi-

ca, non spingendosi ad una caratterizzazione di estremo dettaglio. Tuttavia, a livello modellistico, il dato ricavato in merito alla CO₂ catturata, anche nel caso di applicazione diffusa delle tecnologie (Scenario_90), ossia 38.170.440 t di CO₂, risulta compatibile con le attuali stime di massima dell'intero potenziale di stoccaggio in Italia. La conclusione appena enunciata si basa su un confronto numerico sul potenziale complessivo di stoccaggio stimato sul territorio nazionale italiano. A tale scopo è bene precisare che, attualmente, lo stoccaggio geologico riguarda prevalentemente quattro tipi di formazioni geologiche:

1) *Reservoir petroliferi depletati*

Lo stoccaggio dell'anidride carbonica permette un recupero ulteriore di petrolio (EOR - Enhanced Oil Recovery). Tali siti sono considerati sicuri per il confinamento geologico della CO₂, in quanto hanno già contenuto petrolio, gas naturale e CO₂ per milioni di anni.

2) *Reservoir di gas impoveriti*

Lo stoccaggio dell'anidride carbonica permette un recupero ulteriore di gas (EGR - Enhanced Gas Recovery). Valgono le medesime osservazioni, in termini di sicurezza dello stoccaggio, fatte per i reservoir petroliferi.

3) *Acquiferi salini profondi*

Lo stoccaggio dell'anidride carbonica avviene in formazioni rocciose permeabili nelle quali l'anidride carbonica immessa riempie i vuoti esistenti e rimane in-

trappolata attraverso meccanismi di tipo fisico-chimico e mineralogico (rocce silicatiche, carbonatiche e vulcaniche)

Tali formazioni offrono un enorme potenziale di confinamento senza causare nessun problema di carattere ambientale; ulteriormente tali formazioni sono abbastanza diffuse sul territorio e sono solitamente dotate di grande capacità di confinamento.

Per la stima di tale potenziale è possibile adottare a livello teorico la seguente formula di calcolo [7], proposta dall' US Department of Energy:

$$C = A \cdot sp \cdot \phi \cdot \text{densità CO}_2 \cdot \sigma$$

- A: superficie dell'areale
- sp: spessore effettivo medio del serbatoio
- Φ: porosità
- σ: coefficiente di *storage efficiency*

L'incertezza e la difficoltà di stima di alcuni parametri contenuti nella formula è alla base delle approssimazioni, in termini di valore numerico finale; il risultato ottenuto va quindi considerato come indicativo, in quanto fortemente affetto dalle logiche di calcolo adottate.

Parametro su cui si concentra particolarmente l'incertezza della stima è il coefficiente di "storage efficiency - σ" il quale solitamente viene fatto oscillare tra 2÷4%, con risultanti abbastanza discostanti, a secondo dei casi.

4) *Strati di carbone profondi*

Lo stoccaggio dell'anidride carbonica avviene attraverso l'iniezione negli interstizi presenti nella matrice minerale; tali vuoti so-

no dovuti alla porosità della roccia e alla sua fratturazione. Lo stoccaggio permette, inoltre, anche un ulteriore recupero del metano presente nella miniera (ECBM - Enhanced Coal Bed Methane). Quando, infatti, si inietta in essi la CO₂, essa presenta un assorbimento preferenziale con la superficie del carbone rispetto al metano che viene pertanto spiazzato, sostituito ad esso nella matrice di carbone e quindi liberato. Attraverso questa tecnica, ovviamente, il giacimento di carbone diventa un produttore di gas naturale.

Volendo contestualizzare numericamente il complesso delle opzioni di confinamento permanente della CO₂ [8] in termini di potenzialità [Mt], si ottengono i dati indicati in tabella 6.

A questo punto occorrerebbe confrontare la stima globale appena citata (13.281,5 Mt) con il totale calcolato delle emissioni di CO₂ catturate dal parco centrali carbone, secondo le logiche sopra descritte, nell'ipotesi di una applicazione diffusa (Scenario_90), ossia approssimativamente 38,2 Mt.

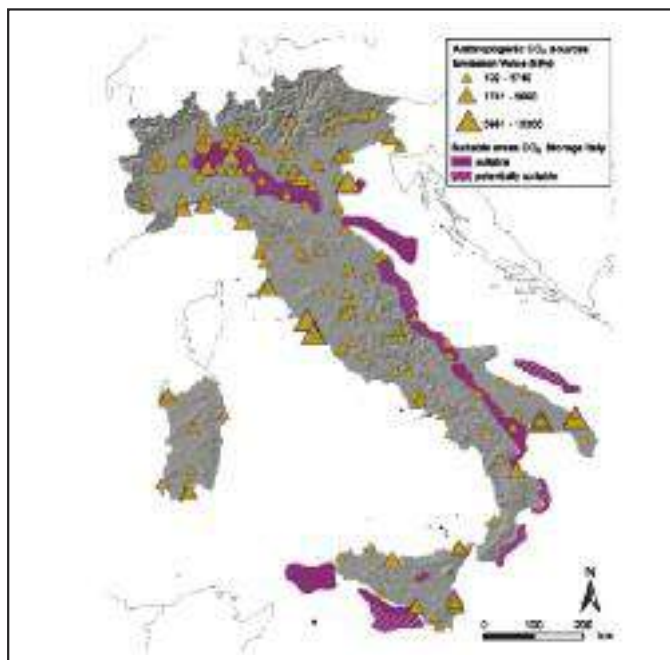
Tipologia di stoccaggio	Capacità di stoccaggio (Mt)
Acquiferi salini	9.590
Giacimenti di idrocarburi depletati (Oil & Gas)	3.426,5
Miniere di carbone	265
Capacità Totale	13.281,5

TABELLA 6 Tipologia dei siti e capacità di stoccaggio della CO₂
Fonte: ENEA [8]

FIGURA 2

Mappa delle aree adatte potenzialmente adatte allo stoccaggio della CO₂

Fonte: INGV [9]



Attraverso un semplice calcolo comparativo si nota come la capacità disponibile è di svariati ordini di grandezza superiore assicurando quindi una *potenzialità di stoccaggio geologico di circa 350 anni*, non configurandosi, quindi, come un collo di bottiglia all'interno del ciclo di implementazione delle tecnologie CCS.

Ovviamente il risultato presentato fa riferimento unicamente alla cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica proveniente dalle centrali a carbone, che rappresentano solo una percentuale ridotta (11%- Scenario_90) delle emissioni totali di CO₂ registrate nel 2010.

Conclusioni

La stima complessiva, risultato delle analisi fin qui esposte, va confrontata con le indicazioni a livello mondiale, per le quali, in

base agli studi dell'IEA [10], la riduzione al 2050 delle emissioni totali di CO₂ in ppm dovrebbe essere tale per cui le tecnologie CCS potrebbero contribuire a tale risultato per circa il 19%.

La conclusione che si può trarre, dallo studio modellistico qui presentato, è che la sola applicazione delle tecnologie CCS al parco

centrali carbone, anche se *alla quasi totalità delle installazioni stimate per il 2050, potrà assicurare un contributo di circa il 10% (Scenario_90)* in termini di riduzione del livello di emissioni; al fine di *colmare il gap residuo (circa 9%)* l'indicazione che si può formulare è quella di estendere le tecnologie CCS anche ad altri impianti caratterizzati da alte emissioni di anidride carbonica.

Ovviamente la tipologia di impianti deputata ad accogliere l'applicazione delle tecnologie di CO₂ dovrà presentare specifici requisiti legati, soprattutto, alla possibilità di individuare fonti di emissione concentrate, sulle quali gli interventi di cattura risulterebbero più efficaci.

A tale scopo, come conclusione del lavoro fin qui presentato, si sono individuate delle aree prioritarie da prendere in considerazione come possibili ulteriori ambiti di applicazioni delle tecnologie CCS:

- centrali termoelettriche
- cementifici
- impianti siderurgici.

Bibliografia

- [1] ENEA, *Quaderno Tecnologie di cattura e sequestrazione della CO₂*, luglio 2011. http://www.enea.it/it/enea_informa/documenti/quaderni-energia/catturaco2.pdf
- [2] Associazione Generale Operatori Carboni-Assocarboni <http://www.assocarboni.it/index.php/it/il-carbone/le-centrali-a-carbone-in-italia>
- [3] ENEA, *Indagine conoscitiva sulla strategia energetica nazionale*, luglio 2011 <http://www.ufficienzaenergetica.enea.it/doc/efficienza-energetica/Testo%20audizione%20SEN%2027-9-2011.pdf>
- [4] LegAmbiente, *Report Stop al Carbone 2009*, febbraio 2009.
- [5] SINAnet, *Tabelle dei gas serra (comunicate ufficialmente alla Convenzione sui Cambiamenti Climatici - UNFCCC per gli anni 1990-2009 (Common Reporting Format)* http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sinanet/serie_storiche_emissioni/CRF%201990-2009/view
- [6] ENEL, *Il progetto della centrale Porto Tolle* http://www.enel.it/it-IT/eventi_news/news/2011/speciale_porto_tolle/index.aspx
- [7] CO₂ Storage potential of deep saline aquifers. *The case study of Italy*, Donda, Volpi, Persoglia, Parushev, 2011.
- [8] ENEA, Ricerca di Sistema Elettrico, *Analisi Comparata delle potenzialità di confinamento della CO₂ per via geologia e mineralogica all'interno del bacino minerario del Sulcis*, settembre 2011 (pag. 31).
- [9] *The geo-database of caprock quality and deep saline aquifers distribution for geological storage of CO₂ in Italy*, M. Buttinelli, M. Procesi, B. Cantucci, F. Quattrocchi, E. Boschi, 2011.
- [10] International Energy Agency, *Technology Roadmap, Carbon Capture and Storage*, 2010.

Lesson from the Tōhoku earthquake

It's been about a year since an earthquake of high intensity, followed by a spectacular tsunami, upset the northeastern coast of Japan. The variation of the terrestrial axis, the increase in the speed of rotation of the earth, with consequent shortening of the duration of the day of 1.6 microseconds, and the movement of some meters of Honshu towards west are some of the exceptional consequences of the event. The resulting tsunami, which caused the highest number of victims and the nuclear accident at the Fukushima Dai-ichi power plant, has made it one of the most important natural disasters in history

Lezioni dal terremoto di Tōhoku

È passato circa un anno da quando un evento sismico di elevatissima intensità, seguito da uno spettacolare tsunami, sconvolgeva la costa nord-orientale del Giappone. Tra gli effetti eccezionali vanno ricordati 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. Il conseguente tsunami, che ha determinato l'elevatissimo numero di vittime e l'incidente nucleare alla Centrale di Fukushima Dai-ichi, ne hanno fatto una delle catastrofi naturali più importanti della storia

■ Giovanni Bongiovanni, Paolo Clemente, Vladimiro Verrubbi

Features and effects of the event

The main event of the seismic sequence that affected the northeast coast of Japan began on 11 March 2011 at 14:46 (Japan local time) in an area where the Pacific Plate plunges under a strip of North American plate, which is wedged between the Pacific and the Eurasian ones (Figure 1). From the hypocenter, at about 130 km from the coast and at a depth of about 24 km, the rupture propagated both to the North and to the South, affecting an area

over 400 km long and 200 km wide (Figure 2). The moment magnitude was estimated to be 9.0. The earthquake generated a

tsunami of significant size, the source of which coincides with the eastern end of the above area.

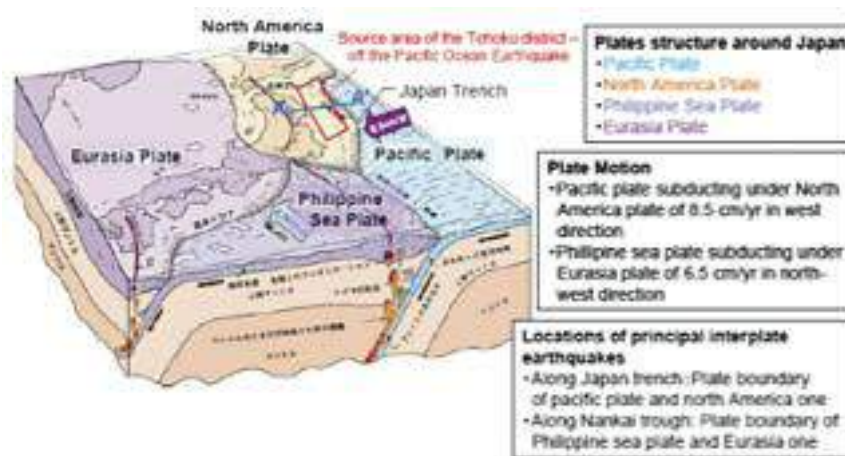


FIGURE 1 Tectonic of the earthquake area

■ Giovanni Bongiovanni, Paolo Clemente, Vladimiro Verrubbi

ENEA, Technical Unit for Environmental Characterization, Prevention, and Recovery

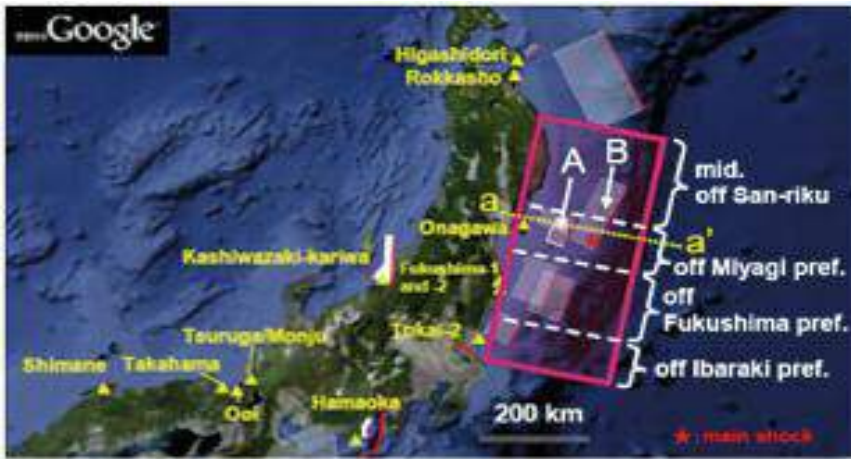


FIGURE 2 Area affected by the rupture

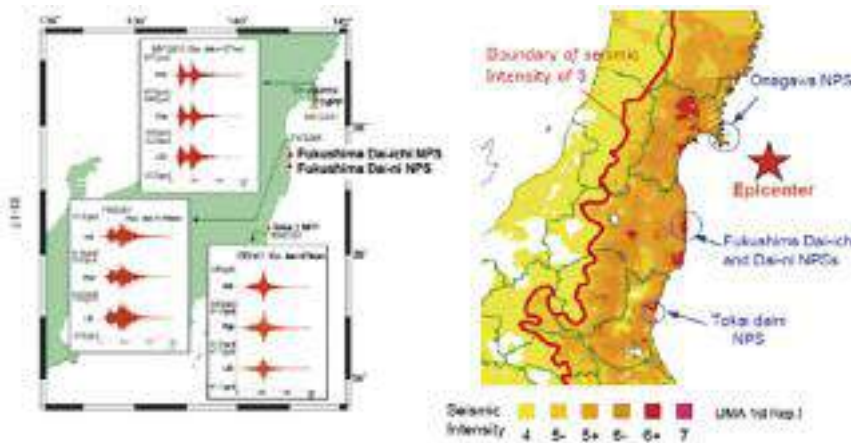


FIGURE 3 Shindo JMA intensity (right), accelerometric recording close to NPP (left)

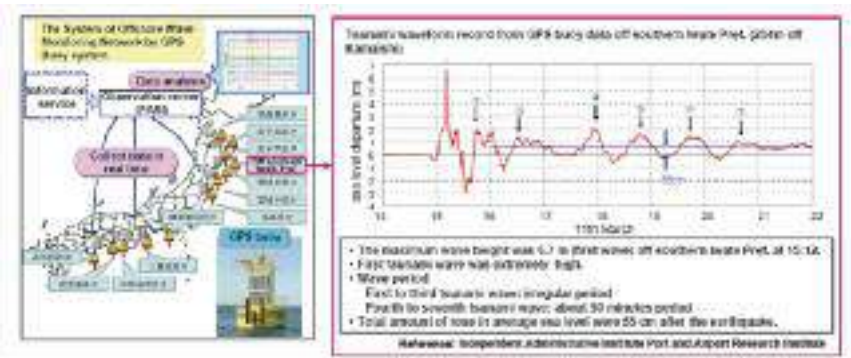


FIGURE 4 The network of buoys of the early warning system and a complete record

The devastating effects of the earthquake and, mostly, of the tsunami in terms of lives lost and in terms of destruction of the area are well known, here we only report the description of the physical effects measured, with particular reference to nuclear plants. Figure 3 shows, on the right, the seismic intensity measured on the Shindo scale of Japan Meteorological Agency (JMA), and on the left the accelerometric recordings in the vicinity of nuclear installations. It should be pointed out that the Shindo intensity is provided directly from gauges located throughout Japan. The amplitude of the waves of tsunami was measured by a network of buoys (Figure 4) that transmit real-time measurements to a central and constitute part of the early warning system. In general, the first arrival of the waves occurred just minutes after the seismic event, while the maximum height occurred after about one hour. In Figure 4, a complete record of a buoy is also reported, which shows the sequence of tsunami waves that continued for several hours. The maximum height measured by buoys reached about 10 m; it must be said, however, that in many cases the buoys did not work properly, so the waves may have been much higher. The run-up, *i.e.*, the height reached by the wave (relative to sea level) on the mainland, was far greater than the height measured by the buoys. Figure 5 compares the run-up achieved in this earthquake with those of two San-Riku historical earthquakes of

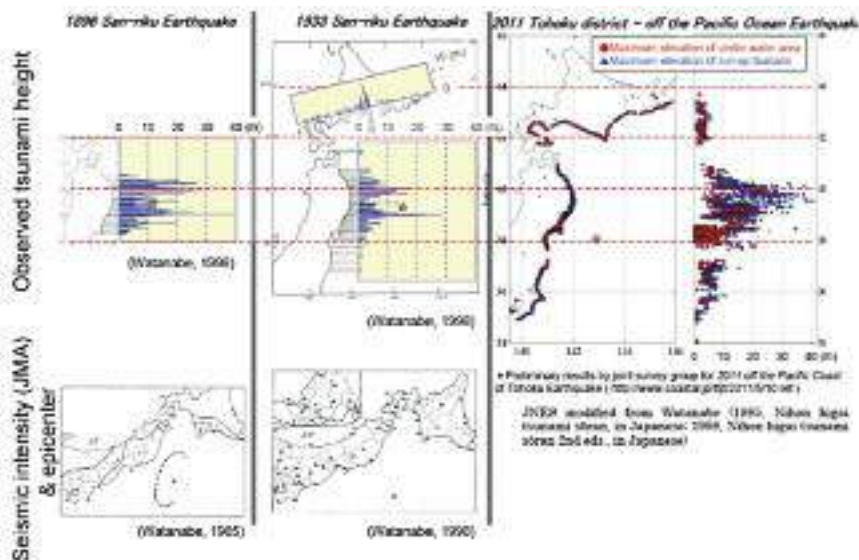


FIGURE 5 Comparison of the today run-up to those of the San-Riku earthquakes of 1896 and 1933

1896 (magnitude 8.5) and 1933 (magnitude 8.4), respectively. It is clear that, in the most severely affected area, events of lower magnitude happened in the past, which led to run-ups comparable with those of the 2011 earthquake.

Figure 6 provides a confirmation of occurrence in the past in the same area of tsunami with higher run-ups. In Figure 6a, we see a stele called “stone monument”, near the village of Aneyoshi, indicating the limit reached by previous tsunamis, beyond which it is suggested not to build; the picture in Figure 6b, taken about 100 m above the stele to the coast, shows the effects of the recent tsunami. The run-up in this site was about 40 m. The stele (Figure 7) is one out of hundreds in Japan: obviously someone did not believe in the truthfulness of these historical documents.



FIGURE 6 a) Stone monument seen from the village; b) Effects of tsunami approximately 100 m downstream of the stone monument

Figure 8 shows that while Fudai administrators learned from the experiences of the past with the construction of protective walls 15.5 meters high, enough to deal with the tsunami, in Miyako 10 m high walls were completely inadequate.



FIGURE 7 Stone monument



FIGURE 8 a) Protective wall in Miyako destroyed by the tsunami; b) Protective wall in Fudai

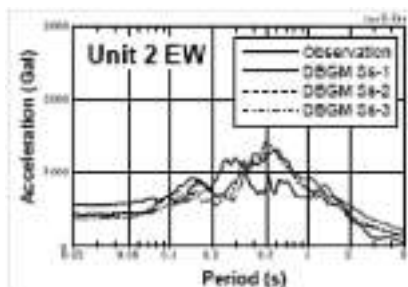


FIGURE 9 Comparison between observed spectrum and the corresponding response of DBGM

The Fukushima Daiichi nuclear power plant

The nuclear plant in Fukushima Dai-ichi had 53 triaxial seismometers on structures and on the ground. The ground motion was recorded in 29 points and records were stopped between 130 and 150 s from the beginning, due to malfunction (elsewhere records have durations of 300 s). The acceleration measured at the basement reached peak values in the WE direction up to 0.55 g, against the expected response values equal to about 0.45 g, according to the DBGM Ss (Design Basis Ground Motion Seismic standard). Figure 9 shows the comparison between the response spectrum of the observed motion and the response spectra of DBGM Ss.

Despite the exceeding acceleration peak values and spectral amplitudes, the structure suffered no damage attributable directly to seismic action. The earthquake, however, had a major impact on the structures of the power supply system causing the loss of power itself, and thereby initiating the sequence of nuclear



FIGURE 10 Maximum wave arrival at the site of Fukushima Dai-ichi

emergency. The Dai-ichi nuclear plant was powered by 6 external lines all damaged by the earthquake.

As well known, the damage to the system was due to the tsunami. Figure 10 shows the maximum wave arrival on the plant.

Seismic hazard considerations

After the Hanshin-Awaji earthquake of January 17, 1995, several initiatives were undertaken in Japan that led the National Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) to start the project National Seismic Hazard Mapping Project of Japan under the guidance of the Earthquake Research Committee of Japan (ERCJ), based on the assessment of long-term seismic activity and strong movements (strong motion). The work, started in 2001 and completed in March 2005, led to the production of two types of hazard maps: the Probabilistic Seismic Hazard Map (PSHM), which shows the relationship between seismic intensity value and its probability of exceedance within a certain period, and the Scenario Earthquake Shaking

Map (SESM). PSHM is based on the modeling of seismic activity produced by ERCJ, on an empirical strong motion attenuation relationship to evaluate the peak velocity at the engineering bedrock (characterized by S wave velocity $V_s \geq 400$ m/s) and from these to the surface through a model of the superficial soil layers to account for local site effects amplification factors; the calculations are performed on a national grid of about 1 km spacing. Similarly JMA seismic intensities on the same grid were evaluated with an empirical attenuation relationship.

SESM maps have been produced based on simulation modeling of the source for which enough information was available, in order to assess the waveforms on engineering bedrock and peak acceleration and velocity at the surface points of a mesh of 1 km side.

Figures 11 and 12 report, respectively, the distribution of the amplification factors of the surface layers of the soil and the distribution of subduction zones and the 98 major faults where ERCJ as-

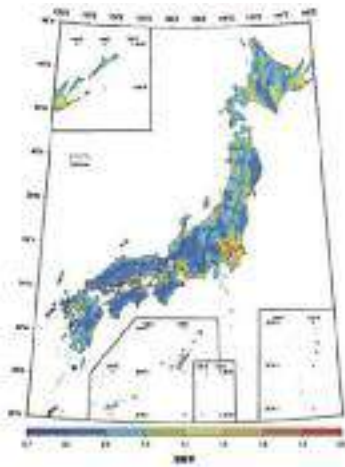


FIGURE 11 Amplification factors of the soil surface layers



FIGURE 12 Subduction zones and 98 major faults

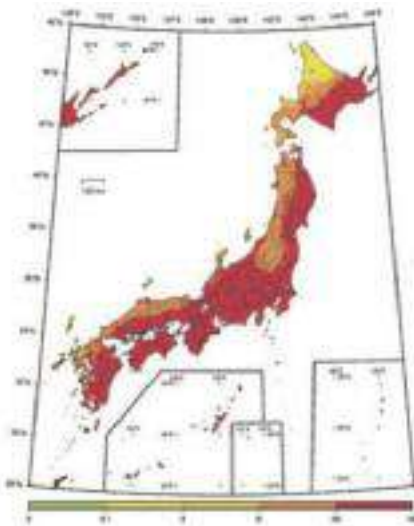
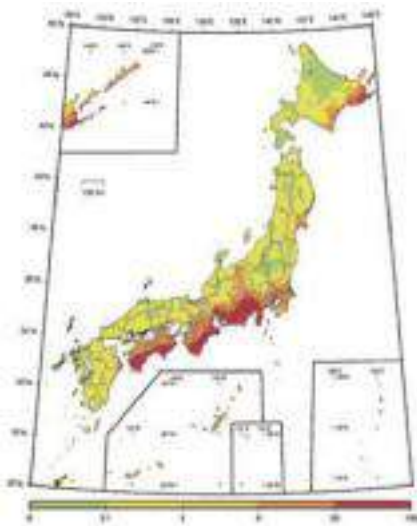


FIGURE 13 Probability of exceeding (a) the JMA 6-low e (b) the JMA 5-low in 30 years

essed the probability of occurrence of earthquakes. **Figure 13** shows the distributions of probability of exceedance in 30 years (from January 2005) of the intensity 6low and 5low. **Figure 14** reports scenario maps for areas where detailed information was

available. From a comparison between **Figure 3** and **13** it appears that Japanese hazard maps, although produced with enormous wealth of resources, failed their purpose. Although outside the scope of this work, it is still worth noting

that significant discrepancies between maps and reality had been detected in a timely manner (Toda and Awata, 2008). Indeed, they noticed that in recent years as many as 5 destructive earthquakes ($JMA \geq VI$) had occurred in areas where the official probability of occurrence was less than 3%, and that the Noto Hanto earthquake of March 25, 2007 (magnitude 6.9), struck an area of hazard even lower (**Figure 15**). They conclude that the epicentral region of this earthquake could be attributed a significant probability of generating a magnitude 6.3-6.8 if they had used all available data.

Another element of discrepancy was already observed: the response spectra of accelerograms recorded at the basement of the nuclear reactors of Dai-ichi are different from those of design both as form and as frequency content. Since the structure, as ascertained, was not damaged, it could be argued however that the security objective has been achieved, but it is also legitimate to raise the doubt that the erroneous definition of the seismic motion can result in an unjustified increase in costs and/or structural damage from seismic events other than this one.

With respect to the tsunami, it is observed that at the time of the Dai-ichi nuclear power plant design the reference tsunami was the one originated by the Chile earthquake (1960, magnitude 9.5) with a design height of 3.1 m. In 2002, the design wave height was reevaluated on the basis of the Tsunami Assessment Method

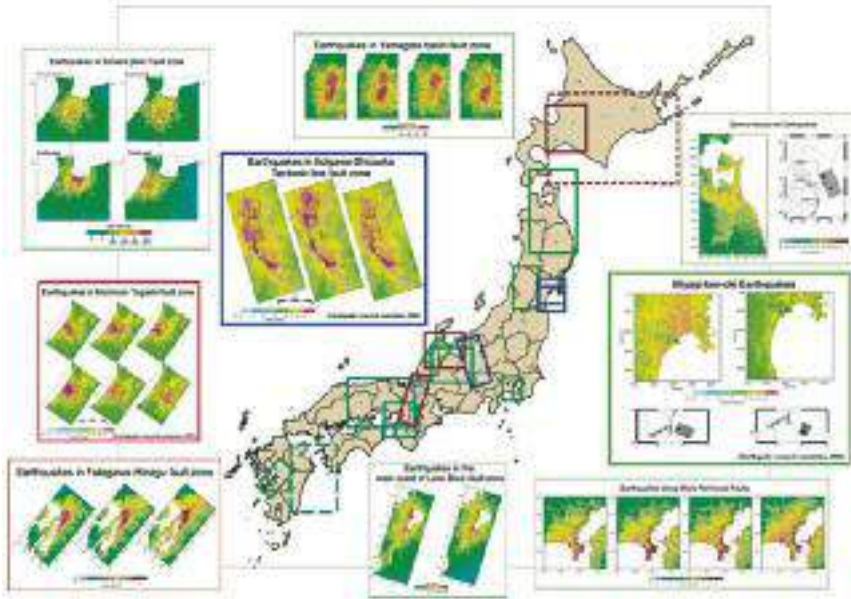


FIGURE 14 Scenario maps for areas where detailed information was available

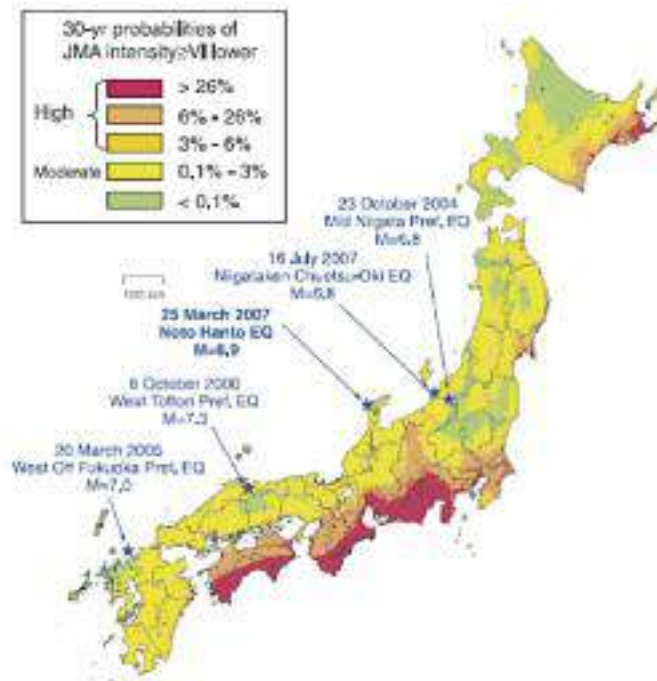


FIGURE 9 Location of strong Earthquakes in Japan PSHM

for Nuclear Power Plants in Japan (produced by Tsunami Evaluation Subcommittee, Nuclear Civil Engineering Committee, Japan Society of Civil Engineering), based on the earthquake off the Fukushima Prefecture in 1938, a magnitude of 7.9, bringing the wave height between 5.4 and 5.7 m. These values of tsunami wave height, for both the effects on nuclear installations and the effects extended to the whole region, are in stark contrast to the reported historical run-up data (Figure 5) and with the testimonies of stone monument.

