

ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE

ANNO 52

MAGGIO-GIUGNO 2006

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

Finito di stampare nel mese di giugno 2006

Direttore responsabile Sergio Ferrari

Comitato di redazione Maria Antonietta Biancifiori, Fausto Borrelli, Vincenzo Di Majo, Marco Martini, Antonio Nobili, Vito Pignatelli, Emilio Santoro, Franco Vivoli

Redattore capo Alida La Croce

Redazione Giuliano Ghisu

Collaboratori Daniela Bertuzzi, Gabriella Martini, Paolo Monaci, Elisabetta Pasta

Responsabile editoriale Diana Savelli

Redazione ENEA

Lungotevere Thaon di Revel 76, 00196 Roma, Tel. 06-36272401, Fax 06-36272720
E-mail/lacroced@sede.enea.it, Sito web/www.enea.it

Progetto grafico Bruno Giovannetti
Ada Cerrato, Nicoletta Troncon

In copertina Leonardo Da Vinci "Dispositivo per la separazione dei fogli"

Stampa Tipografia Primaprint, Via dell'Industria n. 71, 01100 Viterbo

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

Pubblicità Primaprint srl

Abbonamento annuale Italia € 21,00, Estero € 21,00; una copia € 4,20
C.C.P. n. 59829580 intestato a Primaprint srl
Via dell'Industria, 71 - 01100 Viterbo - Tel. 0761-353676 - Fax 0761-270097
e-mail: info@primaprint.it

www.enea.it

ENEA

www.enea.it

4

UMBERTO COLOMBO*Giuseppe Lanzavecchia*

Il professor Umberto Colombo, uomo di scienza, di cultura, di imprese e di istituzioni, presidente dell'ENEA per quindici anni e quindi ministro della Ricerca nel biennio 1993-94, è venuto a mancare il 13 maggio

Umberto Colombo a man of a science private enterprise and public institution who served as president of ENEA for fifteen years and as minister of Research in 1993-94 died on May 13th

PRIMO PIANO

9

LO SVILUPPO DELLE RINNOVABILI: UNA OPPORTUNITÀ PER IL SISTEMA DEL PAESE
DEVELOPING RENEWABLES: AN OPPORTUNITY FOR ITALY'S ECONOMY*Carlo Manna*

L'impegno programmatico per lo sviluppo delle fonti rinnovabili è un'occasione strategica di crescita industriale soprattutto se si interviene nei settori ad alta innovazione tecnologica

Increasing the nation's use of renewable energy sources, together with many other actions aimed at both the supply and demand sides, is part of the diversification policy that Italy needs if it is to deal rationally with the uncertain energy market in the coming decades

SPAZIO APERTO

31

STRATEGIA EUROPEA PER I BIOCARBURANTI
THE EU'S BIOFUEL STRATEGY*Commissione Europea*

L'Unione Europea sostiene i biocarburanti con l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra, diversificare le fonti di approvvigionamento, offrire importanti opportunità di guadagno alle zone rurali e sviluppare sostituti a lungo termine per il petrolio. Pubblichiamo ampi stralci della recente Comunicazione, COM(2006)34 def., che illustra la strategia adottata dalla Commissione

The EU is supporting biofuels, with the aim of reducing greenhouse-gas emission, encouraging the decarbonisation of fuels used in transportation, diversifying energy procurement, offering new earning opportunities in rural areas, and developing long-term replacements for oil. We publish lengthy excerpts from the recent Communication, COM(2006) 34 def. which describes the strategy adopted by the Commission

40

LA DIMENSIONE ETICA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI
THE ETHICAL DIMENSION OF CLIMATE CHANGE*Vincenzo Ferrara*

Etica dei cambiamenti climatici ed equità nell'attuazione del protocollo di Kyoto, sono i cardini attorno ai quali il processo negoziale può essere rilanciato o può definitivamente bloccarsi

The ethical dimension of climate change and the problem of fairness in implementing the Kyoto Protocol and the post-Kyoto phase have become the hinge around which the negotiating process can be relaunched or definitively blocked

STUDI & RICERCHE

48

SOLARE A CONCENTRAZIONE: R&S SUL TUBO RICEVITORE
CONCENTRATING SOLAR POWER: TUBE RECEIVER'S R&D*Antonio De Luca, Alessandro Antonaia*

L'efficienza della tecnologia solare a collettori parabolici lineari sviluppata da ENEA dipende dall'efficienza ottica del collettore e dalla capacità del tubo ricevitore di assorbire l'energia concentrata dagli specchi parabolici. Nei Centri ENEA di Casaccia e Portici, in collaborazione con alcune aziende italiane, si stanno sviluppando soluzioni innovative per favorire la produzione industriale di un tubo ricevitore ad alta efficienza, per temperature di esercizio di 580 °C

The ENEA's technology on parabolic trough depends on the optical efficiency of the collector and on the tube receiver's capacity to absorb the energy concentrated by the parabolic mirrors. Innovative solutions are being developed at ENEA's Casaccia and Portici Centres, in collaboration with Italian companies, with the aim of encouraging industrial production of high-efficiency receiver tubes that can operate at temperature as high as 580 °C

58

CICLI TERMOCHIMICI DI IDROLISI PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO THERMOCHEMICAL WATER-SPLITTING CYCLES FOR THE PRODUCTION OF HYDROGEN

Alberto Giaconia, Pietro Tarquini, Mauro Vignolini

L'applicazione intensiva dell'idrogeno come vettore energetico porta in primo piano i processi di produzione alimentati da fonti energetiche rinnovabili e alternative. Tra i processi più promettenti, i cicli termochimici di idrolisi costituiscono una risposta sostenibile per la produzione di idrogeno da acqua

The future intensive application of hydrogen as an energy vector requires evaluating all possible conversion processes for its production. This article analyses the processes currently used and the most promising ones now under development. Among the latter are thermochemical water-splitting cycles, driven by renewable and alternative energy sources, that may prove to be a sustainable route to produce hydrogen from water

75

FATTORI DI SUSCETTIBILITÀ NELLO SVILUPPO DEI TUMORI CUTANEI MURINI SUSCEPTIBILITY FACTORS IN THE DEVELOPMENT OF MURINE SKIN TUMOURS

Mariateresa Mancuso, Simona Leonardi, Anna Saran

Il carcinoma a cellule basali (BCC) è il più comune tumore maligno umano e rappresenta un problema sanitario rilevante. I principali fattori di rischio identificati nello sviluppo del BCC sono l'esposizione solare, alcuni cancerogeni chimici e le radiazioni ionizzanti. L'ENEA ha una tradizione consolidata nel campo della radiobiologia, ed ha tra i suoi obiettivi quello di studiare i meccanismi molecolari dell'oncogenesi da radiazioni ionizzanti

Basal cell carcinoma (BCC) is the most common malignant human tumour, and accounts for around 75% of all skin tumours. Although BCC tends not to metastasize and the mortality level associated with it is very low, it is invasive at the local level. The major risk factors identified in its development are exposure to the sun (UVB rays), certain chemical carcinogens, and ionising radiation. ENEA has a long tradition in the field of radiobiology, and one of its tasks is to study the molecular mechanisms of oncogenesis caused by ionising radiation

84

KAPP E MC LUHAN: "HOMO TECHNICUS" E "SPOSA MECCANICA"(I) KAPP AND MC LUHAN: "HOMO TECHNICUS" AND "THE MECHANICAL BRIDE"

A cura di Fausto Borrelli

Dalla tecnica di Ernst Kapp come "proiezione esterna" degli organi somatici ai "media" di Marshall Mc Luhan come estensioni del corpo umano, passando un attimo da Marx

From Ernst Kapp's technics as an "external projection" of our bodily organs to Marshall McLuhan's media as extensions of the human body, stopping for a look at Marx

SCIENZA, TECNICA, STORIA & SOCIETÀ

91

CRONACHE

- dal Mondo
 - Vent'anni fa Chernobyl 89
 - Il programma energetico cinese 89
 - Per combattere il cambiamento climatico 89
- dall'Unione Europea
 - Siglato a Bruxelles l'accordo ITER 90
 - Inquinamento atmosferico urbano 90
 - Riutilizzo di acque reflue per PMI tessili 90
- dall'Italia
 - In vigore il Codice Ambientale 91
 - Pirelli ed ENEA per energia e sviluppo sostenibile 91
 - ENEL: nuovo impianto eolico in Sicilia 91
- dall'ENEA
 - Collaborazione scientifica con la Cina 92
 - Telefonate via internet per la PA 92
 - Progetti internazionali per PMI 92
- Incontri
 - Ricerca e impresa per rilanciare la competitività 93
 - Sviluppo socio-economico e tutela dell'ambiente 93
 - ENEA per l'agroindustria e i biocombustibili 94-95
- Lettere
 - Quale energia? 96
 - Kyoto e dintorni 96

UMBERTO COLOMBO

di Giuseppe Lanzavecchia

Docente di Sociologia della Scienza, Università di Urbino

Il professor Umberto Colombo, uomo di scienza, di cultura, di imprese e di istituzioni, presidente del nostro Ente per quindici anni e quindi ministro della Ricerca nel biennio 1993-94, è venuto a mancare il 13 maggio. Pubblichiamo un ricordo del professor Giuseppe Lanzavecchia, suo amico e collaboratore anche nel periodo della presidenza ENEA.