Conclusions

If the Tōhoku earthquake was not followed by the tsunami, with its spectacular consequences on nuclear facilities, probably the uncertainties and doubts on the estimation of the hazard would remain within the scientific discussions.

The lesson of the earthquake in Tōhoku, however, may be useful for the Italian situation. With reference to L’Aquila earthquake of 2009, Masi (2009) wrote: “The comparison between the recordings available in the four stations closest to the epicenter of the RAN network (stations code AQA, AQQ, AQV and AQK) with the actions envisaged by NTC 2008 shows that, in terms of peak ground acceleration (PGA), the recorded value is always greater than that expected for a return period $T_R = 475$ years, i.e. the reference value for designing ordinary works compared to Preservation of Life Limit State. The PGA values are comparable with

those expected for a return period $T_R = 2475$ years (i.e. the maximum value expected for the design of strategic works compared to the limit state of collapse), except for the site AQV where, even for $T_R = 2475$ years, the expected value is lower than that recorded. As an alternative to a parameter such as PGA an integral parameter was also considered such as Housner Intensity HI (area under the pseudovelocity spectrum calculated to 5% of damping in the range of 0.2-2 seconds), which repre-

sents more effectively than PGA the destructive potential of a seismic event. The comparison in terms of HI shows that the recorded actions in some cases still exceed those for $T_R = 475$ years, but not those for $TR = 2475$ years”.

Obviously, the effects of an earthquake also depend on the vulnerability of the structures affected, but it is clear that:

- the standard methods of seismic hazard assessment showed deficiencies;
- although the actual seismic

actions far exceeded the design ones of the most recent code, most of the buildings in L'Aquila passed the earthquake with little damage.

Consequently, the definition criteria of seismic input should be revised and an extensive campaign of experimentation should be started to evaluate the real behavior of buildings, in order to review the criteria for modeling and analysis. These are proposals that we had already made almost thirty years ago ...

Acknowledgements

Figures 1-6, 8-10 are from “Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety” - June 2011 (<http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report/>)

Figures 11-14 are from Hiroyuki Fujiwara, Shinichi Kawai, Shin Aoi, Nobuyuki Morikawa, Shigeki Senna, Kyoko Kobayashi, Toru Ishii, Toshihiko Okumura e Yuzuru Hayakawa “National Seismic Hazard Maps of Japan”. Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo Vol. 81 (2006) pp.221-232 <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/BERI/pdf/IHO81304.pdf>

Figure 7 is from http://www.nytimes.com/2011/04/21/world/asia/21stones.html?_r=1&pagewanted=all

Figure 15 is from Toda e Awata (2008).

References

- [1] Bazzurro P., Benedettini F., Clemente P., Martinelli A., Salvatori A. (2009). “Lezioni dal terremoto dell’Abruzzo: il comportamento degli edifici visto dall’angolo prospettico della regola d’arte nel costruire”. *Energia, Ambiente e Innovazione*, ENEA, Roma, No. 3, 28-45.
- [2] Bazzurro P., Alexander D., Clemente P., Comerio M., De Sortis A., Filippou F., Goretti A., Jorjani M., Mollaioli F., Mosalam K., Price H.J., Court C.P., Schotanus M., Stewart J. (2009). *Learning from Earthquakes. The Mw 6.3 Abruzzo, Italy, Earthquake of April 6, 2009*. EERI Special Earthquake Report — June 2009
- [3] Bongiovanni G., Clemente P., Verrubbi V. (2011). “Il terremoto di Tōhoku dell’11 marzo 2011”. *Energia, Ambiente e Innovazione*, No. 1-2, 16-20, ENEA, Roma.
- [4] Celebi M., Bazzurro P., Chiaraluce L., Clemente P., Decanini L., De Sortis A., Ellsworth W., Gorini A., Kalkan E., Marcucci S., Milana G., Mollaioli F., Olivieri M., Paolucci R., Rinaldis D., Rovelli A., Sabetta F. and Stephens C., (2010). “Recorded Motions of the Mw6.3 April 6, 2009 L’Aquila (Italy) Earthquake and Implications for Building Structural Damage: A Review”. *Earthquake Spectra*, Volume 26, No. 3, pages 651–684, August 2010; © 2010, Earthquake Engineering Research Institute.
- [5] Clemente P. (2011). “Tōhoku Earthquake of March 11th, 2011”. Contribution to *Italy in Japan 2011. Science, Technology and Innovation*. <http://www.enea.it/it/internazionali/enea-in-japan-2011/>
- [6] Geller J.R. *Shake-up time for japanes seismology* NATUREI doi:10.1038/nature10105 - 2011
- [7] IAEA (2011) Mission Report The Great East Japan Earthquake Expert Mission 24 may - 2 June 2011, http://www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings/PDFplus/2011/cn200/documentation/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf
- [8] Japanese Government (2011) “Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety” -June 2011. <http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report/>
- [9] Masi A. (2009) Prime riflessioni sull’esperienza del terremoto in Abruzzo. *Assemblea Nazionale dei Presidenti degli Ordini degli Ingegneri Roma 9 maggio 2009*, <http://www.tuttoingegnere.it/ITA/In-evidenz/Il-terremo/TERREMOTO-Opuscolo---visualizzazione.pdf>
- [10] Toda S. and Awata Y. (2008) Active Fault Research Center, Geological Survey of Japan, AIST, site 7, 1-1-1 Higashi Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan: Does the 2007 Noto Hanto earthquake reveal a weakness in the Japanese national seismic hazard map that could be remedied with geological data? *Earth Planets Space*, 60, 1047–1052.



Teachings from the Tōhoku-Oki event: tsunami hazard scenarios along Japanese and Italian coasts

The Tōhoku-Oki earthquake ($M=9.0$) has provided an unprecedented opportunity to utilize Japan's monitoring networks (e.g., GPS, seismic and DART buoys) to gather data. The implications of the new observations, especially about the dynamical properties of tectonic faults, need to be further explored and integrated in sound physical models of earthquakes to go towards better quantification of the related hazards. The "scenario based" tsunami hazard assessment applications to selected areas of the Japanese and Italian coasts (i.e., Adriatic Sea) will be discussed

Insegnamenti dall'evento di Tōhoku-Oki: scenari di pericolosità di tsunami lungo le coste giapponesi e italiane

Il terremoto di Tōhoku-Oki ($M=9.0$) ha offerto l'opportunità senza precedenti di utilizzare le moderne reti di monitoraggio (e.g. di GPS, di strumenti sismologici e di boe di tipo DART) giapponesi per la raccolta di dati scientifici. Le implicazioni delle nuove osservazioni, in particolare sulle proprietà dinamiche delle faglie tettoniche, richiedono di essere ulteriormente esplorate e integrate in robusti modelli fisici dei terremoti al fine di andare verso una migliore quantificazione dei rischi connessi. La valutazione della pericolosità di tsunami basata sugli "scenari" e la sua applicazione ad aree selezionate lungo le coste giapponesi ed italiane (i.e. Mare Adriatico) viene qui discussa

■ Fabio Romanelli

The Tsunami phenomenon, that has reached a global attention with the 2004 event in Sumatra, has strongly come back on the current scene because of the recent devastating earthquake in Japan (March 11th, $M 9.0$), causing over 20000 people to die and whose

damages at Fukushima nuclear plants are still on the chronicles in these days. These and other catastrophes call for an increased attention in dealing with tsunami disasters, both on alert systems (e.g., DART systems) and hazard maps. In particular the unexpected magnitude of the latest event and the consequent inefficiency, particularly for tsunami barriers, impose us to put new consideration on the concept of "maximum credible

earthquake" and on the hazard-scenarios based on it.

Modeling a hazard scenario has the main purpose to assess the maximum threat expected from a studied phenomenon in a certain area and to give specific directives to local authorities in order to prevent and mitigate serious consequences on the population, the infrastructures and the environment. To build scenario-based tsunami hazard maps for a specific

■ Fabio Romanelli

University of Trieste, Department of Mathematics and Geosciences

coastal area one has first to characterize the seismic sources (or other tsunamigenic events, not considered in this study) and select the earthquake scenarios that can drive the hazard. By means of the modeling we then calculate the maximum amplitude of the vertical displacement of the water particles on the sea surface and the travel time of the maximum amplitude peak, since they are the most significant aspects of the tsunami wave and also are the only characteristics always recorded in the chronicles and therefore in catalogues. The horizontal displacement field is calculated too, and, on average, it exceeds the vertical one by an order of magnitude approximately (this accounts for the great inundating power of tsunami waves with respect to wind driven ones). It is important to point out that the extremely efficient analytical modeling techniques (computation times are of the order of seconds and are bound to decrease with the natural rate of improvement of computers) for real time simulations can be very useful also for integration in a Tsunami Warning System, since they can be compared with real time incoming open-sea level data, in order to validate, or close, an impending alarm.

Scheme of the scenario-based Tsunami Hazard Assessment (THA)

Following the guidance provided by the Intergovernmental Coordination Group for the Indian Ocean Tsunami Warning and Mitigation System [1], a tsunami hazard

earthquake scenario is built up by specifying the various characteristics of a potentially tsunamigenic seismic source. Schematically, for a scenario based THA the necessary steps are: a) building a database of potentially tsunamigenic earthquake Source Zones, b) each Source Zone includes an active tectonic structure with a Maximum Credible Earthquake and a typical fault, c) provide information on the expected tsunami impact (e.g., height and arrival times) onto the target coastline. The procedure can include additional stages: building a unique aggregated scenario by combining together all of the computed ones (selection of the maximum value of a given physical variable such as e.g., height); subjectivity, and the related uncertainties, can be treated by performing a sensitivity analysis.

One of the critical aspects is in step b) and it is related to the fact that the uncertainties when recurrence interval is *long* and the historical record is *short cannot be overcome*, since Magnitude and location from historical intensity data can be inaccurate and the compilation of existing data is unacceptable or misleading (e.g., [2]). Thus, one of the key points is that the procedure should be progressively updated as knowledge (theoretical and experimental) of earthquake source advances.

THA and the 2011 (M=9.0) earthquake of the Pacific coast of Tōhoku

The Headquarters for Earthquake Research Promotion (HERP) has

released evaluation results of earthquake occurrence probability within the next 10, 30 and 50 years, respectively, as shown in Figure 1 for those trench-type earthquakes with a certain magnitude (earthquake occurrence probability within 30 years, based on January 1, 2011). A similar set of faults, but including more earthquake scenarios, was used by Yanagisawa et al. [3] for a deterministic (thus, without any information about the recurrence time) THA: their study focuses on the evaluation of the maximum and minimum water levels caused by tsunamis as risk factors for operation and management at nuclear power facilities along the coastal area of Japan. The design tsunami was verified by comparison with the run-up heights of historical tsunamis, ensuring that the design tsunami is selected as the highest of all historical and possible future tsunamis at the site. The deterministic approach was followed by a probabilistic study (PTHA) by Annaka et al. [4], who proposed a logic-tree approach to construct tsunami hazard curves (relationship between tsunami height and probability of exceedance) and presented some examples for Japan for the purpose of quantitative assessments of tsunami risk for important coastal facilities. This represented Step 2 in the scheme adopted by Tsunami Evaluation Subcommittee (TES) for the Tsunami assessment method for NPP in Japan Society of Civil Engineers (JSCE) (e.g., [5]).

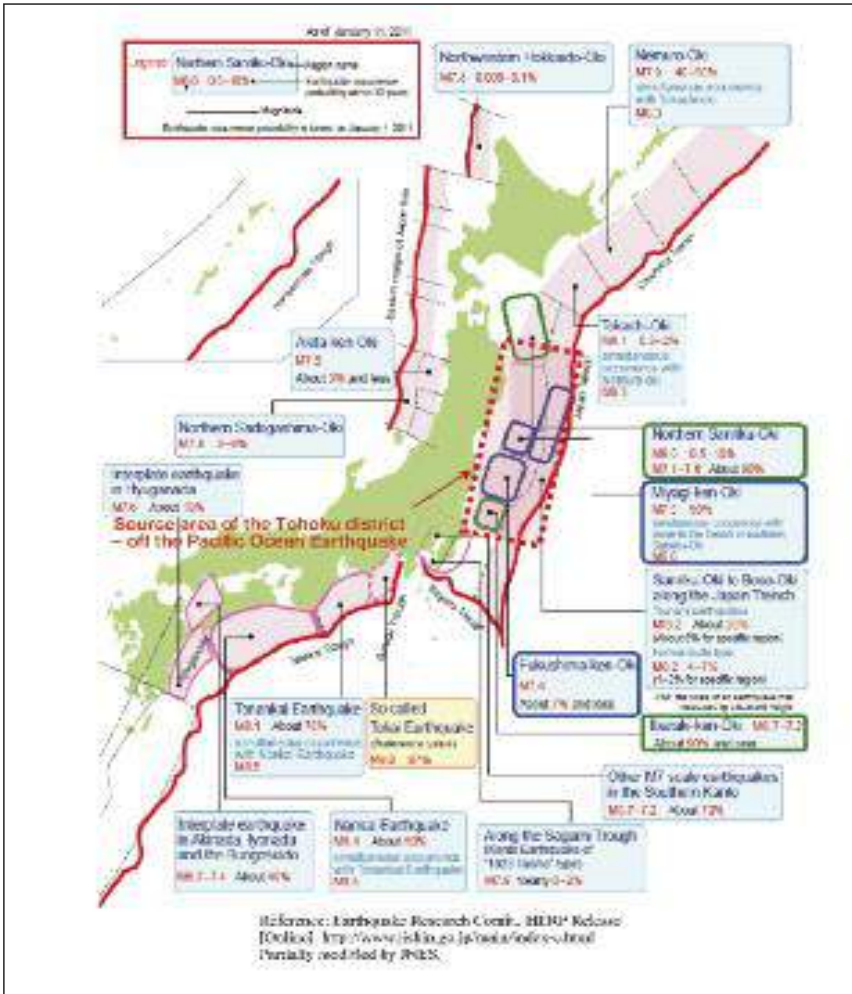


FIGURE 1 Comparison of the source areas of the main shock and scenario earthquakes evaluated by Long-Term Evaluation Subcommittee, Earthquake Research Committee, Headquarters for Earthquake Research Promotion (HERP)

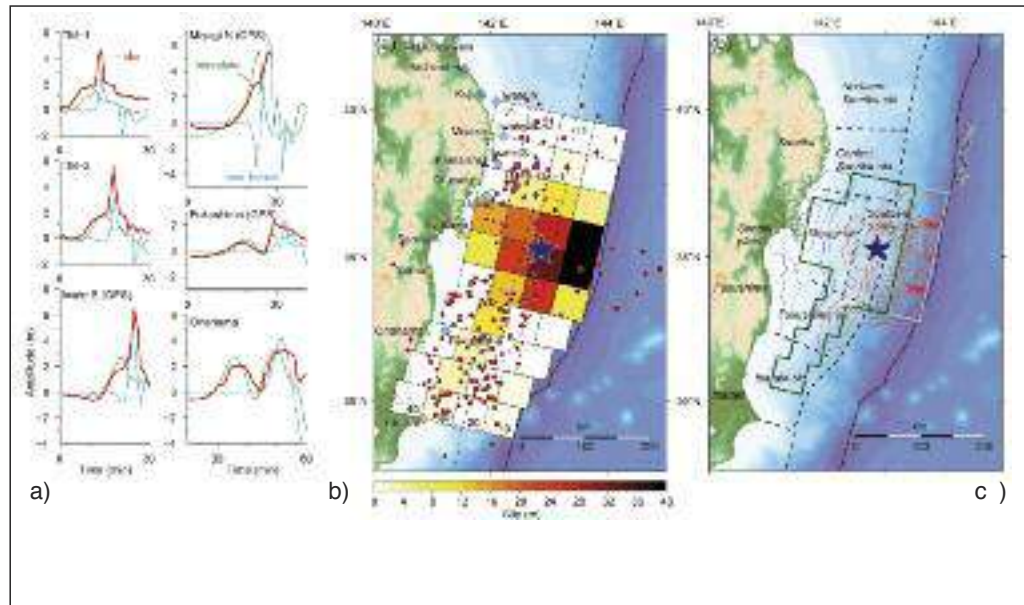
However, the HERP committee admitted, after the 2011 M9 event, that the size of the source area, which covers the offshore areas of central Sanriku, Miyagi Prefecture, Fukushima Prefecture, and Ibaraki Prefecture, the consecutive rupturing, and the magnitude 9 were beyond expectation (Earthquake Research Committee, HERP: The evaluation of the Tōhoku District - Off the Pacific

Ocean Earthquake released on March 11). Moreover, in contrast to the fact that the rupture spread from the hypocenter to the shallow area of the plate boundary, and slip amount was above 20m, it was assumed that the shallow plate boundary along the Japan trench in the offshore area of Miyagi Prefecture was not able to store a large amount of strain energy, be-

cause the area was assumed to be creeping. Some experts, however, commented that the area was strongly coupled, the strain energy has hence been stored for a long time, and the rupturing off the coast of Miyagi Prefecture became the trigger for this earthquake. An interesting insight comes from earthquake dynamics: Ide et al. [6] showed that strong spatial variation of rupture characteristics in the moment magnitude (Mw) 9.0 Tōhoku-Oki megathrust earthquake controlled both the strength of shaking and the size of the tsunami that followed; a combination of a shallow dipping fault and a compliant hanging wall may have enabled large shallow slip near the trench. This results are confirmed by the tsunami waveform inversion performed by Fujii et al. [7]: ocean bottom pressure and GPS wave gauges recorded two-step tsunami waveforms, gradual increase in water level (~2 m) followed by an impulsive tsunami wave (3 to 5 m). The slip distribution estimated from 33 coastal tide gauges, offshore GPS wave gauges and bottom pressure gauges show that the large slip, more than 40 m, was located along the trench axis (Figure 2). This offshore slip, similar but much larger than the 1896 Sanriku “tsunami earthquake”, is responsible to the recorded large impulsive peak. The large slip on the plate interface at southern Sanriku-oki (~30 m) and Miyagi-oki (~17 m) around the epicenter, similar location with larger slip than the previously proposed fault model of the 869 Jogan earthquake, is responsible to the

FIGURE 2

- a) Observed tsunami waveforms (red curves) at offshore bottom pressure gauges (TM-1, TM-2), GPS wave gauges, and coastal tide gauge. Blue and green curves are computed tsunami waveforms from the large slip near trench (blue) and deeper interplate slip (green) as shown in c).
- b) Slip distributions estimated by tsunami waveform inversion.
- c) Seafloor deformation computed from the estimated slip distribution. Modified from [7]



initial water rise and presumably large tsunami inundation in Sendai plain.

THA in the Adriatic basin and conclusions

The tsunami phenomenon is mainly detected in oceanic domains but it can also occur in small basins as the Adriatic Sea. The presence of great waves has been recorded a few times in the past centuries on the Adriatic shorelines, therefore this suggested the idea to evaluate which could be the maximum amplitude reached by a possible future tsunami event. In this framework, Paulatto et al. [8] calculated several synthetic mareograms applying to the shallow water basin case both the theory of modal summation, for offshore seismic sources, and the theory of the Green's function, for inland seismic sources.

Both kinds of tsunamigenic events did already occur in the Adriatic domain, as witnessed in many catalogues. They calculated synthetic mareograms varying those parameters most influencing tsunami generation, such as magnitude, focal depth, water layer thickness, etc., in order to estimate the expected values of tsunami maximum amplitude and arrival time, in the whole Adriatic basin, for the selected scenarios. Their results (an example is shown in Figure 3 and 4) suggest that a tsunami with maximum amplitude up to a few meters can be expected also in the Adriatic Sea, in agreement with a number of historical events reported in the catalogues, and as confirmed by a later and updating study performed by Tiberti et al. [9]).

Within the Adriatic Sea, the region most prone to generate tsunamis seems to be the Eastern coast of

the basin, where the Adriatic plate presses against the Dinarides and the Albanides. Other regions where this phenomenon can occur are the Gargano Peninsula, the Eastern coasts of Central Italy and the Italian coasts on the Northern part of the basin. Even though the cases of a smaller magnitude and deeper event are more frequent (both in the case of offshore and inland sources), the use of the maximum credible values for calculating the tsunami risk is fundamental in the framework of protecting the Adriatic Sea coasts, especially in such a small and densely urbanized area that does not allow enough time to warn the population after a detection is made.

It has also to be taken into account that even if the seismicity in the Adriatic area is not high, the sea tide is, on average, twice that of the Mediterranean Sea and the coasts are generally quite shallow.



In other words, a modest tsunami wave of a couple of meters may superimpose to a high tide of the order of the meter and thus cause major damages, if not loss of life, in a large number of coastal urban settlements. Particularly in cases like this, the identification of the tsunamigenic sources driving the hazard is of great importance for a proper tsunami risk assessment.

References

- [1] ICG/IOTWS, Workshop on tsunami risk assessment for the Indian Ocean, Final Report, Dubai, 4-6 October, 2007.
- [2] Bilham, R., The Seismic Future of Cities, Twelfth Annual Mallet-Milne Lecture, *Bull. Earthquake Engineering*, 1-49, 2009.
- [3] Yanagisawa, K., Imamura, F., Sakakiyama, T., Annaka, T., Takeda, T., and N. Shuto, Tsunami Assessment for Risk Management at Nuclear Power Facilities in Japan, *Pure and Applied Geophysics*, 164, no. 2-3, 565-576, 2007.
- [4] Annaka, T., Satake, K., Sakakiyama, T., Yanagisawa, K., and N. Shuto, Logic-tree approach for probabilistic tsunami hazard analysis and its applications to the Japanese coasts, *Pure Appl. Geophys.*, 164, 577-592, 2007.
- [5] Tsunami Evaluation Subcommittee, Nuclear Civil Engineering Committee, Japan Society of Civil Engineers, Tsunami assessment method for nuclear power plants in Japan, Japan Society of Civil Engineers, 2002 (in Japanese).
- [6] Ide, S., A. Baltay, and G. C. Beroza, Shallow Dynamic Overshoot and Energetic Deep Rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, 332, (6036), 1426-142, 2011.
- [7] Fujii, Y., Satake, K., Sakai, S., Shinohara, M., and T. Kanazawa, Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, Japan Earthquake, *Earth Planets Space*, 63, 815-820, 2011.
- [8] Paulatto, M., Pinat, T. and F. Romanelli, Tsunami hazard scenarios in the Adriatic Sea domain, *Natural Hazards And Earth System Sciences* (on line), vol. 7, pp. 309-325, 2007.
- [9] Tiberti, M.M., Lorito, S., Basili, R., Kastelic, V., Platanesi, A. and G. Valensise, Scenarios of Earthquake-Generated Tsunamis for the Italian Coast of the Adriatic Sea, *Pageoph*, 165, 2117-2142, 2009.

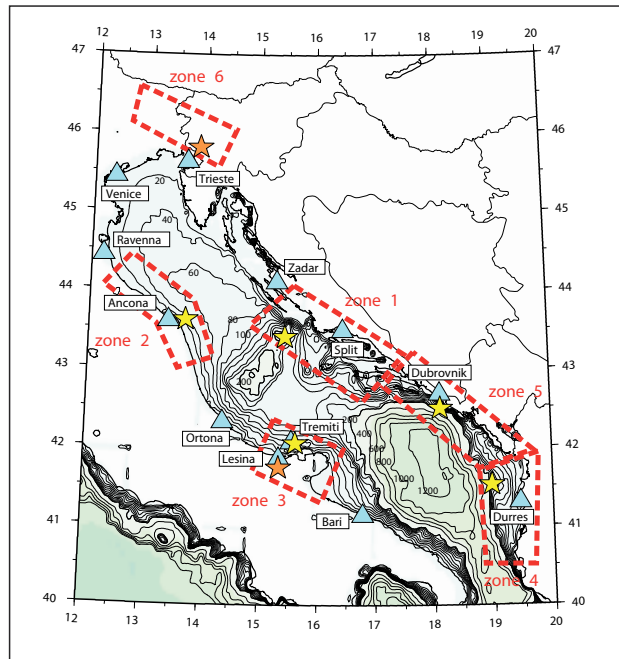


FIGURE 3 Bathymetric map of the Adriatic Sea. The bathymetric contours are drawn with a step of 20 m in the range from 0 to -200 m and with a step of 200 m in the range from -200 m to -1200 m. The contours of the six tsunamigenic zones are shown in red, the blue triangles correspond to the 12 receiver sites, the stars correspond to the epicenters of the considered events (yellow: offshore; orange: inland). Modified from [8]

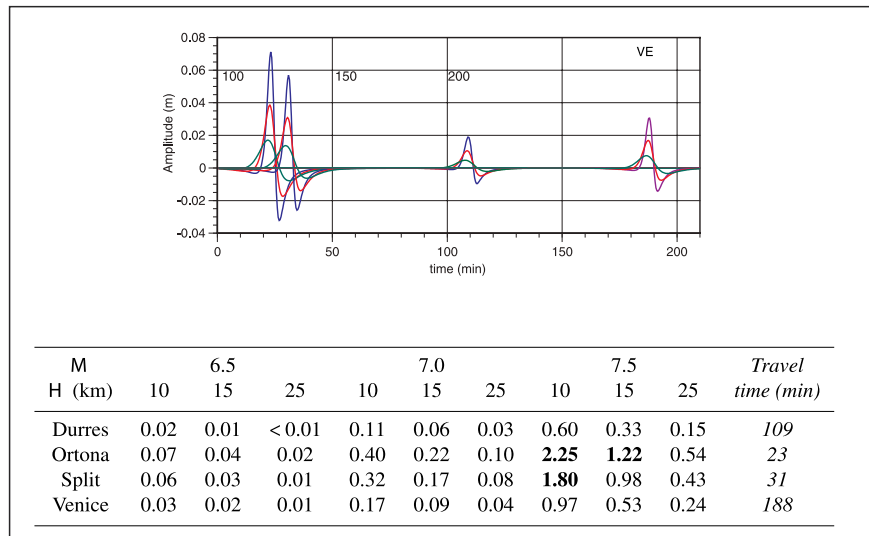


FIGURE 4 a) Synthetic mareograms for Zone 1 shown in Figure 3. Focal depth, H =10 km (blue), 15 km (red), 25 km (green). Magnitude: M =6.5. b) Maximum amplitudes and travel times for the four sites of Zone 1. Scenarios are calculated for three values of magnitude, M=6.5, 7.0, 7.5, and three values of focal depth, H =10, 15, 25 km. Amplitudes are reported in meters and those exceeding 1 m are written in bold style. Modified from [8]



mostra-convegno internazionale

terrafutura

buone pratiche di vita, di governo e d'impresa



abitare



produrre



coltivare



agire



governare

Firenze - Fortezza da Basso

25/27 maggio 2012

IX edizione | ingresso libero

**Lavoriamo per il futuro.
Lavoro, sostenibilità ed equità**

www.terrafutura.it

Relazioni istituzionali e programmazione culturale
Fondazione Culturale Responsabilità Etica
tel. 049 7399726 - 055 2638745
email fondazione@bancaetica.org

Organizzazione evento
Adescoop-Agenzia dell'Economia Sociale
tel. 049 8726599
email info@terrafutura.it

Simulation & analysis of the severe accident of the Unit 1 of Fukushima Daiichi NPP

In the framework of the activities devoted to the development of the ENEA-Casaccia “NPP Engineering Simulator”, a RELAP/SCDAPSIM code simulation model of the Unit 1 of Fukushima Daiichi NPP was developed and applied for the analysis of the severe accident occurred on March 11, 2011 in Japan. The model accurately reproduces the BWR-3 primary system and the Mark I containment. BWR-3 NPP public available data of a similar unit were used for setting up the model and performing its steady state and transient validation. Main events’ reconstruction of the Fukushima scenario was based on the official Japanese data. The first 24 hours of the accident were simulated, beginning with the reactor scram as a consequence of the earthquake, and reproducing the behavior of the main engineered safety features. Results showed that the core uncovering and degradation began at +2 hours after the tsunami wave hit the plant. Core melting was predicted to occur in the subsequent 6 hours, with a fuel relocation at the bottom of reactor pressure vessel. RELAP/SCDAPSIM code models calculated the severe damage of the reactor boundary allowing to estimate the time of the consequent containment over-pressurization, that resulted well beyond the design limits. The calculated results are consistent with the ones performed by different Japanese Institutions and, together with the developed model, constitute valuable tools for ENEA in view of its future role as Technical Support Organization for the National Nuclear Safety Authority

Simulazione ed analisi dell’incidente severo dell’Unità 1 della centrale nucleare di Fukushima Daiichi

Nell’ambito delle attività dedicate allo sviluppo del Simulatore Ingegneristico di Impianti Nucleari nel Centro Ricerche ENEA “Casaccia”, è stato sviluppato un modello per il codice di calcolo RELAP5/SCDAPSIM dell’Unità 1 dell’impianto nucleare di Fukushima Daiichi (Giappone). Tale modello è in grado di simulare il comportamento termoidraulico del circuito primario (tipo BWR-3) ed del contenimento (tipo Mark I) ed è stato impiegato per eseguire un’analisi dell’incidente severo occorso a tale impianto l’11 marzo 2011. I principali eventi occorsi immediatamente dopo il terremoto sono stati ricostruiti ed implementati. Le prime 24 ore dell’incidente sono state simulate, analizzando il comportamento del combustibile nucleare, del contenimento e dei principali sistemi di sicurezza. I risultati mostrano come il danneggiamento del combustibile sia iniziato dopo circa 2 ore dall’inondazione causata dallo tsunami. La fusione del nocciolo è avvenuta nelle seguenti 6 ore, con una rilocazione della parte fusa nel fondo del recipiente in pressione. Il codice RELAP/SCDAPSIM ha consentito di calcolare il danneggiamento del recipiente in pressione stesso e la conseguente sovrappressione del contenimento causata dal rilascio di massa dal primario. I risultati dei calcoli si sono dimostrati in accordo con le analisi svolte da diverse istituzioni giapponesi. Il modello sviluppato e le analisi effettuate risultano quindi particolarmente rilevanti in vista del futuro ruolo dell’ENEA come Organizzazione di Supporto Tecnica (TSO) per l’Autorità per la Sicurezza Nucleare

■ Carlo Parisi, Alessandro Del Nevo, Emanuele Negrenti, Massimo Sepielli

■ Carlo Parisi, Emanuele Negrenti, Massimo Sepielli

ENEA, Technical Unit for Nuclear Fission Technologies and Facilities, and Nuclear Material Management

■ Alessandro Del Nevo

ENEA, Technical Unit for Brasimone Experimental Engineering

ENEA is in charge of research and development activities in the field of nuclear safety technology. The acquisition of the RELAP5/SCDAPSIM code [1] and the development of a model simulating the severe accident of Unit 1 of the Fukushima Daiichi NPP are tasks devoted to the development of the ENEA-Casaccia “Enhanced NPP Engineering Simulator”. The code selected for simulation is based on the well-known RELAP5 thermal-hydraulic code. It can model the overall Reactor Cooling System (RCS) thermal-hydraulic response, including the (zero dimensional) neutron kinetic and the thermo-mechanical behavior of the fuel rod. During the severe accident simulation, the core structures damage progression is modeled by means of the code SCDAP while the code COUPLE calculates the thermo-mechanics interaction between the molten material and the reactor pressure vessel lower head.

This paper reports the thermal-hydraulic modelling of the reactor, engineered safety features and containment respectively. Then, the nodalization qualification process is illustrated. The main events occurred at the Fukushima Daiichi Unit 1 are recalled according to the present knowledge, and the preliminary results of the simulations of the accident are showed. The effects of some significant parameters on the simulation results are also investigated and presented. In the last paragraph, the conclusions and the connections with the ENEA ongoing and future activities are presented.

Model of Fukushima Daiichi Unit 1 Npp

The reactor and the reactor coolant system

Fukushima Daiichi Unit 1 is a BWR-3 reactor, designed by General Electric, equipped with isolation condensers [2], [3], see Figure 1.

The thermal-hydraulic (TH) nodalization models the Reactor Pressure Vessel (RPV), the steam lines, the Safety & Relief Valves (SRV/RV), the Isolation Condensers (IC) and the two recirculation lines including the centrifugal pumps and the jet pumps. The turbine and the turbine bypass are also modelled, as imposed boundary conditions. Active and passive heat structures are used for modelling the nuclear fuel and the structural materials of the RPV and of the reactor coolant system. The active core is divided into five independent zones by means of five TH channels. Moreover, one TH channel is used for modelling the radial reflector and further five independent TH channels are used for modelling the moderator bypass. The latter



FIGURE 1 BWR scheme of Fukushima Daiichi Unit 1

is associated with the RELAP/SCDAPSIM control rod blade component. General Electric 8x8 fuel assembly (FA) data are used and appropriate peaking factors and axial power shape are imposed. ICs are modelled and connected to the upper part of the downcomer (DC) and to the two recirculation lines. All the SRV/RV are modelled by using opening and closing set points reported in reference [2]. In Figure 2, the nodalization scheme and the core radial scheme are presented. The overall nodalization is composed of around 1000 hydraulic volumes. The geometrical data for setting up the RPV model and the reactor coolant system was retrieved by public available documentation concerning an identical unit [4].

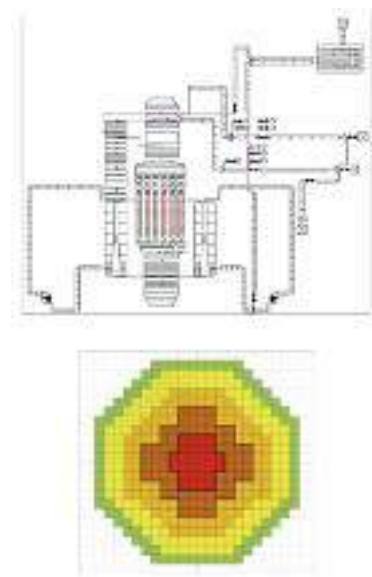


FIGURE 2 RELAP/SCDAPSIM TH nodalization scheme (up) and core modelling (bottom)

The containment

MARK I type containment is present at the Fukushima Daiichi Unit 1. This containment type was modelled by using a nodalization scheme properly set up for simulating the three-dimensional flow paths in big volumes (Figure 3). The bulb-shaped drywell and torus-shaped wetwell are represented with a series of pipes and branches preserving the volumes of the relevant sections. The venting system (header and downcomers), the spargers and the vacuum breakers are also modelled.

The containment nodalization is coupled to the reactor coolant system nodalization via the SRV/RVs, discharging into the wetwell liquid volumes and into the drywell atmosphere.

Model qualification

A steady-state qualification was achieved by running a null transient and by verifying the main

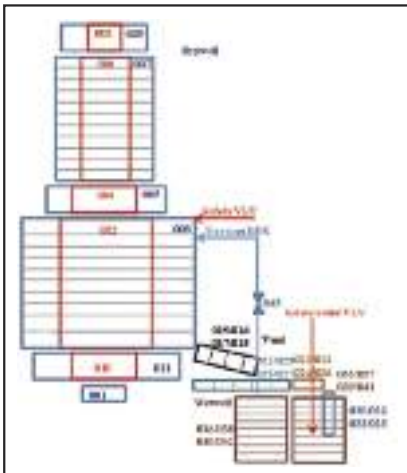


FIGURE 3 RELAP/SCDAPSIM TH nodalization of the MARK I containment

plant parameters. BWR-3 steady state data of a similar unit were used [4]. Results are showed in Table 1.

The following step was the “on-transient” qualification. This was performed by reproducing a turbine trip event occurred in a similar unit [5] in 1992 and by checking some of the main parameters. Results are reported in Figure 4 and Figure 5, showing the trends of the reactor pressure dome, the core and the recirculation lines mass flows. A qualitative agreement is demonstrated by such calculations notwithstanding an imperfect knowledge of the imposed sequence of main events (i.e., the detailed operation of the steam dump system is not available).

The Fukushima Daiichi Unit 1 accident simulation

The main sequence of events of the accident at Unit 1 (Table 2) was reconstructed by using Japanese official documentation [2], and then used for the numerical simulation.

The main assumption is that no reactor cooling was achieved anymore after the tsunami flooding, because of the total station blackout and the loss of the passive cooling by the ICs. Some reactor cooling was re-established by using the core sprays several hours later. Containment venting was imposed after roughly 24 hours from the beginning of the events. Simulation was stopped

Parameter	Plant parameter	RELAP5/SCDAPSIM	Error (%)
Core Thermal Power (W)	1.38E+09	1.38E+09	N/A
RPV dome pressure (MPa)	6.98	7.02	0.54
Total mass flow (kg/s)	5622	5605	-0.30
Bypass flow (kg/s)	—	341	N/A
Recirculation line mass flow (kg/s)	1308	1311	0.23
Steam Lines total mass flow (kg/s)	685.7	685.0	-0.10
Reactor Level (m above the TAF)	4.109	4.163	1.31
FW mass flow (kg/s)	677.5	686.0	1.25
FW Temperature (K)	452	452	N/A

TABLE 1 Steady state qualification – significant parameters

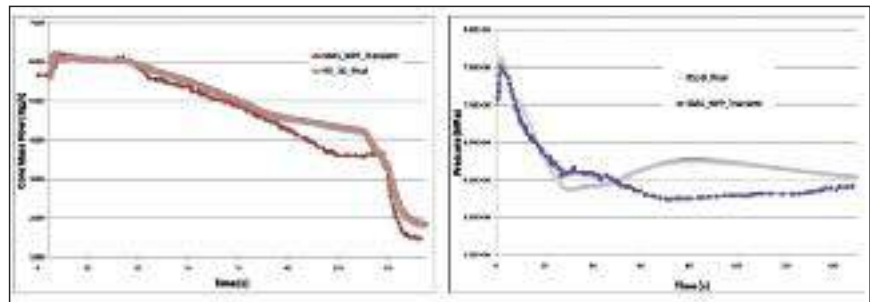


FIGURE 4 On-transient qualification: Core Mass flow (kg/s, left), Steam Dome pressure (MPa, right)

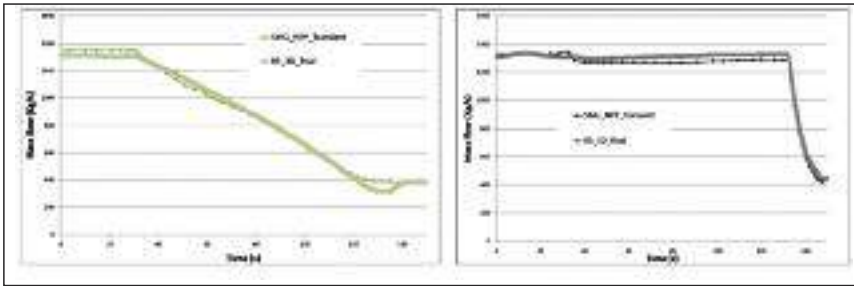


FIGURE 5 On-transient qualification: Recirculation line mass flows (kg/s), line A (left), line B (right)

Main Event	Time (s)
Earthquake, Reactor Scram, Turbine Stop Valve closure	0.
Bypass valve opening	+30.
Bypass valve closure, MSIV closure and Reactor Isolation	+60.
IC opening	+360.
IC closure	+1060.
IC openings/closures (3 times)	from +1860. to +2880.
TSUNAMI flooding	+3060.
Fresh water injection by core spray (2.4 kg/sec)	+54000.
Containment venting	+85440.
End of Containment venting	+86580.
Stop of fresh water injection [end of simulation]	+86820.

TABLE 2 Main events simulations time

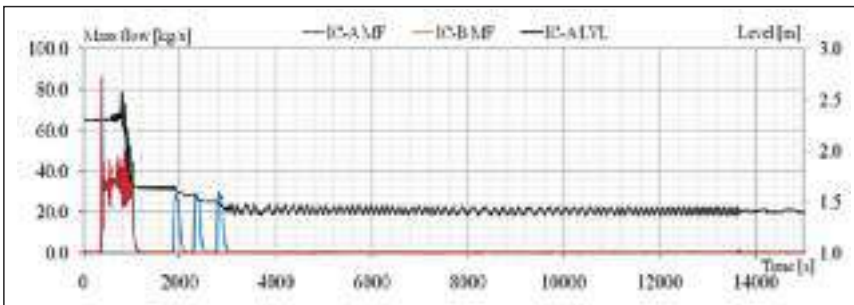


FIGURE 6 Isolation Condensers A&B Mass Flows (kg/s) and IC-A Level (m)

immediately after, because of the hydrogen explosion that occurred into the reactor building. Seven phases of the accident were identified and simulated:

- Phase 1: scram, by-pass pressure control, reactor isolation by main steam isolation valves

- (MSIV) closure [0-60 secs]
- Phase 2: energy removal by the ICs [+360 to 3060 secs]
- Phase 3: End of cooling (stop of ICs), loss of RPV inventory, water level decreasing up to the Top of Active Fuel (TAF) [~ 3060 secs to +7000 secs (2hr)

- Phase 4: Core uncover and degradation, H₂ formation [from +2 hr to +3.4/4 hrs]
- Phase 5: Core melting [+3.4/4 hrs to 3.8/8 hrs]
- Phase 6 : RPV bottom damage and break [+3.8/8 hrs to +15 hrs]
- Phase 7: Containment over-pressurization and venting [+15 hrs to +24 hrs].

The results of the reference calculation are showed in the figures below. The IC-A level and ICs mass flows are showed in Figure 6. These passive systems were actuated for removing the core decay heat during the first phases of the accident. The reference simulation was conservatively supposed to completely cease the operation of the isolation condenser systems after the tsunami wave. It should be noted that this is a point that is still being discussed by the Japanese authorities.

Following the tsunami, the RPV level decreased, reaching the Top of Active Fuel (TAF) in 1 hour (onset of core uncover), because of the loss of cooling by ICs and mass inventory released via the SRV towards the containment. Figure 7 provides the timing of the water level in the reactor pressure vessel downcomer and shroud sides, and the maximum cladding temperature calculated in the core. About 10 minutes later the collapsed level drops below the TAF, the cladding temperature starts to rise slowly. After 3h5min the cladding temperature exceeds 1200 °C. Then, few minutes later the power of the steam zirconium interaction becomes predominant compared to the de-

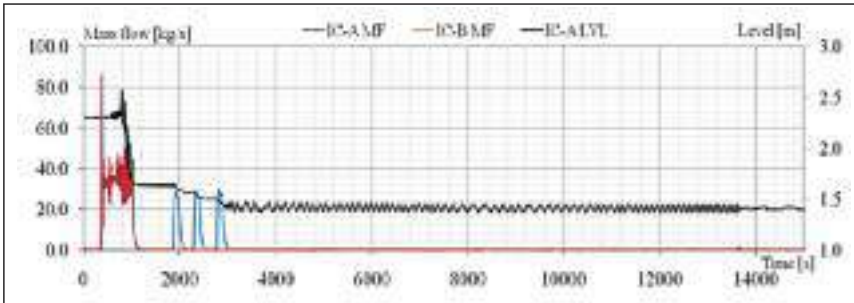


FIGURE 7 RPV DC and in-shroud level (m), Hot spot clad temperature (°C)

cay power, and the rate of cladding temperature increases drastically. The first fuel melting temperature is calculated in the upper part of the core after about 3h20min.

RPV pressure is kept constant by the actuation of the SRV that, on the other hand, causes a slow increase in the containment pressure (Figure 8). A large drop into the RPV pressure was registered by the NPP instrumentation [6] and it was modelled in the simulation by imposing a RPV lower head break (Figure 8). This loss of RPV integrity is supposed to be caused by the degradation effects caused by the fuel slumping in the bottom part of the lower plenum and it is calculated by the COUPLE module of the RELAP/SCDAPSIM. Consequently, because of the energy released into the containment by the lower plenum break and because of the H₂ releases, the containment pressure spikes around 0.8 MPa. The COUPLE module then correctly predicts the energy transfer between the molten fuel still kept into the lower head and the containment atmosphere (Figure 9). The following pressure drop, several hours later, is ob-

tained by simulating the containment venting [6]. Such procedure led to the hydrogen explosion into the reactor building in the real NPP.

Several sensitivities were run in order to assess the effect of the different code models on the transient evolution. One example

of such sensitivities is showed in Figure 10, where different models were applied for bounding or determining when a pool of molten material in the core region slumps to the lower head. In particular, on the left part of the picture, the degradation sequence led to the complete core slumping in 7.2 hours, while, on the right part, the degradation sequence resulted in a major core melting in 8.3 hours.

A sensitivity analysis was also run for taking into account the loss of mass inventory through the pump seals (~25 gallons per minute were imposed, [7]), resulting in an anticipation of the core degradation by half an hour. Calculation of the total hydrogen production resulted in roughly 450 kg. Sensitivities were performed on

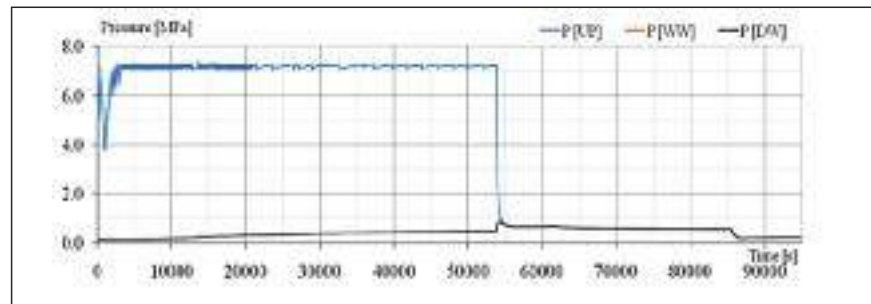


FIGURE 8 RPV and Drywell pressures (MPa)

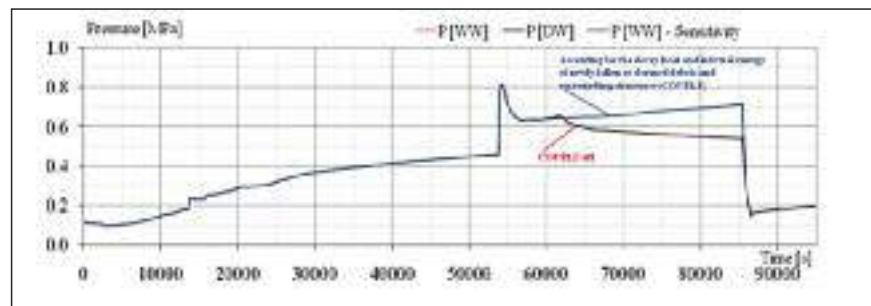


FIGURE 9 Containment pressure (MPa) – COUPLE on/off model sensitivity

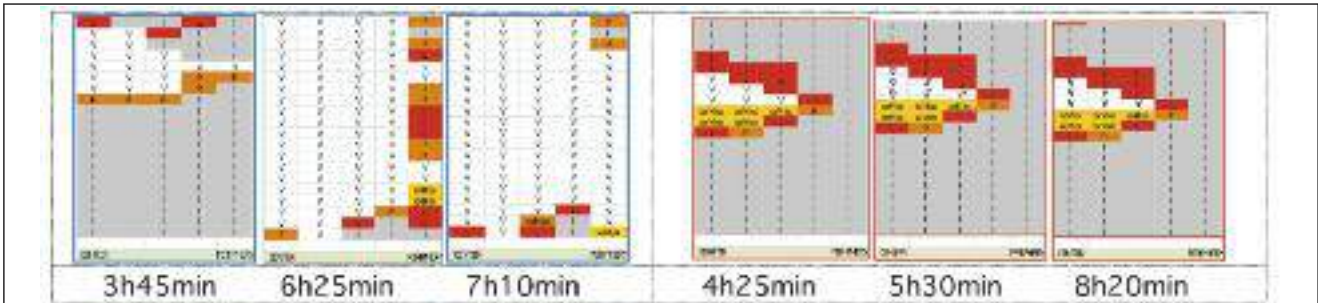


FIGURE 10 Core degradation snapshots. Earliest (left) and latest (right) damage progressions

Event	ENEA – R5/SCDAPSIM	NISA - MELCOR	TEPCO - MAAP
Core Exposure	2 hrs	2 hrs	3 hrs
Core Damage	3 hrs	3 hrs	4 hrs

TABLE 3 Comparison of the main events simulated by different institutions

the steam starvation model, on the oxidation extent for assessing the durability of the cladding oxide shell, and on the application of the COUPLE model.

The most relevant events of accident progression are presented in Table 3. The results of the reference simulation are compared with the analyses performed by the Japanese institutions [6] using independent severe accident codes like MAAP[8] and MELCOR [9].

Conclusions

A numerical model of Unit 1 of Fukushima Daiichi NPP was developed and applied for the simulation of the severe accident occurred on March 11, 2011 in Japan. The analysis was performed by modelling the complete RPV, the reactor coolant system, the engineering safety features and the containment. Steady state and transient validation were obtained by using available

data of a twin unit. The severe accident analysis and the sensitivities calculations performed allowed to identify the main occurred phenomena, to bound the timing of the accident progression and to evaluate the amount of hydrogen generated during the core degradation. The time sequence of the events was similar to the one calculated by the Japanese institutions using different codes and methods. The preliminary comparison of the main calculated values with some plant data also showed some degree of agreement. Follow-up activities will be needed in the future in order to improve the numerical model capabilities, to investigate possible countermeasures in similar postulated accident sequences, to identify and address the fission product release and transport and to test new code models.

The continuation of such work will be part of the efforts being

performed at ENEA “Casaccia” Research Center for reconstructing the nuclear simulation competences and rebuilding an Enhanced Engineering Simulator.

References

- [1] C. M. Allison, J. K. Hohorst (2008), “Role of RELAP/SCDAPSIM in Nuclear Safety”, *Proceeding of TopSafe Conference*, Dubrovnik, Croatia.
- [2] Nuclear Emergency Response Headquarters, Government of Japan (2011), “Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - The Accident at TEPCO’s Fukushima Nuclear Power Stations”.
- [3] US NRC Technical Training Center, “GE Technology Manual (R-304B)”.
- [4] C. Garcia de la Rúa, J. Garcia Garcia, J.V. Lopez Montero (2011), “Assessment of Single Recirculation Pump Trip Transient in Santa María de Garona Nuclear Power Plant With TRAC-BF1/MOD1, Version 0.4”, NUREG/IA-0193, Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. NRC, Washington D.C., USA.
- [5] P. Corcuera, E. Rodriguez, and G. Villescas (2010), “Assessment of the Turbine Trip Transient in Santa María de Garofa Nuclear Power Plant with TRACE version 4.16”, NUREG/IA-0226, Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. NRC, Washington D.C., USA.
- [6] Nuclear Emergency Response Headquarters, Government of Japan (2011), Attachment IV-1 and IV-2 of “Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - The Accident at TEPCO’s Fukushima Nuclear Power Stations”.
- [7] GE-Hitachi Nuclear Energy (2008), “Safety Analysis Report For Monticello Constant Pressure Power Uprate (Non-Proprietary Version of Enclosure 5)”, NEDO-33322, Rev. 4, Class I.
- [8] Fauske & Associates, MAAP4 code (<http://www.fauske.com/pdf/MAAP.pdf>)
- [9] R. O. Gauntt et alii (2001), “Melcor computer code manuals”, Sandia National Lab.

Economic analysis of energy efficiency programs in Italy

An investment analysis is performed on the two most important Italian energy efficiency initiatives, the 55% Tax Deduction (55%TD) and the White Certificates or Energy Efficiency Certificates (EEC) programs, estimating the investments made and the annual energy and economic savings resulting from the initiatives. Both multiyear programs stimulated significant energy savings, estimated at 56,000 GWh of secondary energy over the useful life of investments in the case of the 55%TD, and 97,000 GWh for the EEC. Total public and private costs of the two initiatives are 13 euro cents/kWh of saved energy for 55%TD, and 4 euro cents/kWh in the case of EEC. Although the EEC program is most effective, there are valid reasons for maintaining both. The greatest danger for the continuation of these successful programs, in the present Italian situation, is to rely too heavily on public financing. Even if the Energy Efficiency Certificates program is more difficult to manage with its requirement of long-term planning, it is the nearest to zero public cost, being financed through energy taxes

■ William Mebane, Emanuele Piccinno

Analisi economica dei programmi di efficienza energetica in Italia

Nell'articolo è riportata l'analisi degli investimenti sui due maggiori programmi italiani di efficienza energetica, la detrazione fiscale del 55% e i Titoli di Efficienza Energetica (TEE) o "Certificati Bianchi", concessi a fronte dei risparmi energetici ed economici conseguiti. Entrambi i programmi pluriennali hanno dato impulso a cospicui risparmi energetici: circa 56.000 GWh di energia secondaria per tutta la vita utile degli investimenti nel caso delle detrazioni fiscali del 55% e 97.000 GWh per i TEE. I costi pubblici e privati delle due iniziative ammontano a 0,013 euro/kWh di energia risparmiata per le detrazioni fiscali del 55% e 0,04 euro/kWh nel caso dei TEE. Sebbene questi ultimi siano più efficaci, esistono validi motivi perché possano coesistere entrambi anche se, nell'attuale situazione italiana, l'eccessiva tendenza a fare affidamento sul finanziamento pubblico rappresenta il pericolo maggiore per la prosecuzione di questi validi programmi. Pur essendo più difficili da gestire, richiedendo una pianificazione a lungo termine, i TEE sono più vicini all'azzeramento del costo pubblico, perché finanziati direttamente dalle imposte sull'energia

■ William Mebane
Energy Economics Consultant

■ Emanuele Piccinno
Centro Interuniversitario di Ricerca per lo Sviluppo sostenibile (CIRPS), Rome

This well-known program began in 2007 and has been extended through 2012. Published data exist for 2007, 2008 and 2009 and the report of the Ministry of Economic Development and ENEA [9,10] permits a comparison of the three years. The energy savings are calculated for the average investment for the different technologies represented by the subsections 344, 345, 346 and 347 of the law “Finanziaria” [8].

A methodological issue regards the conversion of the energy savings, which are reported in primary energy, to secondary energy and the cost to the home dweller. In the ENEA on line guide for technicians [6], the installers are given guidelines for the estimation of primary energy savings Q_{pr} , given the savings in the thermal dispersion:

$$Q_{pr} = \frac{\Delta Q_a}{\eta g}$$

where ηg is the product of the single efficiencies.

The guidelines state to use a value between 0.65 and 0.80 for ηg . It is preferred to use the upper value of 0.8 to avoid any underestimation of the secondary energy savings. Natural gas, which was used in 74% of the cases, is taken as the main secondary source. The average price of natural gas of 7 cents €/kWh is used to calculate home dwellers savings according to data from the European Commission [7].

The net present value (NPV)¹ of the various types of investment is calculated taking the average cost of capital typical of long-term (10 year) Italian Treasury Bonds, for 2007, 2008, and 2009. These vary between 4.4% and 4.7%. Nominal energy prices are hypothesized to increase at an average rate of three-percent per year. More approximate measures of investment return, such as the payback time that do not have these complications are also calculated.

The results for the single average investments are shown in Table 1.

The net present value without the tax credit is negative for all except two investments, the integrated re-qualification of buildings in 2009 and solar thermal investments in 2008. These energy saving investments do not have the profitability that we would expect.

The payback times are also quite long in many cases exceeding the useful lifetime of the investments.

Instead, calculating the net present value of the private cost of the investment, which takes into consideration that the home dweller receives the tax deduc-

Type of Investment and year	Payback without tax credit (years)	Net Present Value without tax credit (euro)	Net Present Value with tax credit (euro)
Integ. Requalif. (Art. 344)			
2007	40	-26,652	-2,668
2008	19	-3,910	8,266
2009	11	7,416	12,784
All Types (Art. 345)			
2007	46	-8,085	-1,874
2008	50	-8,593	-3,723
2009	50	-7,466	-3,151
Solar Therm. (Art. 346)			
2007	27	-2,447	1,037
2008	16	374	3,124
2009	18	-126	2,604
Winter Clim. (Art. 347)			
2007	18	-4,008	1,041
2008	20	-5,560	-847
2009	24	-6,681	-1,796
Others			
2007	43	-15,592	-2,363
2008	40	-16,429	-5,313

Source: elaboration by authors of data ENEA

TABLE 1 Analysis of Average Single Investments of 55% TD Program

tion, one sees a mixed picture: eight have a slightly negative NPV and six are positive. Those with greatest negative NPV, with respect to the cost of investment, are concentrated in comma 345. Naturally, the point where the private NPV becomes positive is sensitive to the effective discount rate. For example, with the energy price growth rate to five percent per annum, without any increase in the cost of capital, only five categories remain with negative net present values. The conclusion is that in order for the investments to have positive returns for the private home dweller, the incentive is necessary. The investment without the 55% tax credit is anti-economic except in two out of fourteen cases.

As the 55%TD legislation specifies no limit to profitability, or the lack thereof, of the investment; it is not known if the investment data is accurate or if additional work has been performed within the home to raise the total cost and amount of deduction. For example, after these intrusive investments, it will often be nec-

Year	Number of Investments	Annual energy savings, end of 2009, primary energy (Mtoe/yr)	Lifetime energy savings, secondary energy (GWh)
2007	106,000	0.15	10,578
2008	245,000	0.37	26,654
2009	236,723	0.29	18,994
Sum	587,723	0.79	56,227

Source: elaboration by authors of data ENEA

TABLE 2 Analysis of Total Investments of 55% TD Program

essary to repaint large areas. Re-flooring or re-roofing may also be appropriate. Obviously, the new legislation for 2012, which lowers the present value of the deduction by extending them to ten years, goes in the direction of more economically acceptable deductions. The data for the average individual investments are multiplied times the total number of investments made each year to give the total investments. This in turn permits the calculation of the annual savings and lifetime savings, as shown in Table 2.

The annual totals the sum over the three years are impressive: in only three years 587 thousand investments have been made and 0.79 Mtoe of annual savings of primary energy have been realized by the end of 2009. During 2010, another 0.3 Mtoe/year may be added, bringing the total annual saving to 1.1 Mtoe/year by the year 2010. From 2007 through 2010 about 2.5 Mtoe have been saved. The state may have been overly generous in its incentives for energy efficiency in this program, assuming that the energy investment costs have been somewhat overstated, however it acted as a stimulus to employment in a labor-intensive sector in a time of global economic crisis. The total energy savings, in secondary energy, over the lifetime of the investments for years 2007 through 2009 is estimated at 56,000 GWh.