Quando Alida La Croce m'ha chiesto se potevo ricordare Umberto Colombo sulla rivista dell'ENEA ho risposto subito affermativamente.

Sono stato infatti suo amico per lunghissimo tempo, ho lavorato con lui per mezzo secolo, sono arrivato a Roma nel 1979 per condividere con Umberto la sfida dell'energia e del nucleare, ho scritto inoltre su "Energia, Ambiente e Innovazione" parecchi articoli, e tutti sanno che Colombo teneva assai a questa rivista, testimonianza del lavoro e della capacità dell'Ente. Colombo ha vissuto intensamente il quindi-



cennio passato alla guida dell'ENEA ed è giustamente noto, soprattutto in Italia, come l'uomo dell'energia, della quale s'è infatti occupato di tutti gli aspetti tecnici e organizzativi e soprattutto del ruolo strategico che essa assume per l'economia di un paese. Ma non si deve scordare che Colombo è un chimico, che inoltre s'è occupato di moltissimi altri problemi, oltre alla chimica e all'energia, e che è stato un uomo assai più conosciuto sul piano internazionale che non in Italia.

Vorrei allora, in primo luogo, ricordare in pochi tratti questi aspetti rilevanti della sua multiforme attività. Umberto Colombo aveva una forte base teorica che arricchì, in modo straordinario, nei campi più disparati delle scienze, naturali e umane, e della cultura nel senso più ampio. Egli ha cominciato il suo lavoro con la ricer-

ca chimica e ha fatto e diretto un gran numero di ricerche relative, ad esempio, al petrolio (la sua origine e le tecniche di individuazione e sfruttamento, per le quali ottenne, giovanissimo, il prestigioso premio Schlumberger), alle piriti, al biossido di titanio, attività che coinvolsero spesso anche decine e centinaia di ricercatori e richiesero collaborazioni internazionali.

In queste attività Colombo ha sempre avuto una concezione etica del lavoro che gli veniva dal suo essere, senza che rispondesse a impostazioni ideologiche dalle quali anzi rifuggiva. Ad esempio, nella seconda metà degli anni '50 la scoperta e lo sfruttamento nel mondo di nuovi e agevoli giacimenti di zolfo rese antieconomico l'ottenimento dell'acido solforico da pirite, mettendo in crisi, in Italia, le miniere della Maremma. La prospettiva era di chiuderle, con gli stabilimenti per l'ottenimento dell'acido, creando migliaia di disoccupati.

Egli realizzò un processo che ribaltava la concezione tradizionale di considerare la pirite un minerale di zolfo, per farla diventare uno di ferro con l'ottenimento di ossido di ferro in pellet, un minerale siderurgico ottimale, lasciando lo zolfo come sottoprodotto. La reazione esotermica consentì inoltre di sfruttare il calore del processo per alimentare una centrale elettrica. I problemi tecnici e scientifici da superare furono notevoli, ma è interessante rimarcare che tale ricerca ha consentito di affrontare un grosso problema sociale: il lavoro per tante persone e la difesa dell'economia locale di un comprensorio territoriale.

Le sue idee sulla chimica e sull'industria relativa sono espresse sinteticamente nell'ultimo lavoro, che abbiamo cofirmato e che è uscito all'inizio di quest'anno (U. Colombo e G. Lanzavecchia "Luci e ombre della ricerca chimica in Italia" in "L'industria chimica italiana nel novecento" a cura di G.J. Pizzorni, Franco Angeli 2006), ove è espressa l'idea di cosa sia, per noi, l'industria chimica, del ruolo che vi hanno l'imprenditoria, la ricerca e la strategia, del perché dell'insuccesso della chimica italiana e, infine, di cosa sarà l'industria chimica domani.

Egli, come ho ricordato, era assai più noto e apprezzato all'estero che non in Italia. Da pochi anni laureato, vinse una borsa di studio post-dottorale al MIT (1953-4) che portò a un'importante pubblicazione. E' stato Presidente del Comitato per la Politica Scientifica e Tecnologica dell'OCSE (1972-6) ove, tra i diversi temi che ha affrontato, ricordo lo studio delle politiche di ricerca sull'energia e sui materiali. E' stato presidente della European Industrial Research Management Association (EIRMA) (1977-9); presidente del CERD (Comité Européen pour la Recherche et le Développement) in seno CEE (1980-2); presidente del CODEST (Comité pour le Développement Européen de la Science et de la Technologie) (1983-7); presidente dell'Advisory Committee on Science and Technology for Development delle

Nazioni Unite (1984-6); presidente della XXXI Conferenza Generale dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica delle Nazioni Unite, Vienna (1987-88); vice presidente del Comitato Consultivo dello IASA (International Institute for Applied Systems Analysis) (1988-92); membro del Consiglio dell'Università delle Nazioni Unite di Tokyo (1985-91); relatore generale della VII Scientific and Parliamentary Conference del Consiglio d'Europa, Ottawa, 1990.

È stato inoltre membro di numerosi comitati e gruppi di studio tra cui il Gaja Institute di Oegstgeest, la Science Policy Foundation di Londra, il Wissenschaftszentrum di Berlino, la Technova di Tokyo, lo Stockholm Environment Institute.

Membro del China Council for International Cooperation on Environment and Development. Nel giugno 1984 è stato nominato "Honorary Trustee" dell'Aspen Institute for Humanistic Studies. È stato membro del Board of Governors dell'International Development Research Centre del Canada (1985-91).

Vorrei ancora ricordare che, a cavallo tra il 1982 e il 1983, fu presidente dell'ENI. È stato anche presidente della European Science Foundation a Strasburgo (1991-3). Libero Docente in Chimica Applicata è stato professore di questa disciplina presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Genova (1965-72).

Anche se una parte consistente dei suoi interventi sono testi preziosi di conferenze non pubblicate, Umberto Colombo ha al suo attivo oltre duecento lavori scientifici, ed è stato coautore ed editore di numerosi volumi di geochimica, di scienza dei materiali e sulle risorse materiali ed energetiche; tra questi - caratteristico dei suoi interessi i più diversi - ricordo "Reducing Malnutrition in Developing Countries: Increasing Rice Production in South and South East Asia" un rapporto per la Trilateral Commission (1978), scritto quando si prospettavano fame e centinaia di milioni di morti in quelle regioni, mentre le nuove soluzioni tecniche (dall'irrigazione ai nuovi ibridi della "Green revolution") hanno ribaltato la situazione drammatica.

Egli ha inoltre contribuito a diversi volumi di politica scientifica e tecnologica: dei tanti ne ricordo appena uno, che ha avuto un notevole successo pratico, "R, D&D to Promote European Industry. A Report to the Commission of the European Communities" (1982).

Quando è arrivato al CNEN aveva già un vistoso bagaglio di esperienze nel settore dell'energia. Egli infatti, come responsabile delle strategie della Montedison, aveva giustamente individuato nell'energia, ancor prima della prima crisi energetica del 1973, il problema di fondo dell'industria chimica e in particolare petrolchimica, ma più in generale per il paese e per il mondo.

Per questo promosse e partecipò a studi sull'energia al più alto livello internazionale.