Economic Analysis of the Energy Efficiency Certificates (EEC) Program

For this analysis we include all the operational actors of Energy Efficiency Certificates within the subsystem boundary of EE activities: energy producers, energy distributors, ESCOs, the household and industrial energy savers and the 'Gestore dei mercati energetici' (GME – the energy market managing authority). The

Authority for Electricity and Gas (AEEG) and the 'Cassa Conguaglio' (Compensation Fund) acting on its behalf, which makes compensation payments to the producers/distributors of energy for the energy saving activities, are considered outside the subsystem of EE activities.

There are three important inputs and outputs to the subsystem as defined: the payment for the purchase of the EE products (investments), the annual flow of energy and economic savings that result from the use of these products, and finally the annual compensation that is given by the AEEG and 'Cassa Conguaglio' for the services necessary to run the system.

With regard to the cost of investment, the most important 'standard' and 'analytic' products (CFL, slow-flow regulators, RA, household appliances) are usually self-installed with little or no appreciable installation costs. Retail prices are used. These certainly are more than the prices that are available for large initiatives managed by 'ESCOs' and others; however, using the retail price is a way of including the cost of delivery to the final user. It is hypothesized that the discounted price for large orders plus the cost of the ESCO for delivering the product to the user is approximately equal to the retail price. For one specific measure, solar collectors, the installation costs are estimated separately. For investments evaluated after completion, a different approach is taken.

The second flow is the annual energy and economic savings to the users, which is generated by the use of the product/investment. This is available from the certificates of the energy efficiency declared by producers/distributors and ESCOs.

Finally, there is an overall cost to the State for compensating all the services performed. This amount is calculated in the form of a compensation between 89 e 100 euro /TEE (certificate of energy efficiency for one toe). It includes compensation for all the services performed by the producers/distributors and ESCOs, including: marketing costs, cost of identifying potential users, cost of reaching the users, cost of delivering the products, administrative costs and so on. It is not known if this compensation covers all the real costs or not. One does not know the profits/losses of the individual players such as ESCOs or producers. These are inside the subsystem. Each year the Authority for

Electricity and Gas authorizes a payment to the obliged producers/distributors. For years 2005 through 2009 the public contribution was 531 million euros, AEEG [1].

The data for investments and cumulative savings from the beginning of the program to December 31, 2010, for each type of investment is taken from the latest statistical report AEEG, [2], as illustrated in Table 3. The cost of investments comprised in the first seven of the technical data modules are estimated using retail prices as discussed, except for solar panels where installation costs per square meter are utilized. These seven types of investments produced 97% of the savings from the entire of the technical data group. The cumulative savings value was converted to average annual savings for each type of investment by taking the difference of the cumulative savings of 2010 and that of 2009. This difference is the annual savings of year 2010, which comprises the sum of the annual savings of all the investments made in the previous years.² This annual savings in terms of primary energy

was converted to secondary energy, where appropriate, distinguishing between gas and electricity savings. For example, according to the latest estimates of the stock of devices for heating sanitary water: 24% use electricity, 73% gas/gasoil and 3% solar. These proportions are used for allocating the type of secondary energy saved. Using the price of electricity or gas per kWh of secondary energy, the annual economic savings for the final users is calculated.

The same logic is applied to the inputs for investments evaluated after completion. However, to estimate the cost of these rather complex investments, where no financial investment data are provided to the public officials (they are provided with detailed technical and energy savings data); reasonable payback times according to the type of investment and sector are hypothesized. Given the annual savings data, an elaborated input, investment costs are estimated by calculating the annual savings multiplied by the payback. The hypothesized payback times are shown and an analysis of sensitivity is performed subsequently.

Category of Investment	Investment costs (million euro)	Certified energy savings thru 2010 (ktoe, primary energy)	Certified energy savings thru 2010 (GWh, secondary energy)	Annual energy savings (million euro/yr)	Pay back (years)	Lifetime energy savings (GWh, secondary energy)
01 Compact F. Lamps	386	4,366	23,349	1,236	0.3	37,451
13a Low-flow Reg.	128	1,073	7,779	201	0.6	11,572
13c 2nd Group Low-F. R.	14	107	776	42	0.3	2,409
14 R.A.	281	364	2,637	77	3.7	4,420
18 Other Lighting	14	181	966	24	0.6	729
08 Thermal Solar Coll.	106	138	1,000	24	4.5	2,172
12 Home Appliances	1623	70	373	17	9.8	506
Other Tech. Modules	315	215	1,147	39	8.0	2,685
Total Tech. Modules	1,408	6,513	38,027	1,659	0.8	61,944
Invest. E. A. C.: GEN-IND	246	587	3,410	62	4	11,827
Invest. E. A. C.: T-IND	733	451	4,197	183	4	17,623
Invest. E. A. C.: E-IND	531	271	1,448	133	4	4,146
Invest. E. A. C.: T-CIV	183	105	857	23	8	1,637
Invest. E. A. C.: GEN-CIV	-38	30	203	-5	8	-409
Invest. E. A. C.: E-CIV	59	30	161	7	8	224
Invest. E. A. C.: IP	2	30	161	1	2	31
Total Invest. E. A. C.	1,716	1,504	10,436	404	4.2	35,080
Total	3,124	8,017	48,464	2,063	1.5	97,023

Source: elaboration by authors of data ENEA & AEEG

TABLE 3 Analysis EEC Program from 2005 to 2010

As illustrated for the simpler investments presented through technical modules, the cost of investment is 1,400 million euros, the annual savings about 1,660 million euros and thus there is a very rapid payback of 0.8 years. Instead the investments evaluated after completion cost 1,700 million euro with annual savings on the order of 400 million euro per year, and an average estimated payback of 4.2 years. These more complex types of investments, concentrated in industry, contributed to about 36% of the total savings. For the program of Energy Efficiency Certificates, from the beginning of year 2005 through the end of year 2010, a total of 8 Mtoe of primary energy has been saved and 48 TWh of secondary energy. This has been brought about by an estimated 3.1 billion euros of private investment with an annual economic savings of 2.1 billion euros for a payback of less than two years. This low payback time is due to the effective, low cost investments made in the initial years of the program. The lifetime savings are estimated at 97 TWh. In Table 4 the public and private costs of the White Certificates or EEC Program are illustrated.

As shown, the total public contribution for years 2005 through 2009 is 531 million euros. Combined with that for year 2010, AEEG [5], results in a total public contri-

bution for the EEC program of 857 million euros for the entire period.

Taking the ratio of the total public contribution to the secondary energy saved during the same period, it results in a value of 1.77 euro cents/kWh of secondary energy savings. This is very near the 1.70 euro cents/kWh estimated for the first five years of the program, calculated by AEEG [3]. Given the inexpensive investments at the beginning of the EEC initiative, one would expect the ratio to increase. It is instructive to compare the public contribution³ to the estimate of the private investment, 3.1 billion euros. Every euro of public contribution stimulated an estimated 2.5 euros of private investment in years 2005 to 2010. In relation to secondary savings, private investments cost 6.5 euro cents/kWh of secondary energy savings for the same period.

Taking into consideration the approximation in the estimates of the investment costs, we have estimated a high and low range as shown. Private investments are estimated from 2.5 to 3.8 billion euros. Again, the public contribution of the EEC program activated from two to three times the same amount in private investment.

Comparison of the two energy efficiency programs

The most important economic characteristics, the public contribution, the private investment and the resulting energy savings are compared for the 55%TD and EEC programs using the data developed in the previous tables. The lifelong energy savings have been used for comparison, multiplying the annual savings times the useful life of the investment. In order to simplify white certificates, the AEEG has standardized the allowable useful life for different classes certainly less than those used for our evaluation of the program 55%TD. No adjustment has been made and the results⁴ are shown below.

The lifelong energy savings are distinct: 97 TWh for the EEC and 56 TWh for 55%TD program. This also reflects the longer existence of the EEC initiative. However, it may not have been expected given the large public contribution of the 55%TD program.

The two programs have different objectives: the white certificate initiative focuses upon energy savings, which set the amount of public incentive; and the 55%

Public Contributions years 2005-9 (million euros)	531		
Public Contributions year 2010 (million euros)	326		
Public Contributions years 2005-10 (million euros)	857		
Energy Savings years 2005-2010, secondary energy (TWh)	48	Sensitivity Analysis:	
Public Contributions years 2005-10/Energy Savings years 2005-2010, secondary energy (euro cents/kWh)	1.77	Minimum	Maximum
Estimate of Private Investments (2005-2010) (million euros)	3,124	2,476	3,790
Private Investments years 2005-10/Energy Savings years 2005-2010, secondary energy (euro cents/kWh)	6.45	5.11	7.82
Payback Tech. Modules (years)	0.85	0.72	1.01
Payback All Investments	1.5	1.2	1.8

Source: elaboration by authors of data ENEA & AEEG

TABLE 4 Public Contributions and Private Investments in the EEC Program

	55%TD (2007-2009)	EEC (2005-2010)	Sensitivity Analysis EEC	
Private investments (million euros)	3,352	3,124	2,476	3,790
Public Contribution (million euros)	4,097	857		
Lifelong Energy Savings (GWh secondary energy)	56,227	97,023		
Private Investments/ Lifelong Energy Savings (euro cents/kWh)	6.0	3.2	2.6	3.9
Public Contribution/ Lifelong Energy Savings (euro cents/kWh)	7.3	0.9	0.9	0.9
Private & Public Costs/ Lifelong Energy Savings (euro cents/kWh)	13.2	4.1	3.4	4.8

Source: elaboration by authors of data ENEA & AEEG

TABLE 5 Comparison of Programs

tax deduction is based on the cost of investment, which determines the amount deduction. As a result, the former will emphasize the most energy savings with the least amount of investment and the latter will concentrate on those higher cost investments with acceptable savings. The data confirm this:

public contribution is much higher in the 55%TD program: 7.3 c€/kWh compared to 0.9 c€/kWh for EEC; private investment is also higher for the 55%TD: 6.0 c€/kWh versus 2.6 to 3.9 c€/kWh; and total costs per unit of saved energy are also higher: 13,2 c€/kWh versus 3.4 to 4.8 c€/kWh.

It is noteworthy that the 55%TD program presupposes available capital or credit for the home dweller, whereas with the EEC initiative the investment costs maybe shared with ESCOs and distributors, and even financed through the sales of the energy saving certificates.

Conclusions

One can reasonably surmise that the 55%TD program has been about three times more expensive per kWh saved compared to EEC. Is the 55%TD still worth it? First, it must be recalled that the latest legislation has extended the application of the 55% deduction to ten years instead of five. At a five percent discount rate, the difference in the present value of the two is 10 percent; that is the state saves 10% of the cost of the deduction with longer period. Second, the payback times of investments will be going toward a midrange for both programs: getting longer for the EEC, since the quick fixes are gone; and getting shorter for the 55%TD since otherwise the lower public contribution will not be sufficient. So performance figures should also move to a middle ground for both. We would ex-

pect that EEC would remain the most effective, but the differences would be less.

Clearly the EEC program has been a very successful initiative, permitting long-term programming with limited public costs as shown. However, it relies on a renewal of the objectives for the long period that has not been forth coming for 2013 and beyond. 2012 is currently the last year of the program, unless these objectives are renewed, AEEG [4]. The Government should renew its most effective and least cost program without delay.

Given the importance of energy savings in Italy, characterized by costly energy imports, and given the necessity of reducing the deficit in the balance of payments; it is better to maintain the two programs, gradually shifting resources to the most effective one, rather than risk that one or the other be shut down. In any case, there are opportunities to improve both programs:

- for the 55%TD, limits should be introduced regarding proposed investments with excessive payback times;
- both initiatives should focus on their particular characteristics, the 55%TD with the credit worthiness of its users could concentrate on the larger initiatives such as integrated investments in buildings; whereas EEC could operate more in industry and smaller investments in the residential sector. Energy efficiency in public buildings and transportation needs to be better addressed;
- for EEC, procedures could be simplified and the useful life of investments could become more realistic, given the present low costs;
- there is a general need to have more complete economic data from the programs: energy savings

in terms of secondary energy in the 55%TD program and the payback times on investments, anonymously collected, for the EEC initiative. It is necessary to track the economic evolution of the various types of investment in time and space to better calibrate the programs. A national database of all investments with public contribution would be ideal. ENEA has already accomplished this for the 55%TD program. Regional initiatives and other programs could be integrated into this database;

- only with such a database can we begin to accurately estimate EE potentials and begin to answer the question of the optimum rate of implementation of the programs.

The greatest threat to both programs is that public financing could be interrupted or stopped. In particular the 55%TD is the most exposed. In the intermediate term, it would be prudent to develop an alternative program based on private financing of EE. In fact, in contrast to alternative energy sources most EE invest-

ments have a positive net present value, Vattenfall and McKinsey [12], thus in theory – overcoming other obstacles, UNEP [11] – they could be appropriate for private financing.

Instead the EEC program, pending renewal for the necessary long-term planning, has the advantage that most of its costs are covered by the energy taxes and thus it is practically ‘zero cost’ to the State, an important feature in the present context.

- Notes
- [1] $NPV = \sum_{i=1}^n \frac{\text{annual energy savings} - \text{cost of investment}}{(1 + \text{annual increase in nominal energy price})^i} - \text{cost of investment}$
 - [2] There are two inaccuracies in this method, specifically and only regarding the groups GEN-CIV and IP of investments evaluated after completion. The energy data available had been rounded to one significant digit and thus the difference in these numbers of energy between year 2010 and year 2009 is very approximate. In any case, the amount of investment in these two categories represents only 0.4% of the total.
 - [3] The EEC Program is supported by a public contribution to the obliged energy distributors for their services in obtaining certified savings. This contribution is funded by a tax on energy consumption (UC7 and RET) of the final users of electricity and natural gas.
 - [4] Lifelong energy savings are the annual energy savings multiplied by the useful life.

References

- [1] AEEG, *Quinto Rapporto Annuale sul meccanismo dei titoli di efficienza energetica: situazione al 31 maggio 2010*, 23 marzo 2011, pagina 42, nota 10.
- [2] AEEG, *Il Meccanismo dei Titoli di Efficienza Energetica dal 1° giugno al 31 dicembre 2010*, 21 aprile 2011, pagine 8-13.
- [3] AEEG, *Relazione Annuale 2011: 4 Tutela dei consumatori ed efficienza*, pagina 127.
- [4] AEEG, *Relazione Annuale 2011: 4 Tutela dei consumatori ed efficienza*, pagina 123.
- [5] AEEG, *Delibera EEN 10/11*, 3 novembre 2011. Tabella 1.
- [6] ENEA, available at http://efficienzaenergetica.asc.enea.it/tecnici/calcolo_re.pdf
- [7] European Commission, Directorate-General for Energy, *Market Observatory For Energy*, Volume 3, Issue 4: October 2010-December 2010, page 22.
- [8] Finanziaria, legge 27 dicembre 2006 n. 296 “Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato”, pubblicata sul Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 299 del 27/12/06.
- [9] Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA (Dicembre 2010), *Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2009*.
- [10] Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA, *Impatto delle detrazioni fiscali del 55% sul mercato dei prodotti e dei servizi incentivati ed effetti macroeconomici indotti*, luglio 2010 e *Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2009*, dicembre 2010.
- [11] UNEP, Finance Initiative, January 2009, International Environment House, Geneva, Energy Efficiency and the Financial Sector.
- [12] Vattenfall and McKinsey, *Pathways to a low-carbon Economy*, McKinsey and Company, 2007. See also *Pathways to a low-carbon Economy, Version 2 of the Global Greenhouse Gases Cost Abatement Curve*, McKinsey and Company, 2009.



Le microalghe nel settore dei biocombustibili. Sviluppo e sostenibilità

Gli attuali sistemi energetici non solo esercitano pressioni sulle risorse ormai in via di esaurimento ma comportano anche un incremento delle emissioni di gas climalteranti.

Dopo lo sviluppo dei biocarburanti di prima e seconda generazione, crescente attenzione è ora rivolta verso le tecnologie di terza generazione, che utilizzano le microalghe (caratterizzate da un elevato contenuto lipidico, una alta resa in olio e in biodiesel, un contenuto uso del suolo) come materie prime.

Trattasi di tecnologie sviluppate solo in impianti pilota (in vasche o fotobioreattori), con elevati costi di investimento, ma si prevede che nel medio-lungo termine, con la produzione congiunta di altri co-prodotti (prodotti farmaceutici e nutraceutici, additivi per mangimi animali, bioplastiche ecc.) e l'integrazione con altri processi (quali il recupero dei gas di scarico e il trattamento delle acque reflue), la produzione di biodiesel da microalghe, oltre che sostenibile, potrebbe diventare una soluzione economicamente percorribile

■ Vera Amicarelli, Annarita Paiano, Leonarda Lobefaro

Development and sustainability in the biofuels sector

Today energy systems not only put pressure on natural energy resources which are nearly running down but also they involve an increase in the greenhouse gas emissions. After the development of the 1st and 2nd generation technologies for biofuels production, the attention is now shifting to the 3rd generation ones, which use microalgae as feedstocks (since their main features are the high oil content, the high oil and biodiesel yield, the low land area needed). These technologies have been developed only in pilot plants (ponds or photobioreactors), with high capital expenditures. In the medium-long term with the joint production of several profitable co-products (pharmaceutical and nutraceutical products, animal feed supplements, bioplastics, etc.) and the link with other processes (such as the waste gas recovery and the wastewater treatment), it is expected that, the production of biodiesel from microalgae, as well as sustainable, it may become an economically viable option

■ Vera Amicarelli, Annarita Paiano, Leonarda Lobefaro

Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento di Studi Aziendali e Giusprivatistici, I Facoltà di Economia

Come largamente riconosciuto, gli attuali sistemi energetici comportano non solo pressioni sulle risorse ormai in via di esaurimento ma anche un incremento delle emissioni di gas climalteranti, in particolare CO₂.

Si prevede che lo sviluppo di economie emergenti, come quella indiana e cinese, porterà ad una crescita del consumo mondiale di energia con il conseguente incremento degli impatti ambientali (aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, acidificazione delle acque, perdita della biodiversità ecc.).

È stato stimato che il superamento del limite di 450 ppm (parti per milione) per quanto riguarda la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera significherebbe oltrepassare il punto di non ritorno dell'inquinamento globale e i cambiamenti ambientali sarebbero irreversibili. È crescente quindi la convinzione di dover ridurre l'impiego dei combustibili fossili prima ancora dell'esaurimento dei giacimenti (Hansen J. et al. 2008; Rockström J. et al. 2009). Se si considera che la combustione dei carburanti fossili comporta il rilascio in atmosfera di circa il 60%, pari a circa 18 miliardi di t nel 2009, delle emissioni totali di CO₂ e che il loro contributo al soddisfacimento della domanda di energia è più dell'80% (circa 10 Gtep nel 2009), è evidente la necessità di adottare modelli energetici con un minor consumo di combustibili fossili o modelli economici a bassa emissione di carbonio (EIA 2011; IEA 2011; ITF 2010). Gli strumenti per consentire il soddisfacimento della crescente domanda di energia e allo stesso tempo una mitigazione dei cambiamenti climatici sono: il risparmio energetico, il miglioramento dell'efficienza energetica, la cattura e l'immagazzinamento della CO₂ e l'impiego di fonti energetiche rinnovabili.

In particolare la promozione e lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili consentono di migliorare la sicurezza degli approvvigionamenti e la stabilità economica, riducendo le emissioni di gas climalteranti. Tra i diversi settori energetici, la produzione di carburanti presenta delle criticità a causa dell'elevata dipendenza dalle fonti fossili; sarebbe quindi opportuno realizzare almeno una parziale sostituzione dei combustibili fossili con i biocombustibili. Dopo lo sviluppo di biocarburanti di prima e seconda generazione l'attenzione è ora rivolta verso le tecnologie di terza generazione che utilizzano le microalghe come materie prime (Amin S. 2009; Chisti Y. 2007; Lagioia G. et al. 2011; Mata TM. et al. 2010).

Le microalghe sono microrganismi presenti in tutti gli ecosistemi della terra, in grado di adattarsi a diverse condizioni ambientali. Grazie alla presenza di clorofilla, esse assorbono la luce del sole e assimilano la CO₂

dall'aria e i nutrienti dagli habitat acquatici per poi produrre lipidi, proteine e carboidrati. Dalla successiva trasformazione di queste molecole è possibile ottenere diversi prodotti che trovano diversa collocazione sul mercato: biocarburanti (bioetanolo, biodiesel, bioolio), prodotti farmaceutici, alimenti e mangimi. Bisogna comunque sottolineare che attualmente la produzione di microalghe per fini energetici avviene in impianti pilota (in vasche da 10 m fino ad impianti da 2 ha), mentre la produzione di alghe da destinare ai settori di nicchia (alimenti salutistici e dietetici, prodotti farmaceutici, cosmetici) è pari a una decina di migliaia di tonnellate annue (Lagioia G. et al. 2011; Nigam PS., Singh A. 2010; Thurmond W. 2011).

Nel presente lavoro, dopo un esame di quelle che sono le principali tecnologie di crescita e raccolta delle microalghe e di trasformazione dell'olio estratto in biodiesel, si è elaborato un bilancio di massa relativo alla produzione di biodiesel dalle alghe. Si è infine analizzato l'attuale mercato delle alghe e dei co-prodotti ottenuti dalla loro trasformazione.

La produzione di biodiesel dalle microalghe Il processo produttivo

Il termine *alghe* comprende le macroalghe (alghe marine) e un vasto e diversificato gruppo di microrganismi conosciuti come microalghe. Poiché la resa in olio delle macroalghe è attualmente meno vantaggiosa, in questo studio si farà riferimento alle microalghe. Questi microrganismi fotosintetici, grazie alla loro semplice struttura, sono in grado di crescere rapidamente e vivere in diverse condizioni ambientali, sia acquatiche che sub-areali. Esistono più di 50.000 specie di microalghe, raggruppabili in procariote (*Cyanobacteria*), eucariote (*Chlorophyta*) e diatomee (*Bacillariopyta*), caratterizzate da un contenuto lipidico che varia dal 20 al 70% e in determinate condizioni alcune specie possono raggiungere anche il 90% (tabella 1).

Per quanto riguarda la resa in olio, le microalghe mostrano valori più elevati rispetto ad altre colture oleaginose (circa 59.000-137.000 L/ha, a seconda del contenuto lipidico). Dalla tabella 2, che mette a confronto le efficienze di produzione e di uso del suolo per il biodiesel prodotto dalle microalghe e da altre colture oleaginose, risulta infatti evidente che le microalghe sono le più vantaggiose sia in termini di rendimento in olio che per l'elevata produttività in biodiesel (da 52.000 a 120.000 kg di biodiesel/ha) e allo stesso tempo richiedono una minore estensione di suolo (anche 49-132 volte minore di quella richiesta dalla coltivazione del colza e della soia). In riferimento a tali rese al-

Microalga	Contenuto lipidico (% s.s.)
Ankistrodesmus sp.	24-31
B. braunii	25-75
Botryococcus braunii	25-75
Chaetoceros calcitrans	16-40
Chaetoceros muelleri	33
Chlorella	18-57
Dunaliella sp.	17-67
Ellipsoidion	27
Isochrysis sp.	25-33
Monallanthus salina	22
Nannochloris sp.	20-56
Nannochloropsis sp.	12-68
Neochloris oleabundans	29-65
Nitzschia sp.	16-47
Pavlova lutheri	35
Pavlova salina	31
Phaeodactylum tricornutum	18-57
Prymnesium parvum	22-38
Scenedesmus dimorphus	16-40
Scenedesmus obliquus	11-55
Schizochytrium sp.	50-77
Skeletonema	13-51
Spirulina	4-9
Stichococcus	33

TABELLA 1 Contenuto lipidico per specie microalgale
 Fonti: elaborazione propria dati Ahmad AL. 2011; Bruton T. et al. 2009; Chisti Y. 2007; Demirbas A, Demirbas MF. 2011; Mata TM. et al. 2010; Singh J., Gu S. 2010

gali, si è ipotizzato di destinare una superficie analoga a quella attualmente dedicata in Italia alle colture oleaginose (colza, soia e girasole) per la produzione di biodiesel, complessivamente pari a 20.000 ettari, alla coltivazione di microalghe (Dever J, Baldi S. 2011). Sarebbe quindi possibile ricavare 1,04 milioni di tonnellate (Mt), 1,72 Mt e 2,42 Mt di biodiesel utilizzando specie rispettivamente a basso, medio e alto contenuto lipidico. Ad esempio, considerando una specie microalgale con un contenuto lipidico del 20% (come la *Chlorella vulgaris*), a parità di superficie, da un totale di biomassa pari a 3,9 Mt si potrebbero produrre 0,7 Mt di biodiesel, vale a dire il 54% del consumo nazionale registrato nell'anno 2010 (1,3 Mt). Inoltre dalla biomassa residuale (oltre 3,1 Mt) potrebbero rendersi disponibili le frazioni zuccherine e proteiche per la produzione di altri prodotti energetici (etanolo e biogas) o merci ad alto valore aggiunto (farmaci, mangimi ecc.). Va inoltre evidenziato che per la coltivazione delle microalghe sarebbe possibile utilizzare terreni marginali, non sottraendo quindi suolo agricolo, come avviene per la produzione di biocombustibili da colture tradizionali.

Tutti gli esistenti processi di produzione del biodiesel da microalghe comprendono una unità di produzione per la coltivazione della biomassa, una fase di separazione delle cellule dai substrati di coltivazione e una di estrazione dei lipidi; le successive fasi, invece, sono simili a quelle utilizzate per produrre biodiesel da altre materie prime.

Per la coltivazione delle alghe elementi vitali per la crescita sono la luce, l'acqua, l'anidride carbonica e alcuni nutrienti come azoto (N), fosforo (P) e potassio (K); anche

Materia prima	Contenuto lipidico (% olio/s.s.)	Rendimento in olio (L olio/ha)	Suolo utilizzato (m ² /kg biodiesel)	Resa in biodiesel (kg biodiesel/ha)
Mais	4	172	66	152
Soia	18	446-636	18	562
Jatropha	28	741-1.892	15	656
Camelina	42	915	12	809
Colza	41	974	12	946
Girasole	40	1.070	11	1.156
Olio di palma	36	5.366-5.950	2	4.747
Microalghe (basso contenuto in olio)	30	58.700	0,2	51.927
Microalghe (medio contenuto in olio)	50	97.800	0,1	86.515
Microalghe (elevato contenuto in olio)	70	136.900	0,1	121.104

TABELLA 2 Confronto tra le microalghe e le altre colture oleaginose per la produzione di biodiesel
 Fonti: elaborazione propria dati Chisti Y. 2007; Demirbas A, Demirbas MF. 2011; Lagjoia G. et al. 2011; Mata TM. et al. 2010

la silice e il ferro, ed altri elementi in traccia, sono importanti in quanto la loro carenza può limitarne lo sviluppo. È inoltre necessario raggiungere il giusto equilibrio tra i diversi parametri, quali l'ossigeno, la CO₂, il pH, l'intensità della luce, la rimozione dei prodotti e sottoprodotti. In presenza di condizioni climatiche favorevoli e nutrienti a sufficienza, le microalghe di solito raddoppiano la propria biomassa in 24 h (3,5 h nella fase di crescita esponenziale), per cui hanno un ciclo di raccolta molto breve (1-10 giorni) (Chisti Y. 2007; Lagioia G. et al. 2011; Mata TM. et al. 2010; Nigam PS., Singh A. 2010; Pfromm PH. et al. 2011; Thurmond W. 2011).

La crescita delle alghe è influenzata da diversi fattori (tabella 3):

- abiotici (luce, temperatura, concentrazione dei nutrienti, ossigeno, anidride carbonica, pH, salinità, presenza di sostanze chimiche tossiche);
- biotici (patogeni come batteri, funghi e virus, competizione con altre alghe);
- operativi (profondità, frequenza della raccolta, aggiunta di bicarbonato).

In termini economici, la produzione di biomassa algale è generalmente più onerosa rispetto alla coltivazione delle altre colture oleaginose.

Specie di alghe	Influenza il tipo di prodotto che si vuole produrre; per la produzione del biodiesel si preferiscono le alghe con un più elevato contenuto in olio e un più veloce tasso di crescita.
Aerazione e CO ₂	Le alghe necessitano di aerazione per fissare la CO ₂ e crescere; si potrebbe utilizzare una fonte secondaria di CO ₂ , come i gas di scarico delle centrali elettriche.
Nutrienti	La composizione del suolo e/o dell'acqua influenza il tasso di crescita delle alghe; l'impiego di acque reflue, con elevata concentrazione di azoto, stimolerebbe la crescita delle alghe.
Luce	Di solito per la fotosintesi si impiega la luce solare; sono però in corso di sperimentazione alcuni impianti, più costosi, che impiegano fonti luminose artificiali per la crescita al buio.
Livello pH	La crescita ottimale delle alghe necessita un pH tra 7 e 9, valore che può essere influenzato dalla quantità di CO ₂ e dei nutrienti.
Miscelazione	Affinché tutte le cellule delle alghe siano ugualmente esposte alla luce e per evitare la sedimentazione è necessaria la loro miscelazione.
Temperatura	Alcune specie di alghe richiedono temperature miti durante la crescita (20-30 °C).

TABELLA 3 I principali fattori che influenzano la crescita delle alghe

Fonti: elaborazione propria dati Chisti Y. 2007; Lagioia G. et al. 2011; Thurmond W. 2011

A seconda delle specie di microalghe, delle condizioni ambientali e della disponibilità di nutrienti, le microalghe possono essere coltivate in sistemi aperti (vasche) o chiusi (fotobioreattori). Le vasche possono essere di tipo *raceway*, circolari con braccio rotante ed inclinate. Quelle *raceway* sono costituite da un canale a circuito chiuso di ricircolo profondo circa 0,3 m (di solito costruito in cemento e rivestito di plastica bianca) e una ruota a pale per la miscelazione e la circolazione.

I sistemi aperti sono meno costosi da costruire, hanno una durata più lunga e una maggiore capacità produttiva rispetto ai sistemi chiusi, anche se occupano una superficie maggiore. Rispetto ai sistemi chiusi, però, le vasche presentano un maggior fabbisogno di energia (per omogeneizzare i nutrienti) e di acqua (almeno 150 L/m²); inoltre sono più suscettibili alle condizioni ambientali (uno dei fattori limitanti è la variabilità della temperatura dell'acqua, dell'evaporazione e dell'illuminazione) e alla contaminazione da parte di altre microalghe indesiderate, lieviti, funghi, muffe e batteri (Amin S. 2009; Chisti Y. 2007; Mata TM. et al. 2010; Schenk PM. et al. 2008; Thurmond W. 2011). Attualmente il 98% della produzione mondiale di alghe (circa 10.000 t nel 2010) è prodotta con le vasche (Thurmond W. 2011).

I fotobioreattori possono essere piatti o tubolari, orizzontali, verticali, inclinati o a spirale. Un fotobioreattore tubolare è costituito da una serie di tubi dritti e trasparenti, di plastica o vetro, del diametro non superiore a 0,1 m e della lunghezza inferiore agli 80 m, nei quali viene catturata la luce solare. Per consentire il maggior immagazzinamento di energia solare, solitamente i tubi sono disposti parallelamente uno all'altro con orientamento nord-sud e la superficie sotto il collettore è rivestita di plastica bianca per aumentare la riflettanza. I fotobioreattori consentono di avere un miglior controllo delle condizioni e dei parametri di crescita della coltura (pH, temperatura, ossigeno, CO₂), minori perdite di anidride carbonica, una maggiore densità delle microalghe e produttività volumetrica oltre ad una riduzione della contaminazione da parte di altri microrganismi. Le principali limitazioni riguardano invece il surriscaldamento, l'accumulo di ossigeno¹, gli elevati costi di costruzione e funzionamento dell'impianto. I costi di investimento per i fotobioreattori, infatti, sono maggiori delle vasche, soprattutto se si utilizzano i tubi in policarbonato (circa 5-12 milioni \$/ha per i fotobioreattori con tubi in polipropilene e 12-25 milioni \$/ha per i fotobioreattori con tubi in policarbonato contro i 0,5-2,5 milioni \$/ha per le vasche) (Amin S. 2009; Chisti Y. 2007; Mata TM. et al. 2010; Schenk PM. et al. 2008; Thurmond W. 2011).

La comparazione dei due sistemi di coltura (tabella 4) non è semplice in quanto ci sono diversi parametri da considerare. In genere si valutano la produttività volumetrica (produttività per unità di volume del reattore), la produttività areale (produttività per unità di superficie occupata dal reattore) e la resa in olio. I sistemi chiusi sono migliori delle vasche per la produttività volumetrica (8-13 volte maggiore). Inoltre la biomassa raccolta con i fotobioreattori costa meno di quella recuperata nelle vasche in quanto raggiunge una concentrazione maggiore di circa 16-30 volte (Chisti Y. 2007; Mata TM. et al. 2010). Ciononostante i costi totali di produzione e di gestione sono minori per le vasche (Thurmond W. 2011).

La raccolta delle alghe, che consiste nella rimozione di grandi quantità di acqua per aumentare la concentra-

zione della biomassa, può essere condotta in diversi modi (processi fisici, chimici, biologici) a seconda della dimensione delle alghe. I principali metodi di raccolta sono la sedimentazione, la centrifugazione, la filtrazione e l'ultra-filtrazione, a volte accompagnata da una fase di flocculazione (con allume e cloruro ferrico) e/o flottazione (Amin S. 2009; Chisti Y. 2007; Mata TM. et al. 2010; Thurmond W. 2011). La sedimentazione è di solito la prima fase della raccolta e utilizza la gravità per separare le alghe dall'acqua. La filtrazione è utilizzata per le microalghe più grandi, come la *Coelastrum proboscideum* e la *S. platensis*, ma non è adatta per le microalghe di piccole dimensioni come la *Scenedesmus*, la *Dunaliella* o la *Chlorella*, per le quali si utilizza la micro-filtrazione a membrana o l'ultra filtrazione (più costosa per la sostituzione delle membrane e il

	Impianto con vasche raceway	Impianto con fotobioreattori
Produzione annua di biomassa (kg)	100.000	100.000
Produttività volumetrica (kg/m ³ /g)	~ 0,12	> 1,5
Produttività areale (kg/m ² /g)	0,035	0,048
Concentrazione della biomassa nel brodo di coltura (kg/m ³)	0,14	4
Superficie necessaria (ha)	> 0,75	> 0,55
Resa in olio (L/ha)	99.400* / 42.600°	136.900 * / 58.700 °
Consumo annuo di CO ₂ (kg)	183.333	183.333
Tipologia di sistema	vasca: 978 m ² (12 m x 82 m) 0,30 m profondità	unità: 132 tubi paralleli, ciascuno di 80 m di lunghezza x 0,06 m di diametro
Numero di unità	8	6
Rapporto area/volume	Basso	Alto
Densità della popolazione algale	Bassa	Alta
Produttività	Bassa	Maggiore
Concentrazione della biomassa	Minore	Maggiore
Rischio di contaminazione	Alto	Ridotto
Controllo della contaminazione	Difficile	Facile
Controllo delle specie	Difficile	Facile
Controllo del processo	Difficile	Facile
Controllo della temperatura	Difficile	Più uniforme
Efficienza di utilizzazione della luce	Scarsa	Elevata
Perdita di acqua	Molto alta	Bassa
Perdita CO ₂	Alta	Bassa
Pulizia degli impianti	Non richiesta	Richiesta
Investimenti	0,5-2,5 x 10 ⁶ \$/ha	5-12 x 10 ⁶ \$/ha se tubi in polipropilene 12-25 x 10 ⁶ \$/ha se tubi in policarbonato
Costi operativi	Bassi	Elevati

* per biomassa con contenuto in olio del 70% - ° per biomassa con contenuto in olio del 30%

TABELLA 4 Confronto tra vasche raceway e fotobioreattori

Fonte: elaborazione propria dati Chisti Y. 2007; Mata TM. et al. 2010; Thurmond W. 2011; Weyer KM. et al. 2010

Proprietà	Biodiesel da alghe	Biodiesel da soia	Biodiesel da colza	Biodiesel da girasole	Diesel
Densità (kg/L)	0,864	0,884	0,882	0,860	0,838
Viscosità (mm ² /s, cSt a 40 °C)	5,2	4	4,83	4,6	1,9-4,1
Flash point (°C)	115	131/178	155/180	183	75
Punto di solidificazione (°C)	-12	-4	-10,8	-7	-50/+10
Punto di intorbidamento (°C)	2	1	-4/-2	1	-17
Numero di cetano	52	45/51	53/56	49	40-55
PCI (MJ/kg)	41	37,8	37,2	38,9	42

TABELLA 5 Caratteristiche merceologiche del biodiesel prodotto da microalghe e da altre colture oleaginose e del diesel fossile
 Fonti: elaborazione propria dati Amin S. 2009; Canakci M., Sanli H. 2008; Cencič V. et al. 2007; Dinh LTT. et al. 2009; Fukuda H. et al. 2001; Yamane K. et al. 2001

pompaggio). La centrifugazione consente di *concentrare* rapidamente ogni tipo di microrganismo e, nonostante gli elevati costi operativi (0,6 \$/L) e il consumo energetico (3 kWh/L), è la tecnologia più utilizzata; il principale problema è però l'efficienza a causa della bassa concentrazione (1-4 g/L) (Lagioia G. et al. 2011; Mata TM. et al. 2010; Schenk PM. et al. 2008; Thurmond W. 2011). Dopo la deidratazione della biomassa pro-

dotta segue la rottura delle cellule con metodi meccanici (frantumazione, omogeneizzazione, ultrasuoni) o non (solventi organici, shock osmotici, reazioni acide-basiche o enzimatiche) per l'*estrazione* dell'olio. Anche questi metodi differiscono per l'efficienza e i costi. Gli ultrasuoni o le microne, attualmente allo studio, potrebbero incrementare l'efficienza di estrazione dell'olio e il rendimento del 50-500% (Mata TM. et al.

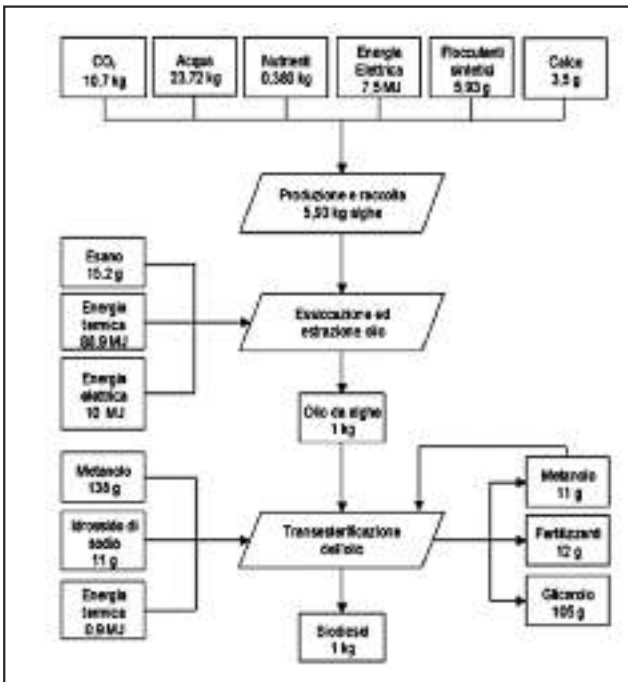


FIGURA 1 Bilancio di Materia e di Energia del ciclo di produzione di 1 kg di biodiesel da alghe
 Fonte: elaborazione propria dati Lardon L. et al. 2009; Tickell J. et al. 2003

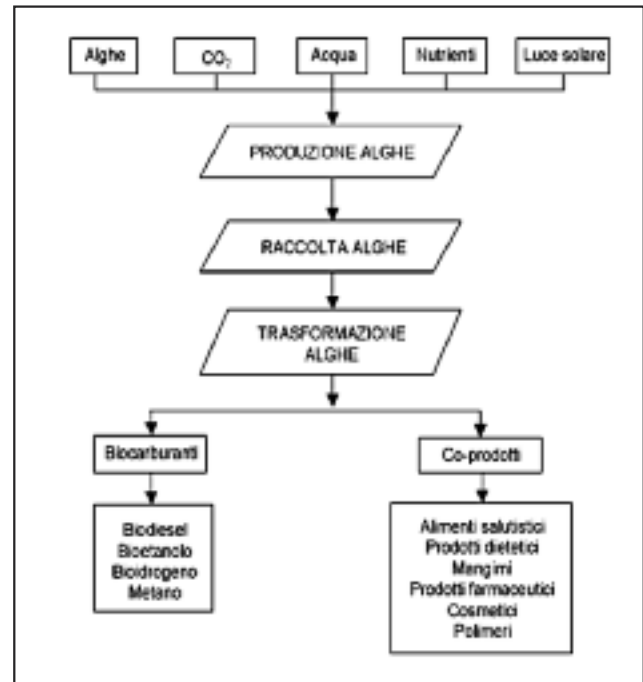


FIGURA 2 Processo integrato di trasformazione della biomassa algale
 Fonte: elaborazione propria

2010; Thurmond W. 2011). L'olio estratto dalle microalghe è diverso dagli altri oli vegetali (tabella 5) in quanto abbastanza ricco di acidi grassi polinsaturi, con 4 o più doppi legami, che sono suscettibili di ossidazione durante l'immagazzinamento; ciò ne rende necessaria una parziale idrogenazione catalitica prima della conversione in biodiesel (Chisti Y. 2007; Dinh LTT. et al. 2009; Mata TM. et al. 2010).

Con la transesterificazione i trigliceridi sono convertiti prima in digliceridi e monogliceridi e poi in esteri (biodiesel) e glicerolo (sottoprodotto) con l'impiego di un reagente (metanolo) e un catalizzatore (NaOH) (Mata TM. et al. 2010). Nella figura 1 è riportato un primo bilancio materiale ed energetico per la produzione di 1 kg di biodiesel da alghe. Il completamento del *flowchart* è tutt'ora in corso e sarà oggetto di ulteriori ricerche e studi.

Oltre all'olio, le microalghe contengono carboidrati (8-64% s.s.) e proteine (6-71% s.s.) per cui possono essere impiegate come materie prime per la produzione congiunta di altre merci (co-prodotti) (figura 2) da destinare a diversi mercati: da quelli farmaceutici e nutraceutici di elevato valore (mercati di nicchia) ai mercati degli additivi per i mangimi animali, delle bioplastiche e della generazione elettrica (prodotti di medio-alto valore) ai più grandi mercati degli oli vegetali da impiegare per la produzione di biodiesel. Vi sono anche diversi impieghi delle alghe nel campo della sanità (costituiscono materie prime per la produzione di farmaci per la cura di diverse patologie, quali colesterolo, osteoporosi, stress, cancro, invecchiamento delle cellule) (Chisti Y. 2007; Lagioia G. et al. 2011; Mata TM. et al. 2010; Thurmond W. 2011).

Aspetti economici

La produzione di biodiesel dalle alghe non è ancora competitiva con i carburanti tradizionali. In media la produzione di 1 kg di microalghe costa circa 2,95 \$ o 3,80 \$², a seconda che si utilizzino i fotobioreattori o le vasche *raceway* e assumendo che la CO₂ sia disponibile a costo zero (De Marco et al. 2006). Si prevede però che, grazie alle economie di scala, con una capacità annua di 10.000 t il costo di produzione si ridurrebbe rispettivamente a 0,47 \$/kg e 0,60 \$/kg. Sono tuttavia necessari miglioramenti tecnologici, soprattutto nella fase di raccolta della biomassa, che incide per il 20-30% sul costo totale di produzione delle microalghe (Chisti Y. 2007; Demirbas A., Demirbas MF. 2011). I costi di produzione del biodiesel da alghe, in un impianto pilota, sono stimati pari a 2,4-4,5 \$/L per le vasche e

5,2-10 \$/L per i fotobioreattori, ma nel lungo termine si prevede una loro riduzione (0,4 \$/L) in seguito ad una produzione su scala commerciale (Thurmond W. 2011). Ulteriori fattori che possono contribuire a rendere i costi del biodiesel da alghe più competitivi sono lo sviluppo di bioraffinerie, l'ingegneria genetica e i miglioramenti tecnologici.

Una bioraffineria può produrre simultaneamente biodiesel dagli oli e mangimi, biogas, energia elettrica dalla biomassa che residua dal processo produttivo. Inoltre bisogna considerare che, come già ricordato, oltre agli oli, la biomassa algale contiene significative quantità di proteine, carboidrati e altri nutrienti che possono essere impiegati per produrre diversi prodotti che, collocati su mercati diversi, costituiscono altre fonti di reddito.

La valorizzazione di questi co-prodotti di medio-alto valore economico (da diverse centinaia a qualche migliaia di \$/kg) consentirebbe di ridurre notevolmente il costo di produzione del biodiesel. Si prevede che nel 2015 i prodotti ricavati dalle microalghe potrebbero avere un mercato potenziale a livello mondiale dell'ordine di 25-50 miliardi di \$, dominato dalla produzione di biodiesel (50%), dall'assorbimento della CO₂ e dalla produzione di integratori alimentari (Alabi AO. et al. 2009).

L'ingegneria genetica può contribuire alla riduzione dei costi attraverso l'incremento dell'efficienza fotosintetica e quindi del rendimento della biomassa, il miglioramento del tasso di crescita della stessa, del contenuto in olio e della tolleranza alla temperatura, l'eliminazione della suscettibilità alla foto-ossidazione che danneggia le cellule (Chisti Y. 2007; Nigam PS., Singh A. 2010). Infine la produzione di biodiesel da microalghe può essere più sostenibile dal punto di vista ambientale e conveniente dal punto di vista economico se è combinata ad altri processi come il recupero dei gas di scarico e il trattamento delle acque reflue. I gas di scarico derivanti dagli impianti di generazione elettrica stimati, sono responsabili per più del 35% (più di 10 miliardi di t nel 2010) delle emissioni totali di CO₂ generate dai processi di produzione dell'energia. Tuttavia, contenendo fino al 15% di CO₂, rappresentano una fonte economica di anidride carbonica per la coltivazione delle microalghe, in particolare di quelle che ne tollerano elevati livelli (*Chlorococcum littorale* ecc.) (Amin S. 2009; Dinh LTT. et al. 2009; EC., 2007; Mata TM. et al. 2010; Nigam PS., Schenk PM. et al. 2008; Singh A. 2010). In media per produrre 1 t di microalghe sono necessarie circa 180 t di CO₂ (Chisti Y. 2007; Lagioia G. et al. 2011). Le alghe

Materia prima	Emissioni di CO ₂ (gCO ₂ eq/MJ)	Impiego di acqua (g/m ² /g)	Superficie necessaria per soddisfare la domanda mondiale di petrolio (10 ⁶ ha)
Jatropha	56,7	3.000	2.600
Alga	3	16	50-400
Olio di palma	138,7	5.500	820
Colza	78,1	1.370	4.100
Soia	90,7	530	10.900

TABELLA 6 Emissioni di gas climalteranti, impieghi di acqua e terra, costi totali di produzione del biodiesel da diverse materie prime

Fonte: elaborazione propria dati Dinh LTT. et al. 2009; Smith VH. et al. 2009

possono essere utilizzate anche per il trattamento delle acque reflue, in particolare per la rimozione di azoto e fosforo dagli effluenti, con la conseguente riduzione dell'impiego di acqua dolce e dell'eutrofizzazione dell'ambiente marino. Le alghe a questo scopo maggiormente utilizzate sono lo *C. vulgaris*, la *Chlorella*, la *Spirulina* (Amin S. 2009; Chisti Y. 2007; Dinh LTT. et al. 2009; Mata TM. et al. 2010). Sulla base dei dati attualmente disponibili, relativi ad impianti pilota, risulta che, rispetto alle altre colture oleaginose impiegate per la produzione di biodiesel, la coltivazione delle alghe appare quindi più vantaggiosa in termini di impatto ambientale (tabella 6), in quanto comporta minori emissioni di CO₂ in atmosfera, un minor impiego di acqua e l'occupazione di una superficie inferiore; tuttavia i costi di produzione del biodiesel da microalghe (2,4-4,5 \$/L per le vasche e 5,2-10 \$/L per i fotobioreattori) non sono ancora competitivi con quelli del diesel fossile (1 \$/L).

Conclusioni

I biocarburanti rappresentano una delle possibili opzioni per consentire il soddisfacimento della crescente domanda di energia in un modello di sviluppo economico sostenibile. Tuttavia la loro produzione allo stato attuale non è riuscita a soddisfare tutti i requisiti necessari (facilità, economicità, eco compatibilità, eticità) per renderli realmente concorrenziali con i carburanti fossili. Infatti la ricerca e le innovazioni in questo campo non si fermano, tanto è vero che si sperimentano tecnologie di terza generazione dopo che la prima e la seconda hanno mostrato tutti i loro limiti. In particolare

quelli di prima generazione, basati sulla trasformazione di colture alimentari, rispetto a tutto il ciclo di vita non sono efficienti dal punto di vista energetico (l'input di energia è frequentemente maggiore del valore energetico dei biocombustibili prodotti), non presentano un saldo positivo della CO₂ (CO₂ fissata durante la fase agricola rapportata alla CO₂ emessa) e sono fortemente in competizione con il settore alimentare in termini di quantità di derrate agricole e suoli sottratti alla produzione di alimenti. I biocombustibili di seconda generazione, prodotti da residui e scarti agroalimentari, attenuano il conflitto con il settore alimentare sebbene siano ancora caratterizzati da elevati costi di investimento.

Altra opzione percorribile nel medio e lungo termine è rappresentata dalla terza generazione basata sull'utilizzo delle microalghe. Queste infatti, come mostrano i risultati del presente lavoro, sono caratterizzate da un elevato contenuto in olio e da alti rendimenti in biodiesel e non entrano in competizione con la produzione alimentare, né con i suoli agricoli e le fonti di acqua dolce; anzi, la coltivazione delle alghe nelle zone aride o desertiche potrebbe contribuire allo sviluppo socio-economico di queste aree. Inoltre, come già ricordato, le alghe possono essere impiegate come materie prime per la produzione di diverse merci (omega-3, carotenoidi e altri prodotti bio-chimici) ad elevato valore economico, il cui scarto (l'olio estratto) è materia prima per l'industria del biodiesel attualmente in crisi a causa della scarsa disponibilità di materie prime. Il costo ancora elevato del biodiesel da alghe potrebbe essere sostanzialmente ridotto se si organizzasse una produzione integrata di merci diverse (figura 2) da destinare sia al mercato dei biocombustibili che ad altri mercati emergenti.

Alla fine di quest'analisi appare evidente che nel campo dei biocombustibili di terza generazione l'innovazione presenta ancora un largo margine di azione. In particolare è necessario concentrarsi sull'identificazione e/o sul miglioramento genetico delle specie con maggior contenuto lipidico e con tasso di crescita più elevato allo scopo di effettuare la raccolta giornaliera piuttosto che più volte a settimana. È necessario, inoltre, migliorare anche i costi e l'efficienza della produzione delle alghe per rendere la produzione di biodiesel di terza generazione sempre più conveniente per le aziende e quindi disponibile nei mercati dei carburanti. Va da sé comunque che un forte contributo all'attenuazione dei problemi ambientali associati alla produzione e uso di energia può derivare dalle azioni di risparmio energetico.

- Bibliografia**
- [1] Ahmad A.L., Mat Yasin N.H., Derek C.J.C., Lim J.K., "Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 584-93, 2011.
 - [2] Alabi A.O., Tampier M., Bibeau, E., "Microalgae technologies & processes for biofuels/bioenergy production in British Columbia: current technology, suitability and barriers to implementation. Final report to the British Columbia Innovation Council", *Seed Science*, 2009.
 - [3] Amin S., "Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae", *Energy Conversion and Management*, 50, 1834-40, 2009.
 - [4] Bruton T., Lyons H., Lerat Y., Stanley M., Rasmussen M.B., "A review of the potential of marine algae as a source of biofuel in Ireland", SEI (Sustainable Energy Ireland), 2009.
 - [5] Canakci M., Sanli H., "Biodiesel production from various feedstock and their effects on the fuel properties", *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 35, 431-41, 2008.
 - [6] Cenci V., et al., "I biocarburanti. Le filiere produttive, le tecnologie, i vantaggi ambientali e le prospettive di diffusione", Area Science Park, Trieste, 2007.
 - [7] Chisti Y., "Biodiesel from microalgae", *Biotechnology Advances*, 25, 294-306, 2007.
 - [8] De Marco O., Paiano A., Gallucci T., "La CO₂ da gas-serra a risorsa", *Ambiente Risorse Salute*, 107, 13-18, 2006.
 - [9] Demirbas A., Demirbas M.F., "Importance of algae oil as a source of biodiesel", *Energy Conversion and Management*, 52, 163-70, 2011.
 - [10] Dever J., Baldi S., "GAIN Report Number IT1160", USDA Foreign Agricultural Service, 2011, disponibile on line: http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Italian%20Biofuels%202011_Rome_Italy_12-29-2011.pdf Ultimo accesso gennaio 2011.
 - [11] Dinh L.T.T., Guo Y., Mannan M.S., "Sustainability evaluation of biodiesel production using multicriteria decision-making", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 28, 38-46, 2009.
 - [12] EC (European Commission), "World energy Technology Outlook - 2050", 2007, disponibile on-line: http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/06_EC_-_WETO_H2_2050.pdf, ultimo accesso febbraio 2011.
 - [13] EIA (U.S. Energy Information Administration), "International Energy Statistics - CO₂ Emissions", EIA, 2011, disponibile on-line: <http://www.eia.doe.gov/ctapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=90&pid=44&aid=8>, ultimo accesso 30 aprile 2011.
 - [14] Fukuda H., Kondo A., Noda H., "Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 5, 405-16, 2001.
 - [15] Hansen J., Sato M., Kharecha P., Beerling D., Berner R., Masson-Delmotte V., Pagani M., Raymo M., Royer D.L., Zachos J.C., "Target Atmospheric CO₂: Where should humanity aim?", *The Open Atmospheric Science Journal*, 2, 217-31, 2008.
 - [16] IEA (International Energy Agency), "Key World Energy Statistics", 2010, disponibile on line: http://www.iea.org/textbase/nppd/free/2010/key_stats_2010.pdf, ultimo accesso marzo 2011.
 - [17] ITF (International Transport Forum), "Reducing transport greenhouse gas emissions: trends & Data 2010", disponibile on-line: <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/10GHGTrends.pdf>, ultimo accesso gennaio 2011.
 - [18] Lagioia G., Amicarelli V., Calabrò G., Tresca FA., "Environmentally innovation in the fuel sector: the role of biofuel from algae", *Journal of Commodity Science, Technology and Quality*, 51, 119-40, 2011.
 - [19] Lardon L., Hélias A., Sialve B., Steyer J.P., Bernard O., "Life-Cycle Assessment of biodiesel production from microalgae", *Environmental Science & Technology*, 43, 6475-81, 2009.
 - [20] Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S., "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 217-32, 2010.
 - [21] Nigam P.S., Singh A., "Production of liquid biofuels from renewable resources", *Progress in Energy and Combustion Science*, 37, 52-68, 2010.
 - [22] Pfromm P.H., Amanor-Boadu V., Nelson R., "Sustainability of algae derived biodiesel: A mass balance approach", *Bioresource Technology*, 102, 1185-93, 2011.
 - [23] Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin F.S.III, Lambin E., Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H.J., Nykvist B., de Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J., "Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity", *Ecology and Society*, 14, art. 32, 2009.
 - [24] Schenk P.M., Thomas S.R., Stephens E., Marx U.C., Mussnug J.H., Posten C., Kruse O., Hankamer B., "Second generation biofuels: High-efficiency Microalgae for biodiesel production", *Bioenergy Research*, 1, 20-43, 2008.
 - [25] Singh J., Gu S., "Commercialization potential of microalgae for biofuels production", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2596-610, 2010.
 - [26] Smith V.H., Sturm B.S.M., deNoyelles F.J., Billings S.A., "The ecology of algal biodiesel production", *Trends in Ecology and Evolution*, 25, 301-9, 2009.
 - [27] Thurmond W., "Algae 2020: Vol. 2: Global Biofuels, Drop-In Fuels, Biochems Market and Forecasts", *Emerging Markets Online*, Houston (US), 2011.
 - [28] Tickell J., Tickell K., Roman K., "From the fryer to the fuel tank: the complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel", Joshua Tickell Media Productions, New Orleans, 2003.
 - [29] Yamane K., Ueta A., Shimamoto Y., "Influence of Physical and Chemical Properties of Biodiesel Fuel on Injection, Combustion and Exhaust Emission Characteristics in a DI-CI Engine", *The Fifth International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines*, Nagoya, July 1-4 2001.
 - [30] Weyer K.M., Bush D.R., Darzins A., Willson B.D., "Theoretical Maxi-

- Note**
- [1] Con una elevata irradiazione la quantità di ossigeno prodotta in un fotobioreattore tubolare è pari a circa 10 g/m³/min. Un livello di ossigeno maggiore del limite di saturazione dell'aria inibisce la fotosintesi e, combinato con una intensa irradiazione, può danneggiare le cellule delle alghe. Pertanto i fotobioreattori devono essere periodicamente puliti attraverso il passaggio della biomassa in una colonna di degassazione (Chisti Y. 2007).
 - [2] I costi di produzione delle microalghe variano a seconda della radiazione solare (e quindi del luogo di localizzazione dell'impianto), della specie coltivata, dei sistemi di coltivazione adottati, del costo dell'energia e dei fertilizzanti (Chisti Y. 2007).