Innanzitutto uno studio relativo alle ricerche sull'energia, che portò nel 1975 alla pubblicazione di un documento, "Energy R & D", che fece testo in tutti i paesi avanzati. Condusse poi, con il prof. Carrol Wilson del Mit, l'indagine, fondamentale a quell'epoca, "WAES - Energy Global Prospects" pubblicato nel 1977, uno studio rigoroso su tutti gli aspetti della problematica energetica - dalle fonti, alle tecnologie, agli impieghi, alle prospettive - al quale parteciparono i rappresentanti di numerosi paesi. Sempre con Carrol Wilson diresse lo studio "WOCOL", che si concluse quando Colombo era già arrivato al CNEN, e che portò nel 1980 alla pubblicazione del libro "Future Coal Prospects". Vorrei ancora ricordare lo studio strategico "Low Energy Growth 2030 Scenario and the Perspectives for Western Europe" che fu pubblicato nel 1979 come Rapporto per la Comunità Europea. Questo studio, che prendeva in considerazione lo sviluppo dell'intera società e della sua economia, mostrava come fosse possibile concepire condizioni di ricchezza quali quelle previste dagli studi previsionali del tempo, ma con un ricorso all'energia appena metà di quella allora considerata necessaria.

Colombo fu chiamato a presiedere il CNEN nel 1979 avendo quindi una conoscenza della problematica energetica in generale, compresa l'energia nucleare, come nessun altro oggettivamente aveva e - dopo essersi rapidamente reso conto dei punti di forza e di debolezza dell'ente, ricco di un personale tecnicamente ben preparato ma isolato dal contesto delle attività concrete e dei problemi del paese - si dette da fare per dargli un ruolo, degli obiettivi e dei programmi. L'aspetto saliente della sua azione per il CNEN fu di farne il punto focale dell'energia in Italia in una visione strategica globale e coerente, soltanto mediante la quale si sarebbe potuto spingere il paese - in verità riottoso anche se velleitario - ad affrontare la complessa problematica di questa risorsa della quale era carente. L'energia è lo strumento base di ogni economia moderna, che interviene in ogni sua attività produttiva e della vita quotidiana.

Egli comprese che occorreva puntare su un ventaglio differenziato di fonti e sulle varie azioni collegate (il risparmio, la dematerializzazione delle attività, un nuovo modo di produrre, l'attenzione per gli inevitabili aspetti negativi); puntare quindi sulle energie rinnovabili per il domani, ma sostenere anche le grandi energie come il nucleare e il gas per subito e, per i tempi più lunghi, la fusione: solo in questo modo si poteva sperare di avviare programmi seri per le nuove energie che erano, ma purtroppo sono rimaste, sostanzialmente marginali.

Oggi in tutto il mondo si è capito che le rinnovabili, senza un notevole sforzo di innovazione tecnologica e di ricerca di base, non potranno mai rappresentare la soluzione del problema energetico, proprio come Umberto Colombo aveva lucidamente compreso.

Si deve ancora ricordare che Umberto volle la stesura di un chiaro piano energetico per il paese, ma che questo paese non è culturalmente preparato a utilizzare programmi - anche se flessibili ed aperti - basati su serie analisi tecniche ed economiche, ma piuttosto a privilegiare retroterra ideologici.

Nella concezione strategica di Colombo era chiaro che occuparsi d'energia significava anche affrontare i problemi posti dal suo impiego e quindi, in prima istanza, dell'ambiente: dagli aspetti più direttamente legati all'energia, come la scelta dei siti ove installare gli impianti e la definizione delle politiche relative, o il trattamento dei rifiuti ma, più in generale, di come pensare a uno sviluppo dell'economia, che abbisogna inevitabilmente d'energia, rispettoso dell'ambiente in un paese strutturalmente difficile, densamente popolato, ricco di un paesaggio meraviglioso - costruito nei millenni dall'uomo - e di un patrimonio artistico unico al mondo. Era poi ovvio che l'energia, significando appunto sviluppo, comporta nelle società avanzate, delle quali l'Italia fa parte, l'attenzione per le tecnologie più idonee alla cultura e alle caratteristiche della sua gente, delle sue tradizioni, del suo territorio. Nacque così l'ENEA, un ente che avrebbe potuto e dovuto condurre, attorno all'energia, questo sviluppo.

Ma il paese era ed è oggettivamente impreparato a portare avanti programmi strategici di largo respiro e così il "diavolo", che prima o poi mette la sua coda in ogni evento, distrusse con Chernobyl la prospettiva portante dell'ente, vanificando anche, nel contempo, le illusioni di chi riteneva che si potesse rinunciare al nucleare per spingere ancora di più le rinnovabili o di chi si illudeva di attuare una forte politica ambientale che ha poco senso senza un contemporaneo forte sviluppo dell'economia ma si riduce a ideologia, a slogan, a regolette come quelle relative al cosiddetto "principio di precauzione".

Di queste cose, delle occasioni perdute, del paese in continuo arretramento, discutevamo negli ultimi tempi della sua vita, con la speranza che la situazione sempre più difficile avrebbe alla fine "costretto" la gente di questo paese a rimboccarci le maniche, a fare, buttando a mare le posizioni, qualsiasi siano, meramente ideologiche e senza costrutto.

E' l'augurio che mi sento di fare nel ricordo del suo pensiero.

Lo sviluppo delle rinnovabili: una opportunità per il sistema Paese

CARLO MANNA

ENEA
Agenzia
per lo Sviluppo Sostenibile,
Unità Advisor

primo piano

L'impegno programmatico per lo sviluppo delle fonti rinnovabili è un'occasione strategica di crescita industriale soprattutto se si interviene nei settori ad alta innovazione tecnologica

Developing renewables: an opportunity for Italy's economy

Increasing the nation's use of renewable energy sources, together with many other actions aimed at both the supply and demand sides, is part of the diversification policy that Italy needs if it is to deal rationally with the uncertain energy market in the coming decades. Above all, a firm programmatic commitment to develop renewables by creating whole new industrial sectors will open up large opportunities for industrial growth. The more that the new actions address sectors with high technological-innovation rates, the more strategic this growth will be

La significativa concentrazione del sistema ricerca nell'area della Regione Lazio rappresenta un elemento che, interagendo con il tessuto del sistema produttivo e della Pubblica Amministrazione, può concorrere a creare nuove opportunità di sviluppo per il sistema Regione.

In tale prospettiva, il 17 maggio, presso la sede di Roma dell'ENEA si è svolto il workshop "ENEA per la tecnologia, il sistema produttivo e il territorio" che ha affrontato queste problematiche esplorando le condizioni necessarie per il decollo di iniziative comuni e prefigurando le opportunità concrete che da questo possono nascere.

Il documento che qui pubblichiamo è una sintesi di quello che ha aperto il dibattito al quale hanno portato il loro contributo autorevoli esponenti dell'Industria, dell'Università e della Pubblica Amministrazione.

un nuovo modello di produzione e di uso sostenibile dell'energia

L'Unione Europea identifica nell'efficienza del sistema energetico e nel suo sviluppo tecnologico il principale punto di snodo per lo sviluppo di un'economia ambientalmente sostenibile. Mentre la sfida dei cambiamenti climatici e la crisi degli approvvigionamenti di combustibili fossili spostano i limiti della convenienza economica delle fonti di energia e impongono una sempre maggiore attenzione a tutti quei costi che ricadono sulla collettività in termini di danno sulla salute dell'uomo e sull'ambiente, lo sviluppo tecnologico risponde all'esigenza di incrementare l'efficienza e la compatibilità ambientale dei sistemi di produzione, di accrescere i livelli di utilizzazione delle fonti residuali e di aprire ulteriori e più efficienti modalità di utilizzo delle nuove fonti di energia. D'altra parte i processi in atto di trasformazione dell'attuale sistema energetico comportano un avvicinamento tra i luoghi di produzione a quelli di utilizzo dell'energia con l'obiettivo di creare modelli territoriali innovativi di integrazione tra produzione e sistema energetico. All'interno di questa logica assume un particolare significato la diffusione di tecnologie finalizzate alla valorizzazione energetica delle risorse del territorio, prime tra tutte quelle per l'utilizzo delle fonti rinnovabili, e il loro consolidamento all'interno del sistema nazionale della produzione e dei servizi attraverso la creazione di nuove filiere industriali.