Perspectives of the use of a compact linear accelerator for protontherapy

The use of hadrons in oncological radiotherapy is due to the excellent ballistic properties of the heavy particles that lose their energy at the end of the path in tissue (“Bragg peak”) with a modest lateral diffusion, preserving the surrounding healthy organs during tumor irradiation. At present, all the hadrontherapy centers in operation or under construction are based on circular accelerators: cyclotrons and synchrotrons. However, due to the increase of precision of X-rays radiotherapy and to the high costs of the HRT (Hadron Radio Therapy) facilities, the HRT community well recognizes that hadron sources need further development. On the basis of its expertise in design and realization of linear particle (electron/protons) accelerators, ENEA has studied an alternative scheme based on a compact high frequency full-linear proton accelerator that is expected to offer an optimal solution to the present challenge of protontherapy. The paper describes two applications of this concept: a multi-room protontherapy center to be sited in Rome as provided for by the ENEA TOP-IMPLART Project – launched in collaboration with the Italian National Institute of Health (ISS) and Regina Elena National Cancer Institute-IFO-Rome – and a cheaper single-room facility based on a compact self-shielded accelerator. The proton beam will also be used for radiobiology experiments devoted to the developments of “in vivo” and “in vitro” models for studying the cellular mechanisms involved in the carcinogenesis process and characterizing the beam in terms of the Relative Biological Effectiveness (RBE), cell survival, time to repair, cell proliferative activity and bone resorption after treatment. The first assembly and tests of the accelerator will be done at the Research Center in ENEA-Frascati, in a specific area dedicated to the accelerator’s development

■ *Concetta Ronsivalle, Mariano Carpanese, Roberta Fantoni, Luigi Picardi, Maria Balduzzi, Maria Teresa Mancuso, Carmela Marino, Marcello Benassi, Marco D’Andrea, Lidia Strigari, Evaristo Cisbani, Cinzia De Angelis, Giuseppe Esposito, Salvatore Frullani, Francesco Ghio, Velio Macellari, Maria Antonella Tabocchini*

Prospettive dell’uso di un acceleratore lineare compatto per protonterapia

L’uso di adroni in terapia oncologica è dovuto alle eccellenti proprietà balistiche delle particelle pesanti che perdono la loro energia al termine del percorso nel tessuto (“picco di Bragg”) con una modesta diffusione laterale consentendo di irradiare il tumore preservando gli organi sani circostanti. Attualmente tutti i centri in operazione o in costruzione sono basati su acceleratori circolari: ciclotroni e sincrotroni. Tuttavia, il continuo miglioramento di precisione della radioterapia convenzionale e i costi elevati degli impianti di adroterapia tendono a ridurre considerevolmente i vantaggi di quest’ultima a meno di ulteriori sviluppi delle sorgenti di adroni. Sulla base della esperienza nella progettazione e realizzazione di acceleratori lineari di particelle (elettroni/protoni) l’ENEA ha studiato uno schema alternativo basato su un acceleratore di protoni compatto ad alta frequenza completamente lineare, che ci si attende offra una soluzione ottimale alle presenti sfide nel campo della protonterapia. L’articolo ne descrive due applicazioni: un centro di protonterapia con più sale di trattamento da installarsi a Roma come previsto dal Progetto TOP-IMPLART lanciato da ENEA in collaborazione con l’Istituto superiore di Sanità (ISS) e l’Istituto Regina Elena-IFO e una “facility” più economica a singola sala di trattamento basata su un acceleratore compatto “auto-schermato”. Il fascio di protoni sarà anche utilizzato per esperimenti di radiobiologia dedicati allo sviluppo di modelli “in vivo” e “in vitro” per lo studio dei meccanismi cellulari coinvolti nel processo di carcinogenesi e la caratterizzazione del fascio in termini di efficacia radiobiologica. Il primo assemblaggio e i test preliminari dell’acceleratore verranno effettuati presso il centro ENEA di Frascati in un’area specifica dedicata

The number of hadron cancer therapy facilities is continuously growing all around the world due to many advantages with respect to the already existing X-ray treatments (using electron accelerators) [1]. The advantages are in much more localized effects with much smaller influence on surrounding healthy cells. Nevertheless, due to the increase in precision of X-rays RT, and to the high costs of HRT (Hadron Radio Therapy) facilities, the HRT community well recognizes that hadron sources need further development to better match their use in clinical environments. It is agreed that progress in HRT must pursue the following developments: 1) adaptive cancer therapy, 2) treatment with higher dose localization, 3) more compact and/or advanced machines.

On the basis of the expertise in design and realization of linear particle (electron/protons) accelerators, and a long lasting cooperation on radiotherapy established with the Italian National Institute of Health (ISS) and Regina Elena National Cancer Institute-IFO-Rome, ENEA has proposed the development and realization of a compact, modular, cost-effective, proton therapy system, built around a specifically designed innovative linear proton accelerator. The main peculiarities of a linear accelerator with respect to the conventional protontherapy (PT) machines, usually based on circular accelerators, are modularity, the use of a technology similar to the conventional radiotherapy electron machines, a very low emittance beam, the possibility to perform active, fast energy variation and pulse-to-pulse current modulation. This novel approach has lead to the design of a "full-linear" accelerator for a protontherapy facility to be realized at IFO in

Rome in the framework of the TOP-IMPLART Project [2], jointly conducted by the three institutes, and to the concept of a low-cost single treatment room facility.

Protontherapy by means of particle accelerators

Background of clinical applications

Radiation therapy (RT) is a therapeutic strategy that consists in dispensing precise doses (released energy per mass unit) of radiation for the treatment of tumors. The majority of modern RT equipments is based on the use of accelerated particles, electrons for X-rays or electron therapy and protons or light ions (carbon or helium) for HRT. PT (that is HRT with protons) is used since several years in most industrialized countries for some diseases, such as uveal melanoma, and tumors of the skull base and spine (chordoma, sarcomas and meningiomas), but has acknowledged benefits in many other cases, such as the treatment of prostate, lung, liver, esophagus and head and neck-cephalic, or in all cases where the disease is well located and adjacent to critical normal organs (i.e., radiosensitive) to be saved and in pediatric treatment. The rationale of the use of hadron beams [3] lies in the ballistic properties

■ **Concetta Ronsivalle, Mariano Carpanese, Roberta Fantoni, Luigi Picardi**

ENEA, Technical Unit for Radiation Application Development

■ **Maria Balduzzi, Maria Teresa Mancuso, Carmela Marino**

ENEA, Technical Unit for Radiation Biology and Human Health

■ **Marcello Benassi, Marco D'Andrea, Lidia Strigari**

Regina Elena National Cancer Institute-IFO-Rome

■ **Evaristo Cisbani, Cinzia De Angelis, Salvatore Frullani, Francesco Ghio, Velio Macellari, Maria Antonella Tabocchini**

Italian National Institute of Health (ISS), Rome

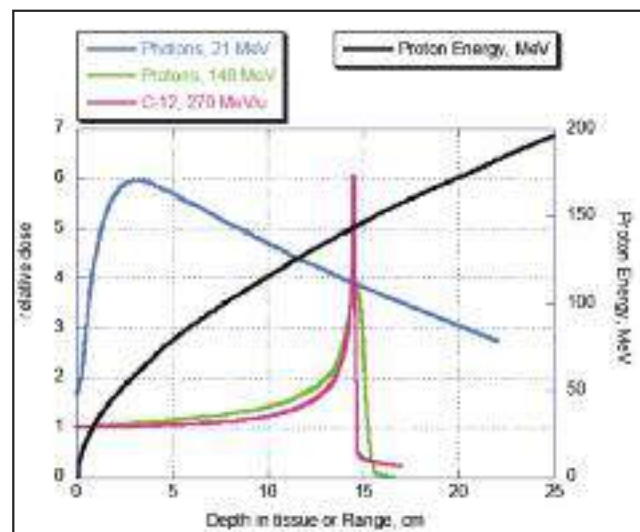


FIGURE 1 (Left) Dose distribution vs depth in tissue for different types of ionizing radiation, (Right) Proton Energy vs proton Range for proton in tissue

and in the spatial selectivity of these particles, due to the presence of the Bragg peak (the area where the dose delivered assumes the maximum value) (Figure 1 left) at the end of the path of the particles, and also to their low lateral diffusion. These characteristics allow a highly conformed dose distribution to target volumes, that is a lower dose both to healthy tissue surrounding the target and to non-target tissues in general, reducing long-term induced late effects and the probability of radiation-induced secondary tumors. Hadrons have therefore attracted interest for cancer treatment since the half of last century, but their use was very limited because of the higher energy required to reach the desired depths in tissue (max 230 MeV for protons (Figure 1 right), 400 MeV/u for carbon ions), with respect to X-rays or electrons (max 25 MeV).

Conventional X-rays RT is rather widespread. Nonetheless, HRT proves superior in many cases, so a big effort has been dedicated to realize HRT facilities, despite their higher costs and larger dimensions with respect to electron based machines.

Most modern RT treatments are based on hypofractionated and dose escalation protocols. In fact, the current radiation techniques with photons are reaching out more to the conformation of the dose using the technique of intensity modulated radiotherapy (IMRT), which can be obtained with much simpler techniques using protons. Indeed, Intensity Modulation Proton Therapy (IMPT) has been introduced, in which the intensity and energy of each proton beam are varied on a spot-by-spot basis and beams from many multiple directions are able to deliver an arbitrarily complex 3D dose distribution. The optimization of beam intensity is driven by a specific software (treatment planning systems i.e., TPS), which is machine and modulation delivery dependent, generating the optimal fluence to be delivered and checked by using on-line monitoring systems. Similarly to conventional RT, most PT facilities require the beam to be directed from several different directions onto the patient. A large mechanical structure called gantry rotates 360° around the patient bed axis, and it is screened to his view. Upon it, a huge magnetic transport line directs the beam according to the treatment plan. Usually this device, carrying several tons of magnets, is 10m in

diameter for protons and 15m - 20m for ions. The system needs to be integrated with a dedicated couch, patient immobilization devices and a positioning verification system, including a respiratory gating system to correctly manage organs and target motions [4]. Finally, a bunker is required to fulfill the radioprotection requirements, together with air conditioning and security systems.

Hadron sources for hadrontherapy

Thanks to its proven effectiveness, PT is worldwide utilized in clinical practice and on more than 75,000 patients. Albeit initially in the form of beams from large accelerators developed for nuclear physics experiments, PT has been used with dedicated facilities for 15 years. Ion (carbon) therapy is by far less diffused and still considered a research therapy, but successfully tested on more than 7,000 patients. Up to 2010, there were 30 operating PT facilities, while carbon-ion RT was provided at 5 facilities. In the USA many PT centers are operative, while no ion therapy facility is running or considered to be used for the very next years. Worldwide, more than 20 hospital-based facilities are under construction or planned within the next 10 years.

The HRT facilities in service in the world are based on circular accelerators (synchrotrons and cyclotrons). Generally cyclotrons are preferred for protons, while synchrotrons for combined ion/proton facilities. In Europe, besides nine operating PT centers that mainly use cyclotrons (with normal or superconducting technology), some large proton/ion therapy centers are being built. The GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) study was used for the construction at Heidelberg (Germany) of the HIT facility, based on a synchrotron provided with two horizontal fixed ports and one rotating gantry for both proton and carbon-ion RT. In Italy, a first experimental proton therapeutic beam of 60 MeV has been realized at the INFN South Laboratory in Catania (CATANIA facility), while a clinical proton/carbon-ion RT facility has been constructed by CNAO in Pavia and first proton treatments have been started in 2011. Other European projects are on-going in Austria (Med-Austron) and France (ETOILE).

HTR facilities are large and expensive, and mainly

ion therapy centers. The building typically covers about 3000 m². Even with multi-room approach (3–5 treatment rooms), a PT (cheaper than ion therapy) is today about 2.5 times more expensive than the best X-ray IMRT [5]. The overall cost of a therapy centre including the proton accelerator and one or more gantries can be as high as 100-180 M€, depending on the equipments. The very high investment costs required by HRT facilities can hardly survive only on the treatment income and for this reason several hospitals cannot even consider the possibility of installing PT, although equipped with a very advanced RT service. The HRT community often stresses in thematic workshops and conferences that, in absence of serious development, the cost of an ion therapy, but also PT costs will soon become a too serious concern, and these treatments, despite the demonstrated advantages, will have to be seriously reconsidered. Therefore some accelerator companies or research laboratories are pushed to design novel machines, miniaturized and less expensive but, at the same, time with outstanding performances.

The ENEA proposal: a “full linac” approach

Application of the Proton Linear Accelerator (PLA) technology in PT

Linear accelerators’ development started since the end of the 2nd world war and followed two different roads: electron accelerating radiofrequency structures were developed in S-band or above (3-11 GHz, transverse dimensions 10-2 cm, high accelerating gradients) for high energy (multi GeV) physics, while proton accelerating radiofrequency structures in UHF or L-band (200-800 MHz) for nuclear physics and high-current beams. Conventional RT uses electron linacs either to directly deliver electron beams for surface treatment, or to hit a target generating X-Ray emission as secondary process. The accelerator structure is composed of an electron gun and a linear sequence of radiofrequency (RF) cavities operating in S-band (3 GHz) using a klystron as RF source. The structure is very compact (transverse dimension about 10 cm and overall length about 1 m) and the construction technology is very robust and substantially cheap. In

the clinical X-rays machines the structure is mounted horizontally on an isocentric gantry, and the beam is magnetically bent onto the X-rays target for RT or directly onto the patient for electron therapy.

As to proton linear accelerators, their development has been addressed to high-power beam applications like, nowadays, spallation neutron sources, where even small (10^{-9}) particle losses can give problems to accelerating structures themselves and generate radiation leaks in radioprotection system. Hence, in order to maximize beam transmission, large bore holes in the cavities are used and the structures are, therefore, built at low RF frequency: this implies larger transverse dimensions (typically 40–100 cm), and lower specific accelerating gradients than the electron linacs. Thus the large size has not allowed linear accelerators to be proposed as proton sources for clinical applications. Nevertheless all the linac technology is based on the same principles, and is by far mature for the development of compact proton linacs operating in S-band. In fact since PT is a middle energy, very low current (hundreds of MeV, few nA average) application for PLAs, the bore hole for the beam transmission can be reasonably small (a few mm). So in principle no major technical difficulty should be foreseen in the design and realization of a proton high frequency (namely S-band) RF linear accelerator dedicated to PT. The S-band choice allows several important improvements with respect to standard proton linacs: a dramatic reduction of dimensions, an increase of the accelerating gradient and therefore a reduction of costs. Moreover, the use of the S-band technology, so well known both in the RT technical area of hospitals and in the conventional RT supplier companies, further reduces realization and maintenance costs and eventually guarantees a wider distribution of the equipment.

On the basis of these considerations, ENEA designed a *protontherapy linac* specifically composed of a low frequency (UHF band, 428 MHz) injector followed by a sequence of *high frequency* (S-band, 2.998 GHz) accelerating modules. The injector is chosen to be a 7 MeV linear pre-accelerator, consisting of a low energy proton source plus a combi-

nation of two smaller linacs, an RFQ and a DTL. An injection energy lower than 5 MeV was discarded in previous studies because of the need of overcoming parametric resonances that can give an unsustainable emittance growth [6]. The operating frequency should be a sub-harmonic of 2.9979 GHz. The higher sub-harmonic frequency is used (7th at 428.27 MHz, 6th at 0.4997, 5th at 0.5996, 4th at 0.7495 GHz) the larger advantages in particle transmission are obtained, but this RF increase has a major impact on realization and costs of the system. The machine is pulse-operated and is able to deliver a beam current with 100% variation on a pulse-to-pulse basis by controlling the source current and using a special pulsing einzel lens power supply. After the injector, a short LEBT (Low Energy Beam Transport) with quadrupoles will match transverse emittance and Twiss parameters at the output of the 428.27 MHz injector to the following linear accelerating structure. The intermediate energy linac, from 7 MeV to around 35 MeV, is a 2.998 GHz linac booster based on the SCDTL (Side Coupled Drift Tube Linac) structure, a novel type accelerating structure invented [7] to satisfy the requirement to get a high shunt impedance (i.e., a high efficiency) in the low-velocity part of the linac. It consists of short DTL tanks (each having 4 to 6 cells of $\beta\lambda$ length, with β =relativistic factor between 0.12 and 0.266 and $\lambda=10$ cm), coupled together by side cavities extending in a space left free on the axis for the accommodation of a very short (3 cm long, 2 cm o.d., 6 mm i.d.) demountable PMQ (Permanent Magnet Quadrupole) for transverse focusing (Figure 2). The high-energy section up to 200-230 MeV will consist of a sequence of modular units, based on accelerating CCL (Coupled Cavity Linac) more conventional structures using the 3 GHz technology as SCDTL. The RF power distribution system will be based on commercial standard 10 MW klystrons powered by a high peak power commercial modulator, a system widely used in conventional RT units. Beam energy is changed indeed switching off the last modules and carefully varying the drive power between 0% and 100% in the last active accelerating structure, at constant phase and frequency. From beam dynamic calculations, a final beam transmission around 30% of the injector output is

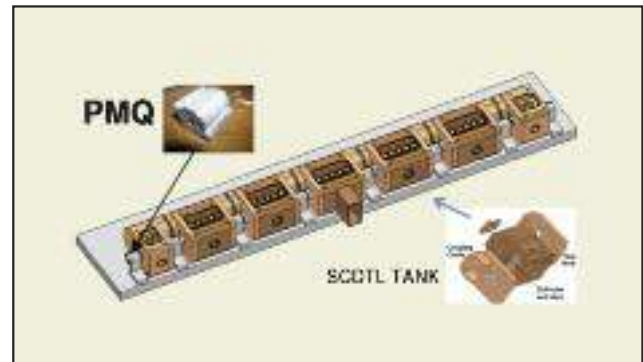


FIGURE 2 SCDTL structure schematic

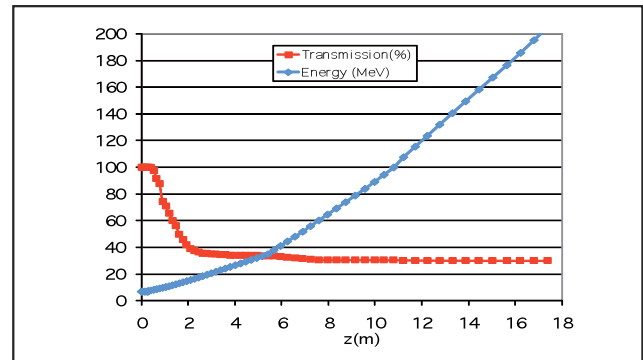


FIGURE 3 Computed beam energy and transmission

expected (Figure 3). The average energy of the lost particles does not exceed 15 MeV, that supports an easy design of an adequate local shielding system. The expected quality of the final beam is pretty good, corresponding to a small normalized emittance of 0.2 p mm-mrad, one order of magnitude lower with respect to the beams produced by circular machines, which entails smaller apertures of elements in the beam delivery lines.

Beam delivery and diagnostics

A 4D scanning scheme will be adopted, by performing the beam scan in the two transversal directions through the use of two fast laminated iron magnets, placed in a delivery line at the exit of the accelerator, and covering the depth dimension by moving the energy as described before and chang-

ing the intensity pulse by pulse. The absence of passive absorbers is advantageous in terms of reliability, maintenance and radiation protection. The possibility to vary the intensity on a pulse-to-pulse basis combined with an electronic feedback system allows to get the required dose uniformity ($\pm 2.5\%$) reducing the number of re-paintings. The beam delivery system does not provide for a rotating gantry, but the use of two fixed beams one horizontal and the other coming downward from an oblique direction, while the patient is placed on an innovative treatment chair/bed with six degrees of freedom. This combination gives the system the same functionalities of an expensive gantry, replacing its movement by flexible patient alignment to the beam. A dedicated mobile CT scanner will take images of the patient in the treatment position.

The beam monitoring will be based on recent Micro Pattern Gaseous Detector technology operating in ionization regime providing, for each pulse, direct measurement of beam intensity profile, centroid position and direction, in order to ensure that the prescribed dose is correctly delivered. A wide dynamic range will be achieved by novel readout electronics, based on auto-ranging sample and hold. The monitor will use data from the TPS to provide the proper feedback to the beam control system, which will adjust the therapeutic plan in real-time or shut down the beam delivery.

Innovative aspects

The application of the linac technology to PT was considered also in other proposals [8], but unlike the scheme described above, linear accelerators

are combined with invasive injectors (up to 30-70 MeV, long UHF linacs or cyclotrons), adding serious complications to the accelerating system. The present design, entirely based on a sequence of linear modules, is a completely new idea introducing technology innovations on the proton source:

- full linac acceleration scheme based on high-frequency technology,
- improved beam quality performances (focusing capabilities),
- reduced beam losses so minimizing the needs for radiation shielding during the acceleration,
- minimized final device cost (both in terms of components, maintenance and operation).

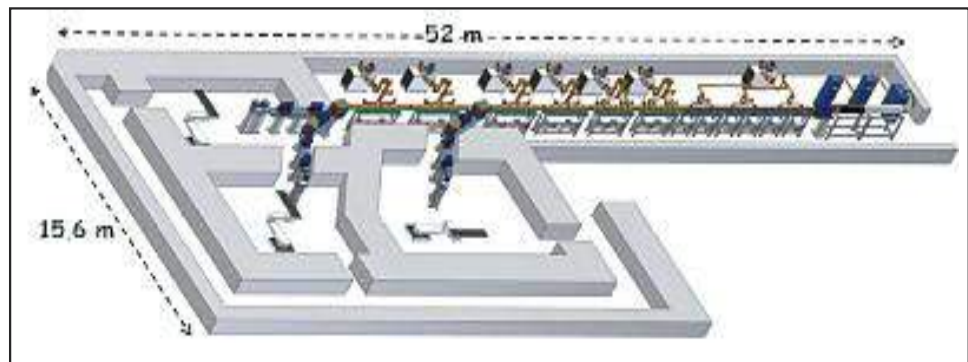
Specific improvements towards an easy use of PT are also expected thanks to the possibility of changing the pulse energy and intensity on a pulse-to-pulse basis. The speed in changing the parameters (10 ms) is much faster than synchrotrons, that work on a 100 ms scale and cyclotrons, that are even slower. This fast control opens to new, more effective techniques like IMPT, with multi-painting for a better dose match to the treatment plan and, mainly, image guided RT, in which the beam delivery is connected to an online imaging system, driving a fast respiratory gating of the irradiation.

Full-linac based protontherapy plants

The TOP-IMPLART Project

The TOP-IMPLART project [2], launched by ENEA, ISS and IFO is devoted to the realization of a proton therapy centre to be sited at IFO. The centre is based on a sequence of linear accelerators according with the scheme described above and de-

FIGURE 4 TOP-IMPLART layout



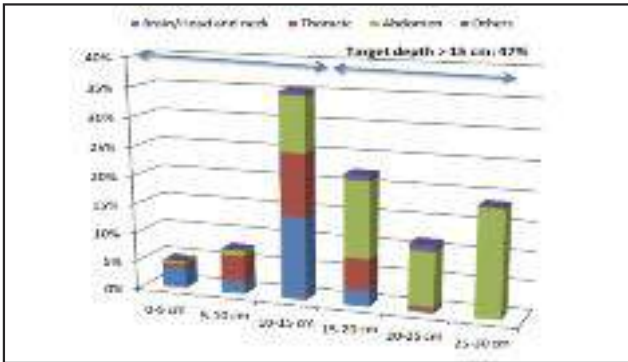


FIGURE 5 Number of patients versus target depth expected to be treated in the IMPLART proton-therapy centre

Parameter	Value
Beam energy phase 1	69-85/150 MeV
Beam energy phase 2	69-85/230 MeV
Pulse duration	1-3.5 μ sec
Repetition frequency	10-100 Hz
Average beam current	2nA
Peak beam current	7 μ A
Dose	1-10 Gy/min
Typical beam spot	7Hx7V mm
Normalized emittance	0.2 π mm-mrad

TABLE 1 TOP-IMPLART main parameters

signed with three treatment rooms (Figure 4): one with a 150 MeV beam for shallow tumors and two with a 230 MeV beam for deep tumors. The first part of the acronym remarks the heritage from the TOP (Oncological Therapy with Protons) Project [6] developed in 1998-2005 by ISS and

ENEA, whilst the second part (“Intensity Modulated Proton Linear Accelerator for RadioTherapy”) points out the possibility to perform a highly conformational therapy based on spatial and intensity modulation of the beam.

The Project, recently approved by Latium Region, provides for two phases of construction: in the first phase the maximum energy will be 150 MeV corresponding to a penetration depth in tissue of about 15 cm, allowing to treat about half of the lesions eligible for protontherapy (Figure 5); in the second phase the system will be extended to get up to 230 MeV beam energy. The main parameters of the accelerator are reported in Table 1.

Figure 6 left shows how a continuous energy variation in a range between 85 and 150 MeV can be obtained by changing the power of the klystrons supplying the last four modules operating in the phase-1 (named CCL3A, CCL3B, CCL4A, CCL4B), by switching off the last modules and varying the electric field amplitude in the last active module from 0 to 100%. Above 85 MeV each module provides an energy gain of 15-16 MeV; by extensive calculations, this has proven to be an upper limit that permits beam transmission when the last module is powered at low fields levels. In the right plot in Figure 6 the computed Root Mean Squared (RMS) energy spread versus the average output energy is shown at different energies. The solid curve represents the tolerated RMS energy spread corresponding to a distal fall-off of 2 mm.

Radiobiology experiments will also be done aimed

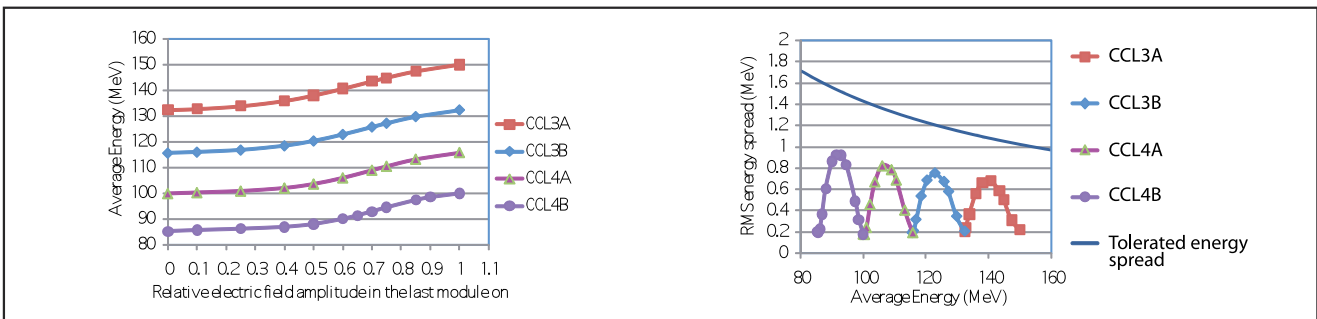


FIGURE 6 (Left) Average energy versus the electric field amplitude in the last switched-on module, (Right) RMS energy spread compared with the limiting curve

to the biological characterization of the beams in terms of Relative Biological Effectiveness (RBE), cell survival, time to repair.

The project will be carried on by ENEA in cooperation with ISS and IFO, according to the respective expertise: ENEA takes care of accelerator design and realization, and of radiobiology; ISS takes care of dosimetry, monitoring and radioprotection and participates to radiobiology; IFO takes care of pre-clinical studies, irradiation protocol and accessories for the final facility.

COMPLIANT, a low-cost single-room facility

The acronym COMPLIANT stands for “COMPact LInear Accelerator for ProtoN Therapy” and indicates a full-linac single-room PT system (Figure 7), based on a 200 MeV proton linear accelerator. It is equipped with a local shielding structure (only for the accelerator), with two fixed (not rotating) beams, with pure digital 3D scanning and is capable of intensity modulated therapy (IMPT) and respiratory gating. The entire facility, that should cost around 25 M€ all included, is intended to comply with a high-quality RT department in medium-size specialized hospitals. The low investment cost, along with the low installation impact on the hospital site, also changes the perspective of the use of the therapy with protons in the general framework of an RT: the combined use of X-rays and protons would allow a better treatment quality and increase

the use of hypo-fractionated treatments for all tumor types, reducing the treatment times.

Description of the test facility at ENEA-Frascati

The innovative capabilities of the proposed scheme require a phase of testing and validation before its application to a clinical environment. A first part of the machine is assembled and tested, reaching the energy of 85 MeV at the ENEA Research Centre in Frascati in a specific area equipped with a 30m long and 3m wide bunker (Figure 8), where a 425 MHz-7 MeV ACCSYS PL7 injector is running for radiobiology experiments in the framework of the IS-PAN (Proton experimental irradiation facility for cell and animal models) Project[2]. Since the frequency of 2.998 GHz is not properly sub-harmonic, a reduction in particle transmission (from 30% to 10%) will occur; this is, however, easily compensated due to the really low current requirements of the application. All SCDTL modules will be realized according to the main design followed by only 2 CCL units. Two klystron units will be required to drive the modules. Radiobiology and preclinical experiments, conducted on cells (V79), laboratory animals (mice) and human phantoms will permit to optimize both machine performances in terms of beam quality and operational schemes. Parallel dosimetric studies will allow to validate the reduced shielding requirements in treatment rooms. Based on the results obtained from the prototype,



FIGURE 7 The COMPLIANT scheme



FIGURE 8 The existing 7 MeV ISS proton injector at ENEA-Frascati

an upgraded machine will be designed, as a second step, to reach the energy required for deep tumors treatment.

Conclusions

On the basis of a long-time cooperation ENEA, ISS and IFO-IRE have proposed the development and realization of innovative PT systems based on a sequence of linear accelerators. The use of a linear machine, instead of a circular accelerator, allows to proceed by steps in the construction, measurement, testing/verification and certification of each added module of the accelerator. The modular construction may also help to match a partial financial support available during the realization. In addition, the low intrinsic beam losses of the linac reduce the size of protection barriers, positively affecting the general plant costs. The proton beam will be fast actively modulated in energy, intensity and transverse direction at the same time, thus offering the maximum flexibility for RT. The realization of a smaller scale prototype in an equipped ex-

perimental area at ENEA-Frascati will allow to perform tests and validation of all the most innovative treatments on phantoms, living cells and small animals. The results will lead to the development of protocols and software to thoroughly operate the machine in a clinical environment once it will be built.