L'incremento del ricorso alle fonti rinnovabili di energia rientra, insieme a molte altre azioni sul lato dell'offerta e della domanda, in una politica di diversificazione necessaria al nostro Paese per affrontare coerentemente l'incerto mercato dell'energia nei prossimi decenni. Ma un forte impegno programmatico per lo sviluppo delle rinnovabili, con la creazione di nuove filiere industriali, rappresenta soprattutto una forte occasione di crescita industriale, tanto più strategica quanto più gli interventi si collocano in settori a elevato tasso di innovazione tecnologica.

In questa prospettiva assume carattere strategico la predisposizione di un piano di investimenti per la ricerca, la sperimentazione e l'industrializzazione di componenti e sistemi in grado di accelerare lo sviluppo delle tecnologie e di abbreviare i tempi necessari all'introduzione di sistemi innovativi sul mercato. L'ENEA può contribuire con le competenze e le risorse di cui dispone a costruire un nuovo modello di produzione e di uso sostenibile dell'energia nel quale le fonti rinnovabili possano assumere un ruolo determinante come fattore di sviluppo per il rilancio della competitività del sistema Italia.

¹ La letteratura più autorevole in materia individua la soglia di criticità tra 450 e 550 ppmv di CO₂; (IPCC, Climate Change 2001: the scientific basis).

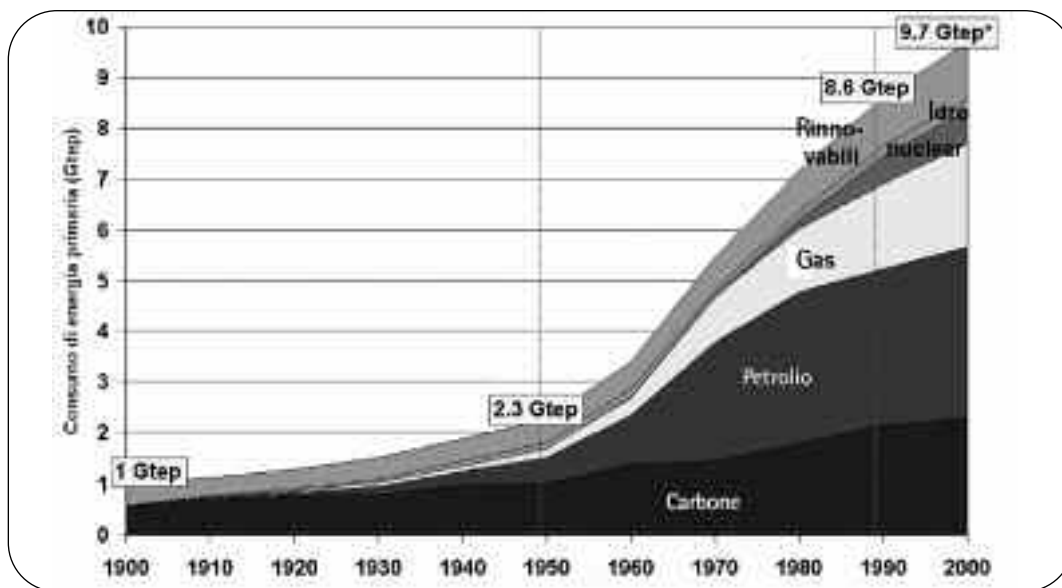


Figura 1

Il ricorso alle fonti di energia nel corso del 20° secolo

Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie

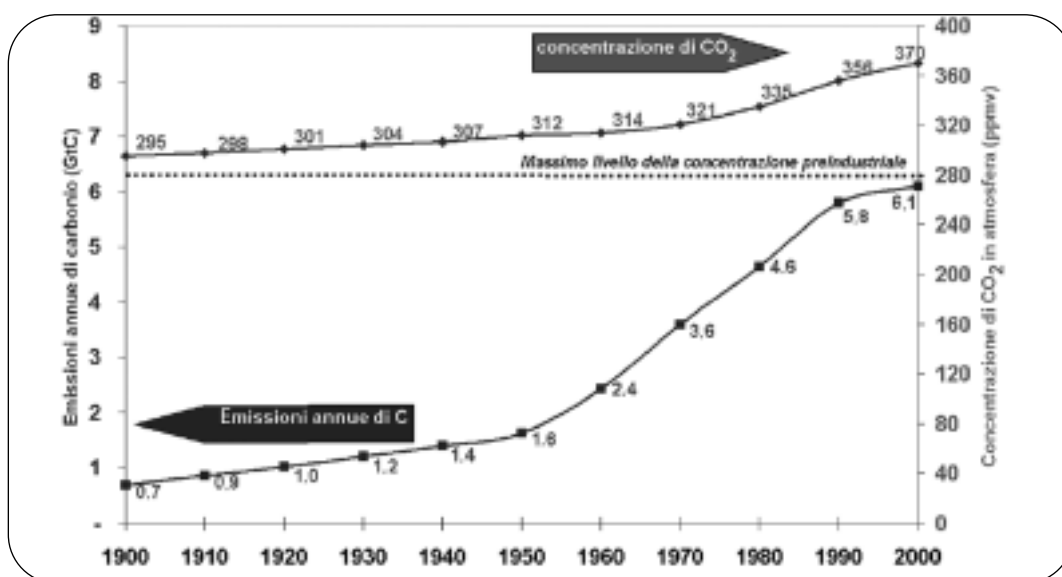


Figura 2

Emissioni di carbonio e concentrazione di CO2 in atmosfera nel corso del 20° secolo

Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie

Ruolo delle fonti rinnovabili nella sfida del clima

La comunità scientifica internazionale appare ormai unanime nel riconoscere come l'aumento della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera costituisca la principale causa della crescita della temperatura terrestre e che tale crescita vada contrastata e la concentrazione stabilizzata ad un livello tale da prevenire pericolose influenze con il sistema climatico¹.

Nel corso del secolo scorso, caratterizzato, in particolare nella sua seconda metà, da un repentino aumento della domanda di energia (figura 1) l'aumento della concentrazione di CO₂ in atmosfera ha raggiunto un valore superiore di circa un quarto rispetto ai valori misurati alla fine del 19° secolo (figura 2), valori che, come ci confermano i recenti risultati scientifici acquisiti con carotaggi effettuati nei ghiacci dell'Antartide, non erano stati mai superati negli ultimi 600.000 anni.

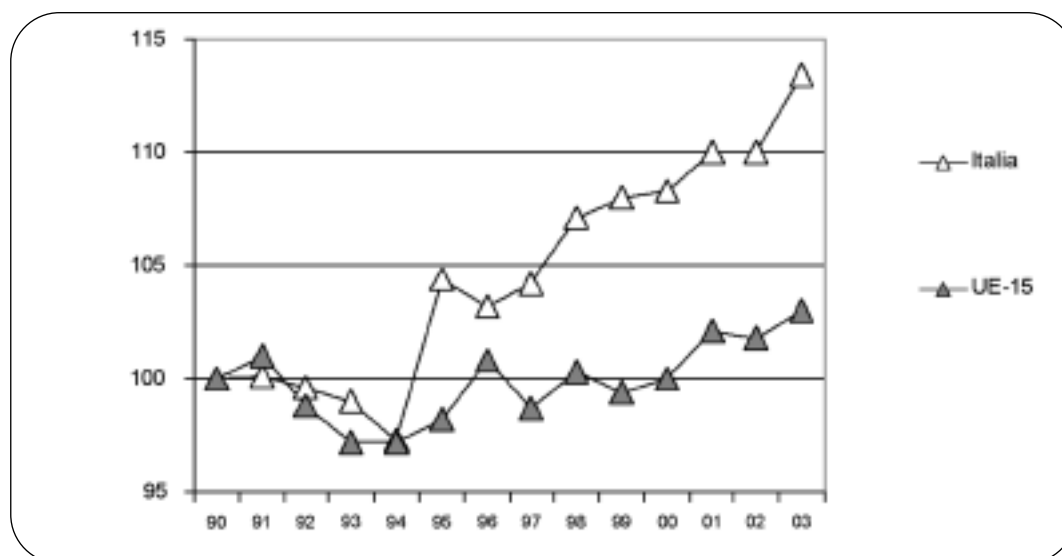
Anche prima che il Protocollo di Kyoto entrasse in vigore, la consapevolezza del-

² EEA, European Environment Agency

Figura 3

Emissioni di CO₂ dal sistema energetico in Italia ed in Europa (numeri indice 1990=100). Anni 1990-2003