References

- [1] Koji Noda, "Review of hadrontherapy accelerators worldwide and future trends", *Proc. IPAC2011*, San Sebastián, p. 3784.
- [2] C. Ronsivalle et al., *Eur. Phys. J. Plus* (2011), 126, number 7, 68.
- [3] H. Suit et al., "Physical and Biological Basis of Proton and of Carbon Ion Radiation Therapy and Clinical Outcome Data", *Reviews of Accelerator Sci. and Tech.* 2, 2009, 1–15.
- [4] Lu HM et al., "A respiratory-gated treatment system for proton therapy", *Med Phys.* 2007 Aug;34(8):3273-8.
- [5] M.Goitein, M.Jermann, "The relative costs of proton and X-ray radiation therapy", *Clin. Oncol.* 15 (2003) S37–S50.
- [6] L. Picardi et al., "The TOP Project status", *Proc. PAC 2001*, Chicago (2001) p. 2491-2493.
- [7] Patent N. RM95-A000564; Inventors L. Picardi, C. Ronsivalle, A. Vignati, Owner: ENEA.
- [8] U. Amaldi et al., "High Frequency Linacs for Hadrontherapy", *Reviews of Accelerator Sci. and Tech.* 2, 2009, 111–131.

Effects of acidification on a Mediterranean calcitic bryozoan

The first coastal transplant experiments designed to investigate the effects of naturally acidified seawater on the Mediterranean calcitic bryozoan *Myriapora truncata* are reported. Colonies were transplanted along a pH gradient (normal pH = 8.10, intermediate pH = 7.83 and low pH = 7.32) with increasing intervals of exposure in an area of natural volcanic CO₂ vents at Ischia Island (Tyrrhenian Sea). Multiple and integrated experiments have been performed to investigate organisms' responses to ocean acidification at several levels: skeletal structure, mineralogy, geochemistry, colony growth, soft tissue and protein profile. These transplanting experiments add themselves to a growing body of evidence showing that the acidifying effects of accelerating CO₂ emissions will be detrimental to important components of shallow water marine ecosystems

■ Silvia Cocito, Chiara Lombardi

Effetti dell'acidificazione su un briozoo calcitico mediterraneo

Vengono riportati i risultati dei primi esperimenti di trapianto realizzati per investigare gli effetti di acque naturalmente acidificate sul briozoo calcitico *Myriapora truncata*. Le colonie sono state trapiantate lungo un gradiente di pH (normale = 8.10, intermedio = 7.83, basso = 7.32) con intervalli crescenti di esposizione in un'area di emissioni vulcaniche di CO₂ all'Isola di Ischia (Mar Tirreno). Sono stati realizzati esperimenti multipli e integrati per analizzare come la specie reagisce a livello di struttura scheletrica, mineralogico, geochimico, crescita della colonia, tessuti e profilo proteico.

Questi esperimenti di trapianto si aggiungono alla crescente evidenza che gli effetti dell'acidificazione prodotti dalle emissioni di CO₂ saranno nocivi per importanti componenti degli ecosistemi marini costieri superficiali

Ocean acidification (OA) is an undisputed fact [1]. Atmospheric CO₂ is the dominant greenhouse gas and its concentration, currently 380 ppm, is expected to rise to 790 ppm by 2100. This will cause a pH decrease of 0.3-0.5 units [2]. The ocean storage capacity takes up a quarter of the total atmospheric CO₂, with consequences on the geochemical balance of the oceans

which are causing major changes in marine ecosystems [3]. Not only does the dissolution of carbon dioxide in sea water provoke an increase in hydrogen ions and a consequent decline in pH, but it also generates a decrease in a very important form of inorganic carbon: the carbonate ion (CO₃²⁻). Numerous marine organisms such as corals, mollusks, crustaceans, bryozoans and sea urchins rely on carbonate ions in conjunction with organic material (proteins, carbohydrates, lipids) to form their calcareous shells or skeletons in a process known as calcification. The concentration of carbonate ions in the ocean largely deter-

■ Silvia Cocito, Chiara Lombardi

ENEA, Technical Unit for Marine Environment and Sustainable Development, La Spezia

mines whether there is dissolution or precipitation of aragonite and calcite, the two natural polymorphs of calcium carbonate (CaCO_3), secreted in the form of shells or skeletons by these organisms [4]. Not only are calcifying organisms potentially affected by ocean acidification, but other main physiological processes such as reproduction, growth and photosynthesis are susceptible to be impacted, possibly resulting in an important loss in marine biodiversity.

Moreover, ocean acidification does not occur in isolation, but rather in concert with other changes, such as global warming, that may have synergistic, antagonistic, additive, or neutral effects. There are, however, few studies examining the interactive effects of acidification and other consequences of global change on marine organisms, and experimental data is limited. Recent reviews of OA studies show that marine biota, particularly coastal benthic organisms, are unlikely to respond uniformly to the changes expected during the 21st century, with some 'winners' (photosynthetic groups such as seagrasses and brown algae) as well as some 'losers' (most calcareous groups) [5, 6, 7, 8]. In the Mediterranean Sea, some marine calcifying taxa have the ability to create permanent carbonate structures that not only increase habit diversity but also exert a control over the distribution and abundance of associated species, promoting marine biodiversity [9]. The varied biomineralogy and proven potential of bryozoans as bioindicators [10] make them good candidates for exploring the effects of OA on skeletal morphology, biochemistry and physiology of bryozoan biomineralization.

In collaboration with the Laboratory of Benthic Ecology of the SZN, the first *in situ* biological transplantation experiments have been undertaken to investigate the effects of acidified seawater at a volcanic CO_2 vent area in Ischia, Italy [11], using the cheilostome bryozoan *Myriapora truncata* (Pallas, 1766) as study organism. Natural CO_2 venting sites are useful for assessing the long-term effects of ocean acidification on benthic biota because they can provide essential information about high- CO_2 effects on spatial and temporal scales which are otherwise difficult to address. Here, we provide results of multiple and integrated experiments on colonies of a calcitic bryozoan transplanted at increasing duration time and at various distances from CO_2 vents, creating a gradient of different pH conditions (from 7.2 to 7.9), included that expected for 2100. The aims of these experiments were i) to analyse the effects of acidification on skeletal structure and ultrastructure on the calcitic skeleton of living

bryozoan colonies, ii) to describe and quantify the mineralogical and geochemical effects; iii) to extend our knowledge in terms of how the organic constituents involved in biomineralization react to decreased pH conditions, the effects on growth, organic tissue and protein composition have also been analysed.

Materials and methods

Target species

Myriapora truncata (Figure 1 a) is a widespread Mediterranean bryozoan species forming erect tree-like colonies with a robust skeleton composed of magnesium-rich calcite (>8 wt% MgCO_3) [12]. Growing in dim light infralittoral and circumlittoral rocky environments, *M. truncata* occurs from the surface down to 60 m [13] on hard substrates such as rocks, crustose red algae and shells. Colonies begin growing from an encrusting base that quickly develops erect branches composed of radiating, undifferentiated autozooids (feeding units). Autozooids have calcified basal, vertical (lateral, proximal and distal) and frontal walls. The main bodies of the zooids – the polypides – are housed within the box-shaped skeletal walls of the zooids and protrude their tentacle crowns through the orifice in the frontal wall for feeding [14].

Field procedure

Colonies of *Myriapora truncata* were collected from a rocky bank far from the volcanic area and transported to the laboratory where they were maintained in 20 l aquaria with a turnover rate of seawater of 50% h^{-1} . Fragments (up to 3 branches each) were attached to tagged plastic plates using epoxy glue (HoldFast®), mounted on PVC plates and distributed in 6 cages (30 × 50 cm) (Figure 1b) with 12 fragments cage⁻¹. The cages were transplanted to the south side of Castello Aragonese (40° 43.84' N, 13° 57.08' E) where gas comprises 90–95% CO_2 , 3–6% N_2 , 0.6–0.8% O_2 , and 0.2–0.8% CH_4 and is emitted at a rate of about 1.4×10^6 l days⁻¹ at room temperature and atmospheric pressure [11]. This vented gas lowers seawater pH from the normal value of about 8.17 to as low value as 6.57. Cages were fixed at 3 to 4 m depth along a 200 m transect at 3 sites (2 cages site⁻¹) where different mean pH conditions (normal, intermediate and low) due to CO_2 vents have been documented. Each experiment had a different number of replicates and variable duration (45 and 128 days for analyses of skeletal corrosion, mineralogical and geochemical effects, 16, 34, 57, 87 days



FIGURE 1

a) Red and orange, branched colonies of the bryozoan *Myriapora truncata* attached to plastic plates for the transplanting experiments; b) cage positioned at 4 m depth in the low pH site. Volcanic CO₂ vent bubbles are visible

for analyses of effects on growth, organic tissue and protein composition).

Laboratory analyses

Dead and live colonies were used. Colonies were soaked into a 20% sodium hypochlorite solution to remove organic material, washed in water, dried and examined uncoated in a LEO 1455VP low-vacuum scanning electron microscope. Differences in skeletal thickness were determined from cross-sections of branches. Skeletal area, branch diameter and thickness of zooidal frontal walls were measured using IMAGE.NET (Hesp Technology Software).

Mineralogical and geochemical analysis: quantitative X-ray diffraction (XRD) was carried out using an INEL Curved Position Sensitive Detector (PSD) powder diffractometer for mineralogical analysis to determine differences in Mg content of the calcite. Elemental compositions (spot analysis) and distributions were evaluated in polished sections using CAMECA SX50 Electron Probe Microanalysis.

Zooidal growth: the newly formed zooids were counted at the growing tips of colony fragments, individually tagged with plastic plates, photographed before being transplanted. A binocular microscope (Leica Z16 APO) with a digital camera (Leica DFC 300 FX) connected to a computer with dedicated software (Leica LAS©) was used.

Organic tissue: Cuticle and polypides were separated from the skeleton of the zooids using forceps under a binocular microscope. Cuticles were fixed with a solution of 2.5% glutaraldehyde and 0.25% paraformaldehyde (PFA) in phosphate-buffered saline (PBS) for 2 h, rinsed in PBS and fixed in 2% OsO₄ for 30 min. Specimens were dehydrated in acetone and embedded in EPON resin. Cuticle and

polypide sections were analysed using SEM at 1000× magnification, and thickness (μm) was measured on SEM pictures with Image J®.

Proteins: colony fragments were rinsed extensively with deionised water and dried overnight in an oven at 37°C. 1 g of each sample was crushed to a fine powder and dissolved with 23 ml of an aqueous solution of EDTA (0.2 M, pH 8.0) and 0.1 ml of dithiothreitol (DTT). Protein concentration was determined using a Nanodrop spectrophotometer. The samples were separated alongside protein standards of known molecular weight.

Results

During the experiment periods, at the 3 sites along the gradient pH was 8.10 ± 0.07 ('normal'), 7.83 ± 0.41 ('intermediate') and 7.32 ± 0.47 ('low').

Skeletons of live colonies in the low pH site after 45 days of exposure were less corroded than those of dead colonies, suggesting that the organic tissues enveloping the skeleton play a protective role. Colonies remained alive at the intermediate and low pH sites during the 45-day experiment, but corrosion was very striking after 128 days, with colonies from the low pH site, showing significant loss of skeleton (Figure 2). Compared to the control, these colonies also had lower levels of Mg (mean 8 versus 9.5 wt% Mg) within their skeletons. Electron microprobe mapping showed Mg to be higher in the outer layers of the skeletal walls in colonies from the normal pH site. Corrosion of outer layers of the walls probably explains the lower Mg level found in colonies exposed to acidic conditions.

M. truncata formed new and complete zooids at the normal site, whereas at the intermediate and low pH sites, neither partial nor complete zooids were pro-

duced. After 34 d at intermediate and low pH conditions, the organic cuticle which envelops the skeleton increased in thickness when compared to normal colonies, suggesting an initial protective role against dissolution of the high-Mg calcite skeleton. However, after 57 and 87 d, samples from the intermediate pH site showed a progressive decrease in cuticle thickness (57 d: 8.43 ± 0.52 m; 87 d: 5.95 ± 0.43 m). Samples from the low pH site showed a substantial decrease in cuticle thickness from 10.73 to 7.12 m between 34 and 57 d. Comparing ultrathin sections of the lophophore tentacles of samples from all 3 sites, there were no observable differences in tissue organization after 34, 57 and 87 d of exposure, whereas differences related to cellular functioning (i.e., heterochromatin densely clumped at the nuclear margins) were clearly detected in samples exposed to low pH conditions even after 34 d of exposure.

Protein analyses showed that samples from the normal pH site showed the most distinctive bands, which remained almost identical over time (34, 57 and 87 d) (Figure 3). Samples from intermediate and low pH sites showed an increase in protein production during the initial 34 d. However, after 57 and 87 d, there was a marked decrease in protein production, with samples from the low pH site showing almost no protein or very diffuse bands, particularly after the longest exposure.

Discussion

There is increasing awareness that biological systems will respond to ocean acidification at several levels, including gross morphological changes in individuals, physiological and biochemical shifts, and ecological shifts in species distribution. Our results show different effects on skeletal structures, soft tis-

sue, growth and protein profile in the carbonate-secreting bryozoan *M. truncata* transplanted into a site along pH gradient in a natural CO₂ vent area. Samples in low pH conditions showed heavy and irregular corrosion across branches [14]. The geochemical composition may be important considering that the greatest loss is from the zooidal frontal wall, where the highest levels of Mg were found, as the solubility of calcite increases with higher levels of Mg [14]. Susceptibility to skeletal corrosion can be influenced by carbonate mineralogy and geochemistry. Corrosion could result in a weakening of the skeleton, potentially increasing vulnerability to predators and to hydrodynamic breakage. The survival of live samples of *M. truncata* in extreme acidic conditions after a short period of exposure can be interpreted as due to the presence of soft tissues (i.e., the cuticle and epithelium plus the coelom beneath) that completely envelop the skeleton of *M. truncata*, thus exerting a protective role against dissolution of the high Mg calcite skeleton of colony growing tips.

Ultrathin sections of tentacles from zooids at the colony growing tips exposed to low pH conditions for 34 d revealed cells with heterochromatin-rich nuclei especially associated with the nuclear envelope [15]. Abundance of heterochromatin may imply reduced nuclear and cell activity induced by stress factors [16].

The protein analyses, along with the physical changes, suggest that *M. truncata* may initially attempt to overcome the decrease in pH by up-regulating protein production, perhaps as a response to hypercalcification, but eventually, especially in the lowest pH condition, it appears to exhaust the biochemical energy needed to maintain this rate of hypercalcification. Seemingly the organism responds to com-

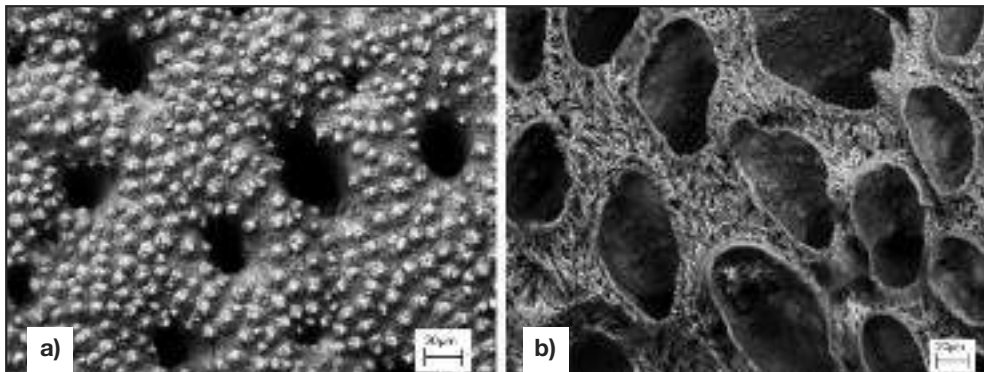


FIGURE 2

Appearance of zooidal wall pores of live colonies of *Myriapora truncata* after 128 days of exposure at normal (a) and low pH (b) sites. The skeleton is very heavily corroded at the low pH site, with extreme enlargement of the orifice. Scale bars: 20 µm (modified from [14])

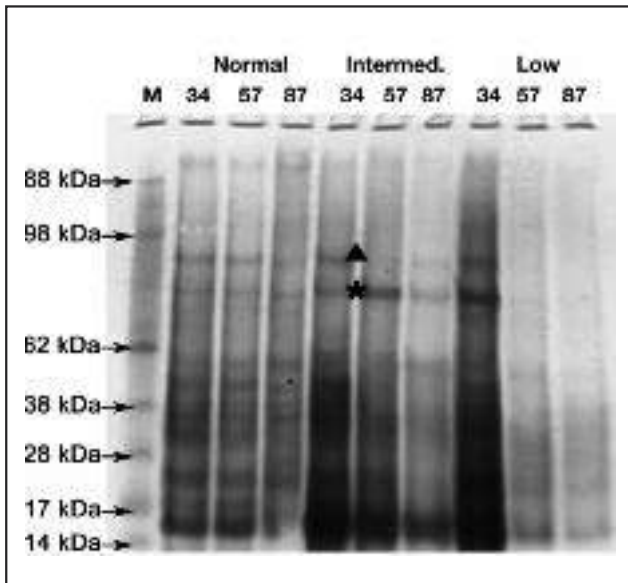


FIGURE 3 Silver stained SDS PAGE gel of *Myriapora truncata* fragments for protein analysis. Molecular weight marker (M), samples exposed to normal, intermediate and low pH conditions for 34, 57 and 87 d periods (from [14])

but the effects of ocean acidification may be dependent on intrinsic and extrinsic factors such as metabolism or gene/protein expression and vary with life stages (e.g., developmental stages) and body size or age and, in addition, will be highly influenced by environmental conditions [17, 18].

This study highlights that biogenic minerals — since they are made up of organic and inorganic components [19]— should be considered when assessing the vulnerability of organisms and their ability to respond to ocean acidification. To date, we have a sufficient basic understanding of the biological and ecological processes involved with OA to claim that if we fail to reduce CO₂ emissions and subsequent OA, many marine species and ecosystems will experience profound modifications because effects on individuals accumulate into effects on whole ecosystems.

Acknowledgments

Experiments have been carried out in collaboration with M.C. Gambi (Benthic Ecology Lab, SZN, Naples), P.D. Taylor (National History Museum, London), B. Cis-

terna (University of Pavia), M. Cusack and A. Freer (University of Glasgow). M. C. Buia, and the staff of the benthic ecology group of the Stazione Zoologica of Naples provided field and laboratory support and facilities. This project was partially funded by the VECTOR project.

References

- [1] IPCC (2007), Climate change 2007: the physical sciences basis. Summary for policymakers. Contribution of working group to the fourth assessment report. The Intergovernmental Panel on Climate Change. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
- [2] Caldeira K., Wickett M.E. (2003), Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425, 365.
- [3] Feely R.A., Sabine C.L., Lee K., Berelson W., Kleypas J., Fabry V.J., Millero F.J. (2004) The impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science*, 305, 362–366.
- [4] Andersson A.J., Kuffner I.B., Mackenzie F.T., Jokiel P.L., Rodgers K.S., Tan A. (2009), Net loss of CaCO₃ from a subtropical calcifying community due to seawater acidification: mesocosm-scale experimental evidence. *Biogeosciences*, 6, 1811–1823.
- [5] Riebesell, U., Bellerby, R., Grossart, H. P. and Thingstad, F. (2008), Mesocosm CO₂ perturbation studies: from organism to community level. *Biogeosciences* (BG), 5 (4), pp. 1157–1164.
- [6] Widdicombe S., Dashfield S.L., McNeill C.L., Needham H.R., Beesley A., McEvoy A., Øxnevad S., Clarke K.R., Berge J.R. (2009), Effects of CO₂ induced seawater acidification on infaunal diversity and sediment nutrient fluxes. *Marine Ecology Progress Series*, 379, 59–75.
- [7] Ries J., Cohen A., McCorkle D. (2009), Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO₂-induced ocean acidification. *Geology*, 37(12), 1131–1134.
- [8] Fabry V.J., Seibel B.A., Feely R.A., Orr J.C. (2008), Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65, 414–432.
- [9] Cocito S. (2004) Bioconstruction and biodiversity: their mutual influence. *Scientia Marina*, 68, 137–144.
- [10] Lombardi C., Cocito S., Hiscock K., Occhipinti-Ambrogi A., Setti M., Taylor P.D. (2008), Influence of seawater temperature on growth bands, mineralogy and carbonate production in a bioconstructional bryozoan. *Facies*, 54, 333–342.
- [11] Hall-Spencer J.M., Rodolfo-Metalpa R., Martin S., Ransome E., Fine M., Turner S.M., Rowley S.J., Tedesco D., Buia M.C. (2008), Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454, 96–99.
- [12] Smith A.M., Key M.J., Gordon D.P. (2006), Skeletal mineralogy of bryozoans: taxonomic and temporal patterns. *Earth-Science Reviews*, 78, 7–306.
- [13] Zabala 1986 Zabala M. (1986), *Fauna dels Briozous dels Països Catalans*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 84, 582–583.
- [14] Lombardi C, Rodolfo-Metalpa R, Cocito S, Gambi MC, Taylor PD (2010), Structural and geochemical alterations in the Mg calcite bryozoan *Myriapora truncata* under elevated seawater pCO₂ simulating ocean acidification. *Mar Ecol* 32: 211–222.
- [15] Lombardi C., Cocito S., Gambi M.C., Cisterna B., Flach F., Taylor P.D., Keltie K., Freer A., Cusack M. (2011), Effects of ocean acidification on growth, organic tissue and protein profile of the Mediterranean bryozoan *Myriapora truncata*. *Aquatic Biol*, Vol. 13: 251–262, doi: 10.3354/ab00376.
- [16] Wheatley DN (1985), Investigation of the mechanism of protein turnover in HeLa S-3 cells by incubation at elevated temperature. *Exp Cell Res* 157: 159–171.
- [17] Wood H.L., Spicer J.J., Widdicombe S. (2008), Ocean acidification may increase calcification rates, but at a cost. *Proceeding Royal Society B*, 275, 1767–1773.
- [18] Dupont S., Ortega-Martinez O., Thorndyne M. (2010), Impact of near-future ocean acidification on echinoderms. *Ecotoxicology*, 19, 449–462.
- [19] Cusack M., Freer A. (2008), Biomineralization: elemental and organic influence in carbonate systems. *Chemical Reviews*, 108, 4433–4454.

Experimental results on a solar desiccant and evaporative cooling system equipped with wet heat exchangers

An innovative solar assisted desiccant and evaporative cooling (DEC) system for building air conditioning has been installed at the Solar Laboratory of the University of Palermo. In this system, air-to-air packaged wet heat exchangers are used to maximise the exploitation of the evaporative cooling potential associated with the exhaust air stream.

Results obtained are very positive, showing that DEC systems can benefit from the use of wet heat exchangers to efficiently cool the air stream after the adsorption process in the desiccant wheel, without any change in moisture content

■ Pietro Finocchiaro

Risultati sperimentali di un sistema solare ad adsorbimento con raffreddamento evaporativo realizzato mediante scambiatori di calore bagnati

Un innovativo sistema solare di deumidificazione e raffreddamento evaporativo (DEC) da utilizzare per la climatizzazione degli edifici è stato installato presso il Laboratorio Solare dell'Università di Palermo. Il sistema utilizza scambiatori di calore aria-aria a pacco mantenuti bagnati sul lato secondario al fine di massimizzare il potenziale di raffreddamento evaporativo associato al flusso d'aria di ritorno dall'edificio. I risultati ottenuti sono molto positivi e mostrano che i sistemi DEC possono beneficiare dell'uso di scambiatori di calore bagnati per realizzare un efficace raffreddamento sensibile del flusso d'aria di processo dopo la fase di adsorbimento che avviene nella ruota deumidificante

The Solar DEC technology is an interesting and fascinating solution for applications in building air conditioning. It is a thermally driven open cooling cycle based on evaporative cooling and adsorption processes. In a solar desiccant cooling cycle, solar energy is used to regenerate a desiccant material that dehumidifies moist air by vapour adsorption; the resulting dry and warm air is cooled in a sensi-

ble heat exchanger (usually rotating) and then in a direct evaporative cooler. By associating different elementary treatments in moist air (dehumidification, sensible cooling and evaporative cooling) both in the process and exhaust air, the technique uses water as a refrigerant and mostly solar energy as driving heat. In a solar autonomous DEC system, electricity is only used in the auxiliaries, so the technique is environmentally friendly. If the pure DEC effect is not sufficient to guarantee indoor air conditions for the specific application, a hybrid

■ Pietro Finocchiaro
University of Palermo, Department of Energy

DEC – conventional cooling cycle can be used by adding one or more traditional cooling coils connected with an electric water refrigerator to the standard DEC cycle [Henning, 2004].

Monthly results are presented and elaborated according to a monitoring procedure developed in the framework of the International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling (SHC) Programme, Task 38 “Solar Air Conditioning and Refrigeration” [Sparber et al., 2008, Sparber et al., 2009].

Description of system layout

The layout of the DEC system is a hybrid configuration with two additional auxiliary cooling coils fed by a conventional vapour compression chiller integrated in the DEC air handling cycle (Figure 1). One coil is used for pre-dehumidification of the outside air stream; the other coil controls the air temperature if the desired supply temperature cannot be reached through indirect evaporative cooling alone. In the system 22.5 m² of solar flat plate collectors are used with a water tank of 0.65 m³. Rated air flow rate of the air handling unit is 1250 m³/h.

The main innovation in the DEC process is the use of cross flow plate heat exchangers. These devices are commonly used in air conditioning systems for heat recovery purposes during the winter. When indirect evaporative cooling is used, the same heat exchangers can be used to efficiently cool the outside air during summer, wetting the channels of the exhaust air with water [Rey Martinez et al., 2004]. Therefore, this component can efficiently be inte-

grated in a desiccant cooling cycle downstream of the adsorption process. Other authors have already considered the application of wet surface heat exchangers for indirect evaporative cooling, but only in few cases has the coupling with DEC system been investigated [Jain et al. 1995, Rowe et al. 2010].

The surface of secondary flow (return air from the building) air channels is wetted by water sprayed by nozzles, such that a water film evaporates into the cooling air and decreases the temperature of the heat exchange surface. Process air flowing in the primary airflow channels is cooled down due to the lower temperature surface of the separating wall of the heat exchangers.

The sensible heat exchanger normally used in DEC systems is thus replaced with two plate heat exchangers displaced in series for a continuous humidification of the secondary air flow. Thus return air is humidified in two steps before leaving the AHU after the heat exchange with the supply air stream. Desiccant wheel is regenerated by fresh air, which is heated by the two heating coils. It implies the use of an additional fan but, on the other hand, the regeneration airflow can be reduced. No bypass is used to limit solar heat consumption for the regeneration and to reduce pressure drops during the wintertime. Regeneration flow rate can be modulated independently of the return air flow. Another specific feature of the system is the use of part of the heat rejected by the refrigerator condenser to preheat regeneration airflow.

The air handling on the psychrometric chart is

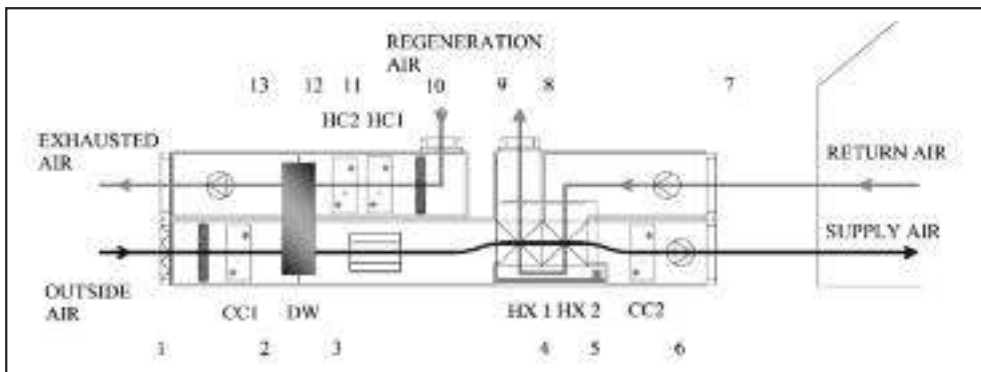
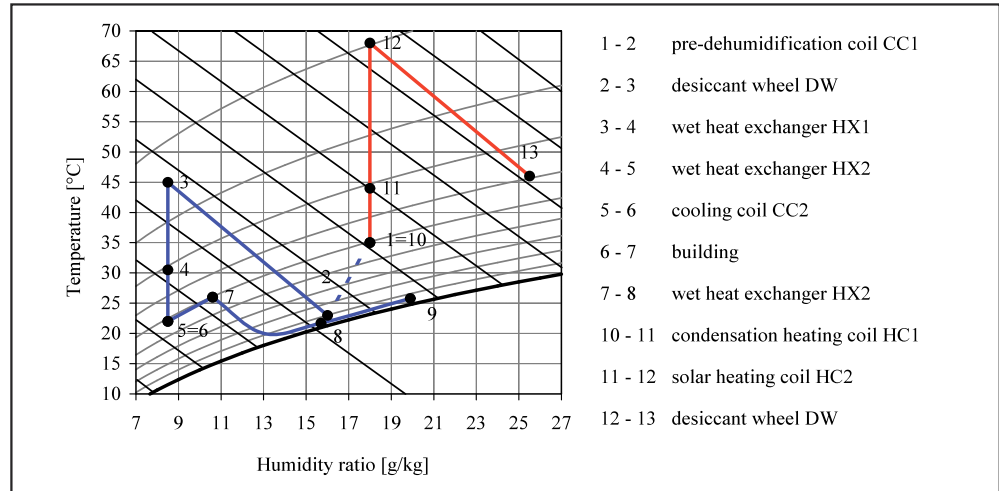


FIGURE 1

Layout of the DEC AHU with wet heat exchangers

FIGURE 2

Sequence of air handling on return and supply air stream for typical summer conditions on the psychrometric chart



shown for typical summer operation conditions in Figure 2. The total cooling power of both wet heat exchangers is the enthalpy difference between points 3 and 5. It can be noted that no additional cooling coil is used to reach the supply temperature of 22 °C.