Fonte: elaborazione ENEA su dati dell'Agenzia Europea dell'Ambiente, EEA2005



la necessità di ridurre le emissioni di CO₂, aveva portato l'Unione Europea a mettere la riduzione dei gas serra al centro della sua politica energetica e ambientale, impegnando i Paesi membri a conseguire, tra il 2008 e il 2012, una riduzione complessiva delle emissioni pari all'8% rispetto a quelle del 1990. Da un esame del trend 1990-2003 dei valori di emissione di CO₂ (figura 3) relativi alla media UE-15 e Italia si vede come rispetto all'anno base 1990 si sia verificato un aumento pari al 3,8% per i paesi dell'UE-15 e del 13% per l'Italia che diventa, quanto ad emissioni di CO₂ dal sistema energetico, il terzo paese dell'UE-15 dopo la Germania e il Regno Unito. Le strategie utili ai fini della diminuzione delle emissioni di gas serra si basano sulla "decarbonizzazione" dei processi di produzione di energia; obiettivo che si consegue, attraverso la riduzione complessiva della domanda e, nello specifico, riducendo il ricorso alle fonti fossili di energia. Un piano di interventi per la riduzione delle emissioni di CO₂ non può infatti prescindere da iniziative sull'efficienza dei sistemi di produzione e trasformazione e sugli usi energetici finali. In una comunicazione³ del 2000 della Commissione al Consiglio e al Parlamento europeo sulle "politiche e misure per ridurre le emissioni di gas a effetto serra" venivano indicate proposte per la riduzione delle emissioni articolate secondo diverse tipologie di intervento. Alcune di queste misure sono state successivamente tradotte in ulteriori documenti tra i quali: la comunicazione che definisce il "piano d'azione sull'efficienza energetica"⁴; la direttiva sulla "promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili"⁵; la direttiva che sollecita "interventi specifici nel campo dell'edilizia"⁶; la direttiva sulla promozione dell'uso dei biocarburanti nei trasporti⁷, la direttiva sulla promozione della cogenerazione⁸.

Il quadro legislativo approntato in Italia, che discende sostanzialmente da quello definito in sede comunitaria, è sintetizzato schematicamente nel *box*.

³ COM 2000(88) - Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento europeo sulle politiche e misure dell'Unione Europea per ridurre le emissioni di gas a effetto serra.

⁴ COM 2000/247 (piano d'azione per migliorare l'efficienza energetica nella Comunità europea).

⁵ Direttiva 2001/77/CE (promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità).

⁶ Direttiva 2002/91/CE (interventi specifici nel campo dell'edilizia).

⁷ Direttiva 2003/30/CE (promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti).

⁸ Direttiva 2004/8/CE (promozione della cogenerazione).

Il quadro legislativo di riferimento in Italia

Le delibere del Comitato Interministeriale Prezzi

La delibera CIPE 137/1998⁹ indicava un contributo delle fonti rinnovabili alla riduzione delle emissioni di CO₂ entro il 2008-2012 per una quota compresa tra il 16% ed il 21%. La stessa delibera contemplava, inoltre, la realizzazione di un "Libro Bianco per la valorizzazione delle fonti rinnovabili". Il "Libro Bianco", approvato dal CIPE nel maggio 1999, indicava, per il periodo 2008-2012, in circa 8,6 Mtep l'incremento di energia fornita da fonti rinnovabili, oltre 6,5 Mtep di elettricità e poco più di 2 Mtep sottoforma di calore. Obiettivi specifici e misure per il contenimento delle emissioni di gas serra, tra le quali lo sviluppo delle fonti rinnovabili per la produzione di energia, venivano indicate nella successiva delibera CIPE 123/2002.

La "carbon tax"

Nel 1998, con la legge 448, nota comunemente con il nome di carbon tax, viene introdotto un sistema di tassazione dell'energia che tenta di internalizzare nel costo dei combustibili fossili le esternalità ambientali causate dall'impiego dei combustibili stessi. La legge pone infatti come obiettivo la riduzione delle emissioni di CO₂ derivanti dall'impiego di oli minerali secondo le conclusioni della Conferenza di Kyoto del dicembre 1997.

Lo strumento scelto per l'attuazione della norma è un aumento delle aliquote delle accise su prodotti petroliferi, carboniferi, coke e bitumi; una quota pari al 3% delle maggiori entrate derivanti dall'aumento dell'aliquota sull'accisa dei prodotti viene destinata a un fondo per la realizzazione di interventi attuativi del Protocollo di Kyoto (riduzione delle emissioni in atmosfera, promozione dell'efficienza energetica e delle fonti rinnovabili), da istituirsi presso il Ministero dell'Ambiente. In attesa che la *carbon tax* divenisse operativa il Governo, nel 1999, ha destinato 290 miliardi delle vecchie lire all'attuazione di programmi di riduzione delle emissioni in atmosfera e per la promozione dell'efficienza energetica e delle fonti rinnovabili (decreto interministeriale 337) attivando tre linee di intervento con i seguenti programmi, tuttora in corso: programmi di interesse regionale (155 miliardi di lire); programmi di interesse nazionale (85 miliardi di lire); programma di promozione delle Fonti rinnovabili e dell'efficienza energetica presso PMI (50 miliardi di lire - fondo 598 ambiente). L'applicazione della *carbon tax* è stata sospesa da tutte le finanziarie utili dal 2001 ad oggi.

⁹ Delibera CIPE 137/98.

Decreto di recepimento della direttiva CE sulla promozione dell'elettricità da rinnovabili

Con il decreto legislativo approvato alla fine del 2003¹⁰ si dà attuazione alle disposizioni della direttiva europea sulla promozione dell'elettricità da fonti rinnovabili e si gettano le basi per la definizione di un quadro di riferimento nazionale per la loro promozione.

Il decreto stabilisce:

- un incremento della quota d'obbligo di produzione di elettricità da rinnovabili;
- l'adozione di misure a sostegno della fonte solare (rese operative nel 2005 con un decreto per il fotovoltaico);
- l'applicazione del servizio di scambio sul posto dell'energia elettrica prodotta da impianti con potenza nominale non superiore a 20 kW;
- la razionalizzazione e la semplificazione delle procedure autorizzative;
- nuove modalità volte a semplificare e accelerare i tempi per il collegamento di impianti alla rete elettrica per rendere effettiva la priorità di dispacciamento.

La direttiva prevede inoltre misure che dovrebbero facilitare l'installazione di impianti sul territorio (pubblica utilità, indifferibilità ed urgenza per le opere connesse alla realizzazione di impianti, possibilità di ubicazione anche in zone classificate agricole, ...) e considera "ad inquinamento atmosferico poco significativo" gli impianti di produzione di energia elettrica di potenza complessiva non superiore a 3 MW termici ubicati all'interno di impianti di smaltimento rifiuti, alimentati da gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas, stabilendo che il loro esercizio non richiede autorizzazione. Con il decreto si istituisce un "Osservatorio nazionale sulle fonti rinnovabili e l'efficienza negli usi finali dell'energia" con compiti di monitoraggio, analisi tecnologiche e verifiche sugli effetti delle misure adottate per lo sviluppo delle rinnovabili e di proposta di ulteriori interventi per la riduzione dell'emissione dei gas serra e per l'incremento della quota di energia elettrica da fonti rinnovabili.

L'operatività del decreto costituisce ancora un fattore critico (anche l'Osservatorio non è del tutto operativo) mentre restano aperte alcune problematiche, quale l'utilizzo energetico dei rifiuti.

¹⁰ DLgs 29 dicembre 2003 n. 387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità".

Decreto sul rendimento energetico nell'edilizia¹¹

Il decreto disciplina secondo i principi stabiliti dalla direttiva 91/CE/2002:

- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
- la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali;
- la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Il decreto rimanda a strumenti attuativi successivi che definiscano entro fine gennaio 2006 sostanzialmente tutti gli obiettivi principali del decreto legislativo.

Le norme transitorie contengono alcune novità importanti e, tra queste, in particolare:

- prescrizioni minime di rendimento energetico degli edifici;
- obbligo di inserimento di sistemi di protezione della radiazione solare incidente delle superfici vetrate per contenere il fabbisogno energetico estivo;
- indicazione di una massa termica minima;
- obbligo di termoregolazione e caldaie di classe di efficienza minima 3 stelle;
- obbligo di predisposizione nuovi edifici pubblici e privati in modo tale da promuovere l'applicazione del solare termico e fotovoltaico;
- obbligo nei nuovi edifici pubblici o ad uso pubblico (per le tipologie dell'allegato del DPR 412/93) di inserire il solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria.

Decreto sulla promozione dell'uso dei biocarburanti nei trasporti¹²

Il decreto fissa gli obiettivi indicativi nazionali, calcolati sulla base del tenore energetico, di immissione in consumo di biocarburanti e altri carburanti rinnovabili, espressi come percentuale del totale del carburante diesel e di benzina nei trasporti immessi al consumo nel mercato nazionale (1,0 per cento entro il 31 dicembre 2005 e 2,5 per cento entro il 31 dicembre 2010).

¹¹ DLgs. 19 agosto 2005 n. 192, recepimento della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

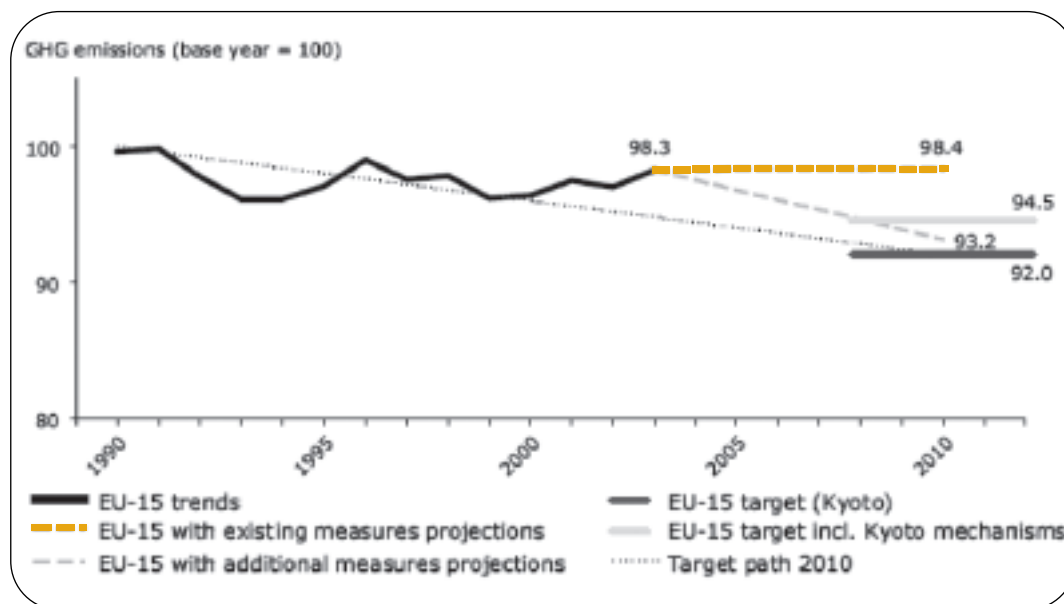
¹² DLgs 30 maggio 2005, n. 128 "Attuazione della direttiva 2003/30/CE relativa alla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti".

Le prospettive di riduzione delle emissioni di CO₂ in Europa

Secondo lo scenario tendenziale sviluppato dall'Agencia Europea per l'Ambiente, EEA¹³, l'effetto delle misure adottate o previste dai paesi UE-15 - inclusi gli effetti del ricorso ai "meccanismi flessibili" contemplati dal protocollo di Kyoto - consentirebbero di conseguire al 2010 una riduzione della media delle emissioni superiore dell'1,3% rispetto all'obiettivo (figura 4).

Figura 4

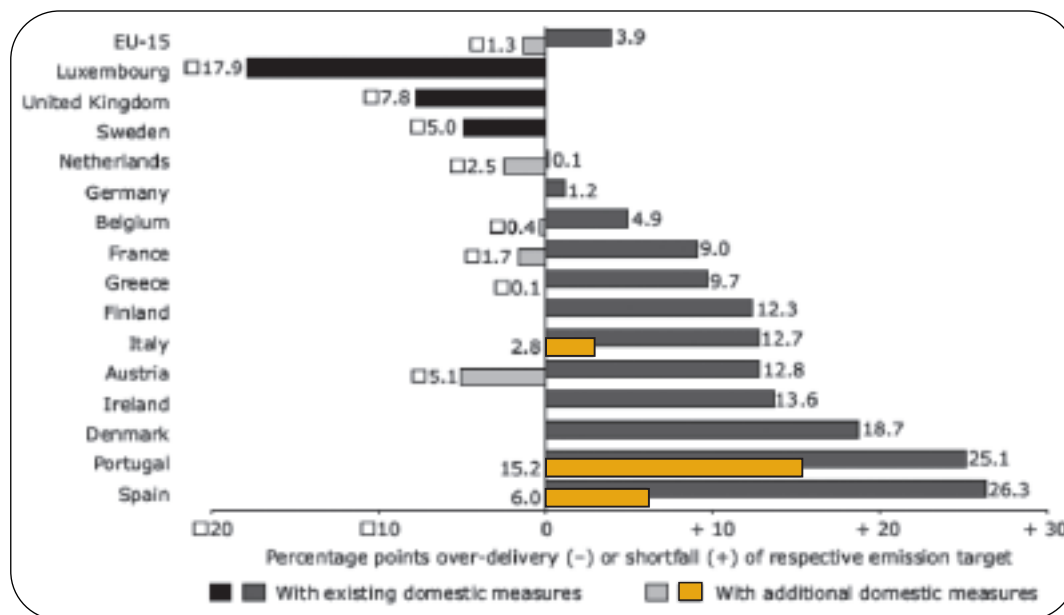
Emissioni di CO₂ nei paesi UE-15: dati storici, trend e obiettivo di Kyoto al 2008-2010 (Gt)
Fonte: *The European Environment - State and outlook, EEA 2005, Copenhagen*



Come si vede in figura 5 la situazione nell'UE-15 presenta però differenze considerevoli e alcuni paesi non sarebbero in condizione di raggiungere l'obiettivo fissato nonostante le ulteriori misure che si prevede di adottare. Tra questi l'Italia le cui emissioni supererebbero comunque del 2,8% l'obiettivo.

Figura 5

Distanza percentuale dall'obiettivo di riduzione delle emissioni di CO₂ per i paesi UE-15
Fonte: *EEA, Environmental Energy Agency. The European Environment - State and outlook 2005, Copenhagen*



¹³ EEA, European Environment Agency.

Il ricorso alle fonti rinnovabili negli scenari internazionali

Come abbiamo visto, insieme ai piani finalizzati al contenimento della domanda e all'incremento dell'efficienza nella produzione e nell'utilizzazione dell'energia, ricopre un ruolo importante l'avvio di un processo che tenda alla sostituzione delle fonti fossili con quelle rinnovabili. I processi di modificazione del mix delle fonti energetiche sono oggetto di analisi di scenario che - sulla base di diverse assunzioni su fattori e indicatori di tipo economico e tecnologico - delineano trend alternativi dell'andamento della domanda di energia e del ricorso alle fonti nei prossimi decenni.

L'Agenzia Internazionale dell'Energia ha realizzato uno scenario per cui nei paesi europei membri dell'OCSE, con l'adozione di specifici strumenti di sostegno economico attualmente all'esame, il contributo delle fonti rinnovabili alla domanda totale di energia potrebbe superare il 30% entro il 2030.

Gli scenari a scala mondiale costruiti dal World Energy Council¹⁴ in collaborazione IASA¹⁵ sono articolati in tre grandi famiglie caratterizzate da diverse ipotesi di sviluppo economico e tecnologico: tra questi facciamo riferimento nel seguito a quelli a cui corrisponde un livello di emissioni di CO₂ compatibile con le indicazioni dell'IPCC¹⁶ sulla stabilizzazione del clima.

La famiglia A di scenari è caratterizzata da una forte crescita dell'economia e dei consumi a cui si accompagna un aumento significativo dell'efficienza energetica; tra gli scenari di questa famiglia, lo scenario A3 rispetta i livelli di emissione in quanto, tra le fonti fossili, privilegia il ruolo del gas naturale e prevede nel contempo, per far fronte alla domanda elevata, una quota significativa da fonti rinnovabili e da nucleare.