Experimental results

Monitoring data were collected during Aug - Sept 2010 and June - July 2011 and results are shown both in terms of seasonal energy performances. Figure 3 shows the cold distribution in the AHU where DEC indicates the contribution of the desiccant cooling process to the whole cooling energy delivered. It can be noted that the contribution of

the temperature controlling coil CC2 is very low being the desired supply temperature of the AHU typically reached without any use of the cooling coil.

The total contribution of the desiccant and evaporative cooling effect to the total cooling energy delivered is about 70%. The water consumption in the new DEC configuration is due to evaporation occurring on the secondary side of the wet heat exchangers HX1 and HX2. A daily mean value of water consumption of about 70 lt/day was calculated.

Finally, a comparison between the DEC system and a conventional system was performed. The conventional system considered is an AHU fed by a water electric chiller. The analysis was conducted according to the mentioned monitoring procedure developed in the framework of the IEA Task 38. Monitoring results show a primary energy saving of 53.7% as seasonal mean value. In the calculation it's taken into account that, in a conventional system, additional cooling energy is needed for the dehumidification process to reach dew point temperatures, with consequent re-heating of the air up to the desired inlet temperature conditions [Beccali M. et al. 2012].

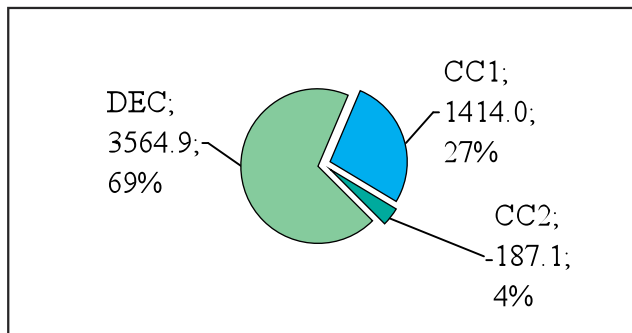


FIGURE 3 Distribution of the seasonal cooling energy in kWh produced by the DEC AHU

Conclusions

In the present work, an innovative desiccant cooling cycle using wet heat exchangers is presented. The

system presented is a Solar DEC air handling unit, which was recently modified and updated according to a new concept mainly based on the use of wet plate heat exchangers. Monitoring results related to the modified configuration showed that, due to the optimisation of the indirect evaporative cooling process, a supply temperature in the range of 21-22 °C can be achieved without the use of an auxiliary cooling coil. Therefore, the electricity consumption of the auxiliary cooling machine in the new system configuration can be significantly reduced in comparison to the previous one.

Monitoring data show very good operation and high efficiency of wet plate heat exchangers. Furthermore, the use of the plate heat exchanger eliminates the possible moisture carryover that can occur in the rotative heat exchangers normally used in DEC systems and air leakages between two air-flows.

The use of a dedicated fan for the regeneration of the desiccant wheel seems to be a good solution permitting an independent control of the regeneration process.

The authors are working on the efficiency assessment of wet heat exchangers through targeted experimental tests carried out in a specific facility. Numerical simulations of the whole DEC system

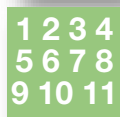
will be utilized to evaluate performances in other climatic conditions.

Acknowledgments

The authors acknowledge the support provided by ENEA Research Agency for this research project in the framework of the “*Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico*”.

References

- [1] Beccali M., Finocchiaro P., Nocke B., “Energy performance evaluation of a demo solar desiccant cooling system with heat recovery for the regeneration of the adsorption material”, *Renewable Energy*, Available online 1 February 2012, ISSN 0960-1481, 10.1016/j.renene.2011.12.021.
- [2] Jain S., Dhar P.L., “Evaluation of solid-desiccant-based evaporative cooling cycles for typical hot and humid climates”, *International Journal of Refrigeration*, Elsevier, Vol 18, No. 5 pp 287-296 (1995).
- [3] Henning H.M., *Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners*, Springer, Wien - New York (2004).
- [4] Rey Martinez F.J., Velasco Gómez E., Herrero Martin R., Martinez Gutiérrez J., Varela Diez F., “Comparative study of two different evaporative systems: an indirect evaporative cooler and a semi-indirect ceramic evaporative cooler”, *Energy and Buildings*, Elsevier 36 pp. 696-708 (2004).
- [5] Rowe D., White S., Goldworthy M., Spillmann T., Reece R., Rossington D., Dolly B., Larre M., Thomson R., “Preliminary Findings on the Performance of a New Residential Solar Desiccant Air-Conditioner”, Proceedings of EUROSUN 2010, Graz, Austria (2010).
- [6] Sparber W., 240 - Unified Monitoring Procedure and Performance Assessment for Solar Assisted Heating and Cooling Systems, *Euro-sun 2008*, Lisbon (2008).
- [7] Sparber W., Napolitano A., Besana F., Thür A., Nocke B., Finocchiaro P., Nieto L.A. Bujedo, Rodriguez J., Nù ez T., “Comparative results of monitored solar assisted heating and cooling installations”, *Proc. of the 3rd Intern. Conference Solar Air-Conditioning*, Palermo (I), 30 Sept-2 Oct (2009).



dal
Mondo

Il tema "acqua" continua ad essere al centro del dibattito politico-scientifico della comunità internazionale. In particolare, si è svolto a Marsiglia dal 12 al 17 marzo il **World Water Forum** incentrato sul tema *Time for Solutions*. La Dichiarazione ministeriale finale sottolinea i temi chiave dell'accesso all'acqua potabile e ai servizi igienico-sanitari, il contributo alla crescita verde, l'adattamento ai cambiamenti climatici, la *governance*, la cooperazione e i finanziamenti.

Nel corso del Forum è stato presentato il *World Water Development Report 2012*, realizzato dal Programma di Valutazione delle Risorse Idriche Mondiali, secondo il quale la domanda di acqua è in aumento in tutto il mondo, ma la disponibilità potrebbe diminuire a causa dei cambiamenti climatici acuendo la disparità tra i paesi.

Anche quest'anno per il 22 marzo è stata indetta la *Giornata mondiale dell'acqua* dedicata alla sensibilizzazione dell'opinione pubblica sull'im-

portanza della risorsa. L'appuntamento coordinato dalla FAO, l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, allo scopo di invocare una gestione sostenibile delle risorse di acqua potabile, è stata dedicata quest'anno al tema *Acqua e sicurezza alimentare*.

Si è tenuta il 29-30 marzo la Riunione di livello Ministeriale del Comitato Ambiente dell'OCSE dal titolo "*Making Green Growth Deliver*". I Ministri dell'Ambiente dei Paesi OCSE e della Federazione Russa hanno adottato una dichiarazione politica come contributo per la Conferenza di Rio + 20. Nel corso della Riunione Ministeriale è stata esaminata l'attuazione della strategia ambientale OCSE per la prima decade del 21° secolo ed è stata presentata la pubblicazione dell'OCSE *Prospettive dell'Ambiente al 2050: le conseguenze dell'inazione*, che illustra gli scenari possibili nel caso in cui non vengano adottate politiche a favore della crescita verde.

In particolare, a fronte di una crescita globale destinata a salire malgrado l'attuale ciclo recessivo, e una popolazione mondiale che si prevede passerà dagli attuali 7 a 9 miliardi di abitanti, il documento presenta le nuove proiezioni socio-economiche per i prossimi quattro decenni rispetto alle quattro direttrici cambiamento climatico, biodiversità, acqua e impatto dell'inquinamento sulla salute in assenza di interventi strutturali. Tra i costi più alti di un'inattività al 2050 rientrano: aumento del 50% delle emissioni di gas a effetto serra; peggioramento della qualità dell'aria con pesanti ricadute sulla salute dell'uomo quale un possibile raddoppio delle morti connesse alle complicanze respiratorie di esposizione a inquinanti ambientali; perdita del 10% di biodiversità; aumento del 55% della domanda di acqua.

In tema di cambiamento climatico anche l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha pubblicato un nuovo rapporto dal titolo *Managing the risk of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Il cambiamento climatico ha forti ricadute sugli eventi meteorologici estremi quali ondate di calore, picchi di temperature massime e, in molte regioni, piogge torrenziali. La valutazione riguarda l'interazione tra

fattori climatici, ambientali ed antropogenici che possono portare a tali fenomeni estremi e suggerisce le possibili opzioni nella gestione dei rischi per le popolazioni e, in genere, per i sistemi socio-economici potenzialmente colpiti.

Sul tema nucleare invece, oltre ai vari appuntamenti commemorativi rispetto al primo anniversario dell'incidente di Fukushima, sempre a marzo si svolto a Seoul il *Nuclear security summit dell'IAEA* (International Atomic Energy Agency). Nelle conclusioni, i leader mondiali hanno rinnovato il loro impegno alla cooperazione multilaterale con particolare riguardo alla "Convention on the physical protection of nuclear material", a ridurre i rischi legati al terrorismo nucleare e a prevenire l'acquisizione non autorizzata di materiali nucleari.

(Flavia Amato, Paola Cicchetti)



dall'
Unione Europea

Le principali iniziative della Commissione Europea (CE) nel periodo marzo-aprile 2012 riguardano:

- l'avvio, in data 29 febbraio, delle due **European Innovation Partnerships** su **Agricultural Productivity and Sustainability** e **Raw Materials** che mirano rispettivamente a promuovere la produttività, l'efficienza e la sostenibilità dell'agricoltura, e a superare la scarsità di materie prime in Europa. Coerenti con gli orientamenti strategici di "Europa 2020", entrambi i partenariati rappresentano una nuova strategia intesa ad affrontare l'intera catena ricerca-sviluppo-innovazione e prendono spunto dalla consultazione dei soggetti interessati, dalla esperienza maturata nell'ambito della EIP "Active and Healthy Ageing" e dal dibattito svoltosi presso il Consiglio europeo;
- la proposta **Accesso più celere ai medicinali per i pazienti** del 1 marzo, per snellire e ridurre la durata del processo decisionale na-

- zionale in merito alla fissazione dei prezzi e al rimborso dei medicinali a 120 giorni per i medicinali innovativi e a 30 giorni per quelli generici. La nuova direttiva costituisce un'importante misura di semplificazione e abroga sostituendola la vecchia direttiva del 1991 che non rispecchiava più la crescente complessità delle procedure di fissazione dei prezzi e di rimborso in vigore negli Stati membri;
- la pubblicazione, in data **7 marzo**, della comunicazione **Trarre il massimo beneficio dalle misure ambientali dell'UE: instaurare la fiducia migliorando le conoscenze e rafforzando la capacità di risposta**, relativa ad una migliore applicazione della normativa ambientale che consenta ai governi ed alle parti interessate di collaborare attraverso un approccio sistematico per la raccolta e lo scambio delle conoscenze ed una maggiore capacità di risposta ai problemi ambientali effettivi o potenziali. La comunicazione sarà presentata al Parlamento europeo, agli Stati membri ed agli attori interessati alla attuazione della normativa ambientale UE;
 - l'adozione, in data **12 marzo**, di una nuova proposta sulla **contabilizzazione delle emissioni dei gas a effetto serra**, con cui la Commissione compie un primo passo per integrare gli assorbimenti e le emissioni delle foreste e dell'agricoltura nella politica climatica dell'UE. La proposta sarà presentata al Parlamento europeo e al Consiglio nell'ambito della procedura legislativa ordinaria.
 - la presentazione, in data **14 marzo**, del **Common Strategic Framework (CSF)** che ha l'obiettivo di aiutare a definire le priorità di investimento per il prossimo periodo di pianificazione finanziaria 2014-2020 negli Stati membri e nelle loro regioni e di consentire una migliore combinazione di diversi fondi per massimizzare l'impatto degli investimenti dell'UE. Il CSF sarà adottato in forma definitiva dopo che il pacchetto legislativo sui fondi della politica di coesione per il prossimo quadro finanziario pluriennale sarà stato approvato dal Parlamento europeo e dal Consiglio;
 - la proposta del **21 marzo** di migliorare le opportunità commerciali per le imprese dell'UE sui **mercati degli appalti** attraverso una serie di misure le quali assicurino che tutte le imprese (europee e non) possano competere paritariamente per aggiudicarsi contratti sul mercato internazionale degli appalti pubblici;
 - l'invito, in data **22 marzo**, della Commissione all'Italia a **ricepire correttamente la direttiva quadro sulle acque**, entrata in vigore nel 2000, che costituisce la base per la gestione e la protezione delle acque europee. Tale direttiva impone agli Stati membri di creare e mantenere "piani di gestione dei bacini idrografici" indicanti le modalità precise per conseguire entro un lasso di tempo concordato gli obiettivi ecologici, quantitativi e chimici fissati per i bacini idrografici. Sebbene l'Italia abbia recepito la direttiva, la Commissione ha evidenziato diverse lacune e problemi di conformità.
 - il lancio, in data **23 marzo**, della **Piattaforma europea sull'adattamento ai cambiamenti climatici (CLIMATE-ADAPT)**, uno strumento web interattivo sull'adattamento ai cambiamenti climatici disponibile online sul sito dell'Agenzia europea per l'ambiente (EEA) di Copenhagen. La piattaforma contribuirà alla formulazione di una strategia UE organica di adattamento ai cambiamenti climatici che la Commissione intende presentare all'inizio del 2013 con l'obiettivo di coadiuvare gli Stati membri, le organizzazioni transnazionali e gli operatori locali con adeguate azioni a livello di UE.
- Tra le **consultazioni pubbliche** avviate nell'ultimo periodo dalla CE, occorre menzionare quella aperta dal **15 marzo** al 7 giugno, che riguarda le azioni più appropriate per migliorare la gestione e la salvaguardia delle risorse idriche in Europa: tale consultazione aiuterà a formulare le proposte politiche per il **Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources**, previsto per la fine del 2012, che valuterà l'efficacia e le carenze della politica europea dell'acqua. Il **26 marzo** è stata lanciata la consultazione, aperta fino al 15 maggio, in materia di ricerca sulle **Future Network**

Technologies che saranno incluse principalmente nel pilastro "leadership industriale" del programma Horizon 2020 con l'obiettivo di rendere l'Europa un luogo più attraente per gli investimenti in ricerca e innovazione, attraverso la promozione di attività in cui le imprese siano centrali. La consultazione del **30 marzo** riguarda il **7th EU Environmental Action Programme** (7th EAP) che fisserà gli obiettivi prioritari da perseguire fino al 2020. Tale consultazione si chiude il 1° giugno ed i risultati insieme con il parere del Consiglio e del Parlamento europeo, del Comitato delle regioni e del Comitato economico e sociale europeo guideranno la Commissione nel processo di elaborazione della proposta del 7° programma d'azione per l'ambiente, che sarà presentata entro fine anno. Un'ultima consultazione, aperta dal **12 aprile** al 12 luglio, è quella relativa alle regole per i dispositivi intelligenti connessi (**Internet of Things-IoT**) intesi come oggetti di uso quotidiano collegati ad internet con una connessione senza fili tramite chip intelligenti. La Commissione mira a elaborare un quadro per sfruttare le potenzialità dell'IoT, una delle priorità dell'Agenda digitale europea, in termini di benefici economici e sociali e richiede osservazioni e commenti sulla sicurezza, le questioni etiche, l'interoperabilità, la *governance* e gli standard. I risultati confluiranno nella raccomandazione sull'IoT che la Commissione presenterà entro l'estate 2013.

Parlamento e Consiglio Europeo

Il **28 marzo**, il Consiglio e il Parlamento europeo hanno raggiunto un accordo informale per la **nuova Direttiva Seveso (Seveso III)** che entrerà in vigore il 1 giugno 2015. Tale direttiva, che riguarda circa 10 mila impianti europei a rischio di incidente rilevante, introduce una nuova classificazione delle sostanze pericolose, ridefinisce le modalità di accesso alle informazioni da parte del pubblico, stabilisce le regole per garantire la partecipazione del pubblico ai processi decisionali e per assicurare i diritti dei cittadini per l'accesso alla giustizia in materia ambientale in caso di controversie, e stabilisce un nuovo sistema di regole per le ispezioni agli impianti.

(Valerio Abbadessa)



Energia

Il Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto con i Ministri dell'Ambiente e dell'Agricoltura, ha emanato due schemi di decreti ministeriali in materia di energie rinnovabili. I due provvedimenti, all'esame dell'Autorità dell'Energia e della Conferenza Stato-Regioni, definiscono i nuovi incentivi per l'energia solare fotovoltaica (Quinto Conto Energia) e per le rinnovabili elettriche non fotovoltaiche (idroelettrico, geotermico, eolico, biomasse, biogas). Le principali finalità sono di raggiungere e superare gli obiettivi europei delle energie rinnovabili fissati per il 2020 attraverso una crescita virtuosa, basata su un sistema di incentivazione equilibrato e vantaggioso per il sistema Paese, tale da ridurre l'impatto sulle bollette di cittadini e imprese e da allineare gli incentivi ai livelli europei. Il sistema entrerà in vigore al superamento della soglia di 6 miliardi di incentivi per il fotovoltaico e l'1 gennaio 2013 per il non fotovoltaico. Viene inoltre introdotto un sistema di controllo e governo dei volumi installati e della relativa spesa complessiva, tramite un meccanismo di aste competitive per i grandi impianti (superiori a 5 MW) e registri di prenotazione per gli impianti di taglia medio-piccola.

È stato pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* del 2 aprile il decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 15 marzo 2012 "Definizione e qualificazione degli obiettivi regionali in materia di fonti rinnovabili e definizione della modalità di gestione dei casi di mancato raggiungimento degli obiettivi da parte delle Regioni e delle Province Autonome (c.d. Burden Sharing)".

La Camera dei deputati, ad aprile, ha approvato il decreto-legge 21/2012 "Norme in materia di poteri speciali sugli assetti societari nei settori della difesa e della sicurezza nazionale, nonché per le attività di rilevanza strategica nei settori dell'energia, dei trasporti e delle comunicazioni", che ha la finalità di chiudere la procedura d'infrazione avviata dalla

Commissione europea contro l'Italia relativamente ad alcune disposizioni della normativa italiana che conferisce poteri speciali allo Stato nelle società privatizzate operanti in settori strategici come le telecomunicazioni e l'energia.

Ricerca

La Commissione Istruzione Senato è impegnata nell'esame della proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce il programma quadro di ricerca e innovazione (2014-2020) - Orizzonte 2020, relativamente al quale la Commissione ha espresso apprezzamento per l'unificazione del finanziamento della ricerca e dell'innovazione in un unico quadro strategico e ha valutato rilevante la semplificazione delle procedure di finanziamento nonché l'adozione di criteri trasparenti e condivisibili di valutazione delle proposte. È stato sottolineato che il progetto ITER non è inserito nel programma, ma sarà oggetto di una decisione a parte.

Azioni per la crescita

Nel mese di marzo il Parlamento ha approvato in via definitiva il "Decreto Liberalizzazioni", pubblicato nella G.U. del 24 marzo (Legge 24 marzo 2012, n. 27 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1, recante disposizioni urgenti per la concorrenza, lo sviluppo delle infrastrutture e la competitività). Anche il cosiddetto "Decreto Semplificazioni" ha concluso l'iter parlamentare ed è stato pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* del 6 aprile (testo del decreto-legge 9 febbraio 2012, n. 5, coordinato con la legge di conversione 4 aprile 2012, n. 35, recante: "Disposizioni urgenti in materia di semplificazione e di sviluppo").

Attualmente è all'attenzione del Parlamento il decreto-legge 2 marzo 2012, n. 16, recante "Disposizioni urgenti in materia di semplificazioni tributarie, di efficientamento e potenziamento delle procedure di accertamento" che introduce disposizioni finalizzate a rafforzare l'azione nel campo della semplificazione della normativa tributaria, del controllo mirato degli illeciti e della lotta all'evasione. Tra le misure previste si segnalano quelle volte a: semplificare gli adempimenti per gli esercenti le offi-

cine di produzione elettrica utilizzata per uso proprio, azionate da fonti rinnovabili; facilitare imprese e contribuenti, prevedendo che per gli impianti azionati da fonti rinnovabili con potenza disponibile non superiore a 100 kW si possa corrispondere l'imposta mediante canone di abbonamento annuale; disciplinare tramite apposito decreto le modalità di certificazione dell'utilizzo dei contributi statali, a valere sul Fondo per la tutela dell'ambiente e la promozione dello sviluppo del territorio, per interventi realizzati dagli enti nei rispettivi territori per il risanamento e il recupero dell'ambiente e lo sviluppo economico.

Politiche europee

Le Commissioni parlamentari hanno iniziato l'esame della "Legge Comunitaria 2012". Si segnala la Direttiva 2011/70/Euratom recante "Istituzione di un quadro comunitario per la gestione responsabile e sicura del combustibile nucleare esaurito e dei rifiuti radioattivi", il cui termine di recepimento è il 23 agosto 2012. Si tratta di una direttiva che, nell'istituire un quadro normativo comunitario per la gestione responsabile e sicura del combustibile nucleare esaurito e dei rifiuti radioattivi, prevede l'adozione di provvedimenti nazionali volti a garantire un elevato livello di sicurezza nella gestione di tali materiali, al fine di proteggere i lavoratori e la popolazione dai pericoli derivanti dalle radiazioni. L'ambito di applicazione della direttiva riguarda tutte le fasi della gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi, dalla generazione allo smaltimento e stabilisce precise responsabilità per lo Stato membro circa la gestione dei materiali generati nel proprio territorio. La direttiva stabilisce inoltre che gli Stati membri istituiscano e mantengano un quadro legislativo, regolamentare ed organizzativo nazionale per la gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi, che attribuisca responsabilità e preveda il coordinamento tra gli organismi statali competenti.

(Laura Migliorini)



In questi mesi sui giornali si discute diffusamente dei temi economici: non solo dei problemi del bilancio pubblico ma anche dei provvedimenti che assicurino la ripresa. Di seguito un panorama dei temi energetici, ambientali e della ricerca che hanno trovato un'eco sugli organi di stampa.

Rinnovabili

Circolano le prime bozze del provvedimento che cambierà il sistema degli incentivi pubblici al fotovoltaico. I quotidiani registrano l'incertezza e la preoccupazione di produttori e installatori del settore. Si prospetta un'inversione di tendenza rispetto ai precedenti incentivi che hanno avvantaggiato l'energia rinnovabile elettrica; ora dovrebbero essere potenziati gli incentivi al settore termico e quelli volti all'efficienza energetica. Si inizia a discutere anche della nuova direttiva sull'efficienza energetica che sarà emanata dalla Commissione europea la prossima estate e che prevede obiettivi vincolanti su riduzione dei consumi e rinnovamento degli edifici pubblici, meno deroghe per la cogenerazione, trasparenza nei confronti dei consumatori, audit energetici obbligatori per le grandi imprese.

Novità anche per chi vuole vendere o affittare una casa; dall'1 gennaio 2012 dovrà farsi rilasciare, da un tecnico abilitato, l'Attestato di Certificazione Energetica (ACE).

Nucleare

Ad un anno dalla tragedia di Fukushima le pagine dei giornali sono piene

di bilanci e di reportage, in particolare ci si ferma a riflettere sulle conseguenze che questo evento ha avuto nel mondo rispetto alle prospettive di espansione dell'energia nucleare. Il 26 e 27 marzo si è svolto a Seul il secondo Summit sulla sicurezza nucleare. Si è discusso di riduzione delle testate nucleari, contro proliferazione e anti-terrorismo, sicurezza delle centrali e dello smaltimento dei loro rifiuti; non si è giunti però neppure all'abbozzo di un accordo internazionale vincolante in materia di sicurezza nucleare, simile al Trattato di Non Proliferazione (TNP).

Ricerca

Due le iniziative rilevanti: il bando PRIN 2010 (Programmi di Ricerca di Interesse Nazionale) che dovrebbe distribuire un finanziamento di 175 milioni di euro alla ricerca di base, e il nuovo sistema di Valutazione della Qualità della Ricerca, in procinto di partire sotto la guida dell'ANVUR (Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca). Intanto il decreto semplificazioni ha abolito il fondo per i giovani ricercatori creato nel 2007, che dovrà essere riformulato. Essendo i fondi per la ricerca nazionale sempre più ridotti, maggiori opportunità saranno cercate in Europa; il prossimo programma europeo della ricerca "HORIZON 2020" stanzerà 80 miliardi dal 2014 al 2020. Il Ministero della Ricerca ha intanto reso noti i dati sulla partecipazione dell'Italia al VII Programma Quadro ancora in corso: l'Italia ha finora contribuito con il 13,4% degli stanziamenti complessivi UE, ma i finanziamenti ricevuti dai progetti italiani sono stati l'8,5%, con un disavanzo di 500 milioni di euro/anno.

Luigi Nicolais e Stefano Gresta sono i nuovi presidenti rispettivamente di

CNR e INGV. Si è parlato molto anche della "beffa" dei neutrini superveloci: sembra che un cavo collegato male abbia falsato il test. Il premio Nobel Carlo Rubbia con l'esperimento Icarus mette fine alle polemiche. La teoria della relatività di Einstein, dunque, è ancora valida.

Dibattito aperto tra il ministro Clini e le associazioni ambientaliste circa l'opportunità dell'uso degli OGM in agricoltura, con interventi di chi è contrario (ad esempio il ministro dell'Agricoltura, Mario Catania) e di chi è a favore.

Ambiente

Continua il braccio di ferro tra il ministro dell'Ambiente Clini e il sindaco di Napoli De Magistris sui rifiuti in Campania, il ministro insiste sulla necessità di rispettare la normativa europea che prevede il riutilizzo dei rifiuti, il riciclaggio, il recupero di energia. Il sindaco partenopeo è contrario ai termovalorizzatori a Napoli. Il problema rifiuti investe anche il Lazio, le discariche provvisorie ancora non ci sono, né sono stati scelti i siti; la discarica romana di Malagrotta, di cui è prevista la chiusura, continua ad operare in proroga, e anche la Capitale teme lo spettro dei rifiuti in strada.

In occasione della ricorrenza (6 aprile) del terremoto a L'Aquila, si è tornati a parlare di rischio sismico ed idrogeologico; Clini interviene per dire che il Ministero sta lavorando per redigere un Piano nazionale per la sicurezza del territorio.

Clini interviene anche sulla questione TAV difendendone il progetto in quanto "renderà l'Italia integrata in una rete europea e ne faciliterà la mobilità e la comunicazione".

(Laura Di Pietro)

1 2 3 4
5 6 7 8
9 10 11

Calendario eventi

■ FORUM ON SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Il Forum darà spazio a discussioni scientifiche interdisciplinari e dialoghi tra scienziati, politici e altri interessati. Messaggi e conclusioni saranno riportati alla Conferenza Rio+20.

11-15, giugno, Rio de Janeiro, Brasile

<http://www.icsu.org/events/ICSU%20Events/forum-on-science-technology-and-innovation-for-sustainable-development>

■ ICLEI - 2012 WORLD CONGRESS

Fra i temi affrontati nel Congresso, la *green economy* urbana, i cittadini e le città che cambiano, la sicurezza alimentare e il modo in cui i Comuni possono integrare la tutela della biodiversità nella politica comunale.

14-18 giugno, 2012, Belo Horizonte, Brasile

<http://worldcongress2012.iclei.org>

■ G20 SUMMIT 2012

Il Summit delle 20 economie più grandi del mondo discuterà di riforme strutturali per la crescita e l'occupazione, rafforzamento dei sistemi finanziari, di mitigazione degli effetti negativi dell'instabilità dei prezzi dei beni, in particolare di quelli che influenzano la sicurezza alimentare, di sviluppo sostenibile con focus sulle infrastrutture, l'efficienza energetica, la crescita verde e il finanziamento della lotta al cambiamento climatico.

18-19 giugno, Los Cabos, Messico

<http://www.g20.org/index.aspx>

■ UN CONFERENCE ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT – Rio+20 (UNCSD)

Il meeting, promosso dalla Conferenza su Ambiente e Sviluppo dell'ONU, sarà centrata sulla "green economy". Sarà ricercata la più alta partecipazione per raggiungere un accordo globale su obiettivi ed azioni da realizzare per arrivare a una "green economy" per lo sviluppo sostenibile e l'eradicazione della povertà.

20-22 giugno, 2012, Rio de Janeiro, Brasile

<http://www.uncsd2012.org/>

■ 100% RENEWABLE ENERGY Second Conference and Exhibition

La Conferenza, organizzata da EUROSOLAR Turchia, sezione turca della European Association for Renewable Energies, servirà come piattaforma internazionale per discutere gli aspetti tecnici, economici e politici della transizione verso una società ed un'economia con il 100% di energia rinnovabile. Gli argomenti trattati andranno dalle tecnologie produttive alle tecnologie di distribuzione (smart grids), dall'efficienza energetica alle politiche energetiche, dall'autosufficienza locale ai modelli di investimento per supportare lo sviluppo delle fonti rinnovabili, senza tralasciare le strategie di mitigazione and adattamento al cambiamento climatico.

28-30 giugno, Istanbul, Turchia

<http://www.irene2012.com>

■ RAMSAR CONVENTION CONFERENCE: COP 11

È l'11° meeting delle parti contraenti (COP 11) della "Convenzione internazionale relativa alle zone umide di importanza internazionale, soprattutto come habitat degli uccelli acquatici", chiamata Convenzione di Ramsar dalla località iraniana in cui fu firmata nel 1971. Sarà dedicata una speciale attenzione agli aspetti turistici e ricreativi delle zone umide.

6-13 luglio, Bucarest, Romania

http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-cops-cop11/main/ramsar/1-31-58-500_4000_0__

(Giuliano Ghisu)

**energia
ambiente
e innovazione**

bimestrale dell'ENEA
anno 58
marzo - aprile 2012