La famiglia B di scenari, comprende i cosiddetti "scenari di riferimento" che, non riuscendo a rispettare i vincoli di emissione di cui si è detto, non vengono qui rappresentati. La famiglia C presuppone una politica di intervento fortemente orientata al contenimento della domanda, all'efficienza e al ricorso alle fonti rinnovabili. Gli scenari C1 e C2 differiscono essenzialmente per il diverso peso del nucleare, maggiore nello scenario C2. Nelle figure 6a e 6b è rappresentata la domanda mondiale di energia primaria per fonte, rispettivamente in valore assoluto e in percentuale, in un confronto tra il dato del 1990 e tre diverse ipotesi di scenario al 2050.

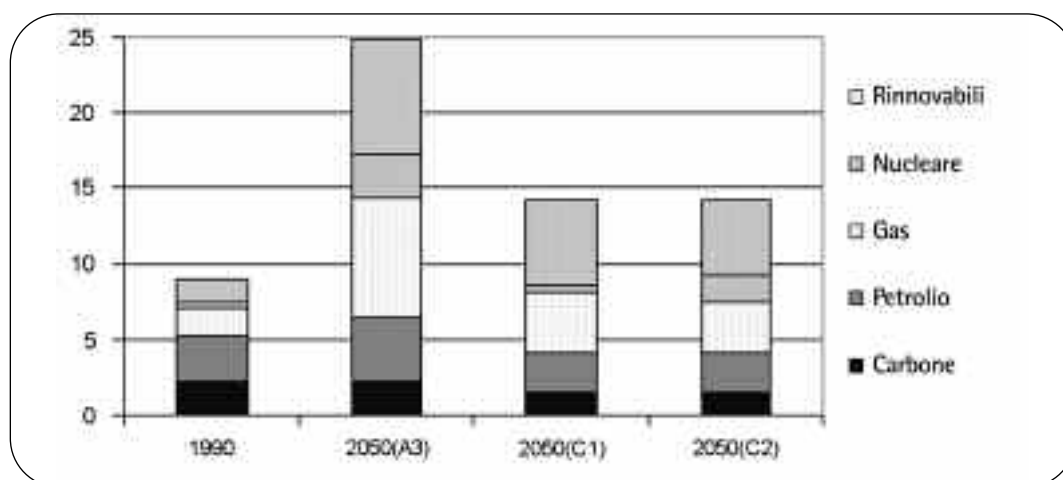


Figura 6a
Domanda mondiale di energia primaria per fonte (Gtep). Dato 1990 e scenari al 2050 (IIASA-WEC)
Fonte: WEC, World Energy Council, Global Energy Scenario To 2050 and Beyond (www.worldenergy.org)

¹⁴ WEC - World Energy Council.

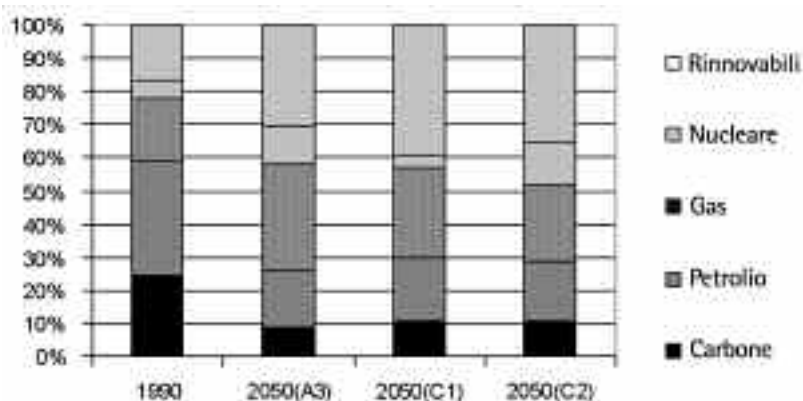
¹⁵ IASA - International Institute of Applied Systems Analysis.

¹⁶ IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

Figura 6b

Scenario EREC domanda mondiale di energia primaria e copertura da fonti rinnovabili 2001-2040 (Gtep)

Fonte: WEC, World Energy Council, Global Energy Scenario To 2050 and Beyond (www.worldenergy.org)

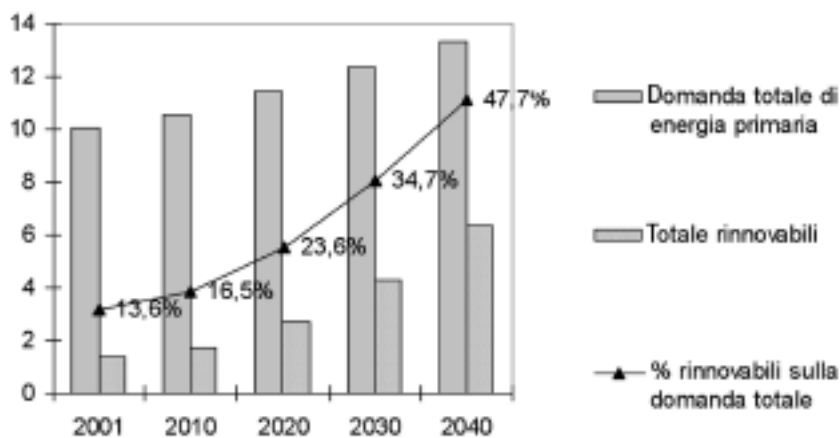


Recentemente l'European Renewable Energy Council¹⁷ ha pubblicato uno scenario che prevede, a livello mondiale, il raggiungimento al 2040 di una quota vicina al 50% da fonti rinnovabili sul totale della domanda di energia primaria. In figura 7 è rappresentato il contributo percentuale delle rinnovabili alla domanda totale e in figura 8 il contributo assoluto delle varie fonti (non è rappresentata la biomassa che da sola al 2040 costituisce oltre il 50% del totale).

Figura 7

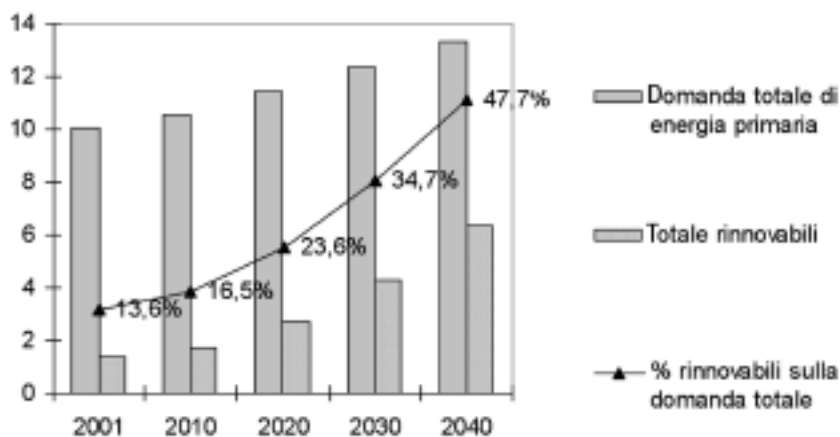
Copertura percentuale della domanda mondiale di energia primaria per fonte. Dati 1990 e scenari al 2050 (IIASA-WEC)

Fonte: EREC su dati IIASA, Renewable Energy Scenario to 2040 (www.erec-renewables.org)

**Figura 8**

Scenario EREC contributo delle fonti rinnovabili esclusa biomassa 2001-2040 (Gtep)

Fonte: EREC su dati IIASA, Renewable Energy Scenario to 2040 (www.erec-renewables.org)



¹⁷ EREC - European Renewable Energy Council.

Un altro scenario sviluppato dall'EREC si riferisce ai paesi membri dell'UE15. In questo caso il contributo complessivo delle rinnovabili alla domanda totale di energia è valutato pari all'11,4% nel 2010 e al 20% nel 2020 (figura 9). Si presuppone in questo caso che tra il 2010 e il 2020 le politiche per il risparmio energetico e per l'incremento dell'efficienza siano in grado di mantenere costante la domanda complessiva di energia. Anche in questo caso sul totale del contributo delle rinnovabili risulta preponderante quello della biomassa (sempre superiore al 60% del totale da rinnovabili).

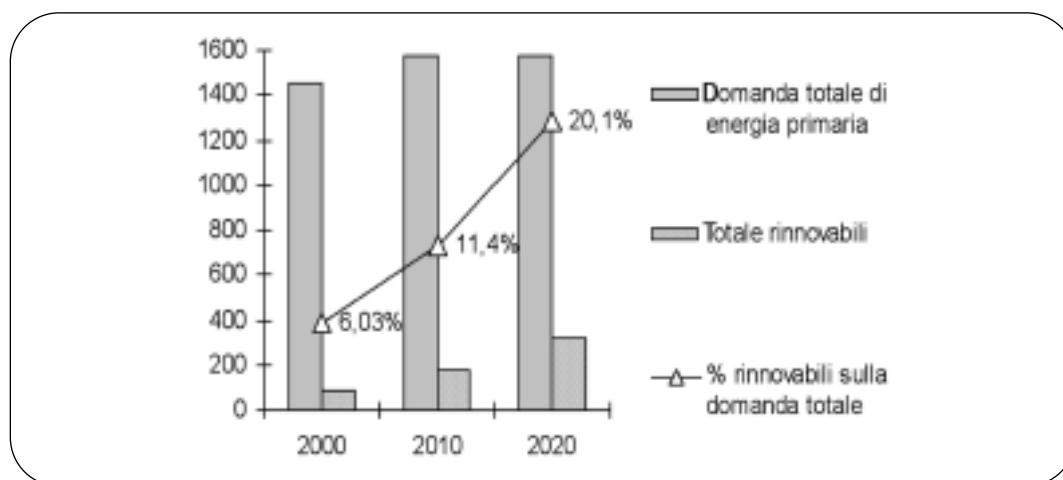


Figura 9
Contributo delle fonti rinnovabili alla domanda di energia primaria nei Paesi membri dell'UE15
Fonte: EREC su dati Eurostat, Renewable Energy Target for Europe, EREC 2005 (www.erec-renewables.org)

Significativo è l'obiettivo di crescita della copertura percentuale della domanda di energia primaria con fonti rinnovabili che si propone di conseguire il Governo Federale di Germania. Tale percentuale, pari al 3,1% nel 2003, dovrebbe crescere al 4,2% entro il 2010 e superare il 50% entro il 2050¹⁸.

Ruolo dell'innovazione tecnologica nello sviluppo delle rinnovabili

Secondo gli "scenari di riferimento" elaborati dai più autorevoli istituti internazionali di ricerca i prossimi trenta anni saranno caratterizzati a livello mondiale da un aumento dei consumi di energia, ancora prevalentemente soddisfatti con il ricorso a fonti fossili, e delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera di cui si prevede al 2030 un sostanziale raddoppio rispetto al dato relativo al 1990. Al rallentamento della crescita della domanda di energia e alla riduzione dell'intensità carbonica nella generazione elettrica nei paesi più industrializzati si contrappone infatti la forte crescita di economie emergenti, in prima linea Cina e India, con un rilevante aumento della domanda di energia e delle emissioni di CO₂ in atmosfera, dovuta al ricorso prevalente ai combustibili fossili e in particolare al carbone¹⁹. Più della metà della generazione elettrica al 2030 sarà fornita mediante tecnologie emerse a partire dagli anni 90 come le turbine a gas a ciclo combinato, le tecnologie avanzate del carbone, le fonti rinnovabili. Nell'ambito del programma comunitario WETO²⁰, sono stati ricostruiti i percorsi di apprendimento tecnologico di alcune tecnologie in fase evolutiva sulla base di dati storici fino al 2000 e alle proiezioni al 2030 di uno scenario "di riferimento", rappresentati nella figura 10, su *step* temporali di cinque anni, attraverso le cosiddette "curve di apprendimento" che descrivono l'andamento dei costi totali di investimento in funzione delle capacità totali installate.

¹⁸ Fonte: Federal Ministry of Economics and Labour, Innovation and New Energy Technologies, Berlin 2005 (www.bmwa.bund.de).

¹⁹ Si veda in proposito: "World Energy Outlook 2005 – Middle East and North Africa Insights", OECD/IEA 2005.

²⁰ WETO, World Energy, Technology and climate policy Outlook 2030, European commission, Directorate-General for Research (2003).

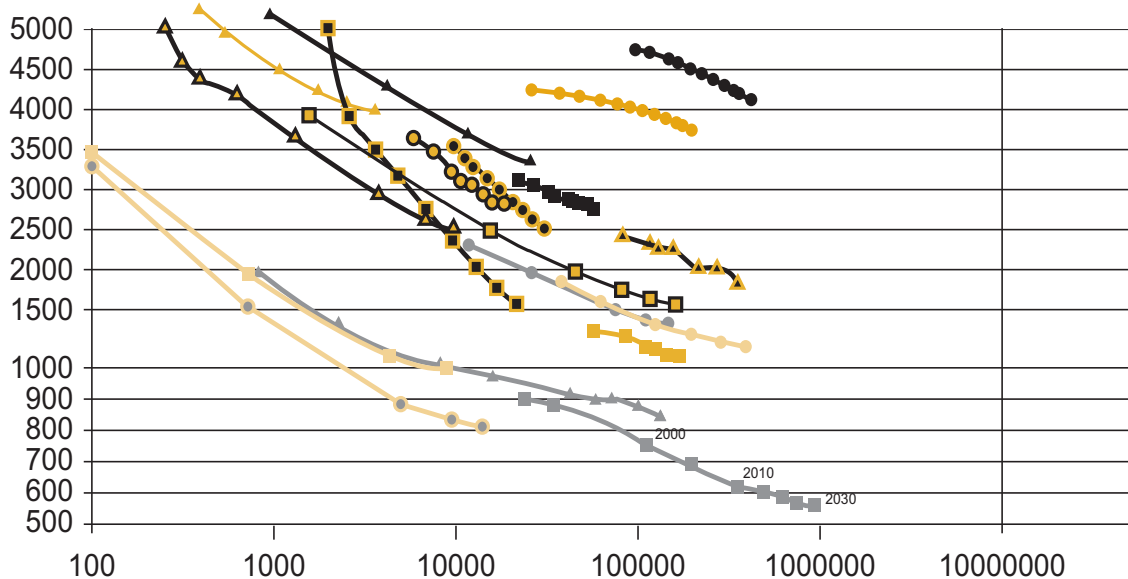


Figura 10

Capacità installata per tecnologia in funzione degli investimenti (dati storici 1990-2000 e proiezioni 2010-2030)

Fonte: WETO; World Energy, Technology and climate policy Outlook 2030, European Commission, Directorate-General for Research (2003)

- Idroelettrico
- Nucleare
- ▲— Nuovo nucleare
- ▲— Fotovoltaico
- Lignite convenzionale
- Carbone convenzionale
- Mini idro
- Turbina a biogas
- Cogenerazione a biomassa
- Ciclo combinato con gassificazione del carbone
- Carbone diretto
- Carbone supercritico
- ▲— Gas convenzionale
- ▲— Solare termoelettrico
- ▲— Eolico
- Celle a combustibile ad ossidi solidi (SO)
- Ciclo combinato a gas
- Celle a combustibile ad elettrolita polimerico (PEM)

Tabella 1 – Effetti delle politiche di sviluppo tecnologico in relazione agli scenari

	Generazione elettrica						Emissioni totali di CO ₂
	Gas	Carbone	Nucleare	Rinnovabili	Tot. gen. elettrica	Emissioni di CO ₂	
caso gas	21,60%	-12,20%	-5,30%	-10,50%	0,3%	-7,2%	-1,6%
caso carbone	-16,00%	15,00%	-6,50%	-10,20%	1,1%	0,3%	0,0%
caso nucleare	-7,10%	-8,10%	77,50%	-9,90%	0,6%	-7,3%	-2,8%
caso rinnovabili	-12,30%	-8,80%	-2,40%	132%	-2,2%	-8,9%	-3,0%

Fonte: WETO; World Energy, Technology and climate policy Outlook 2030, European Commission, Directorate-General for Research (2003)

Ma, come noto, sviluppi tecnologici accelerati e veri e propri *breakthrough* tecnologici possono determinare deviazioni delle traiettorie descritte dallo scenario di riferimento. A questo proposito, sempre in ambito WETO, sono state costruite ipotesi alternative in relazione ad alcuni “casi tecnologici” in alcuni dei quali assume particolare rilievo l’accelerazione degli investimenti in attività di R&S.

Caso gas: si è assunto un aumento della disponibilità della fonte assieme ad ulteriori miglioramenti tecnologici degli impianti a turbina a gas a ciclo combinato e alle celle a combustibile.

Caso carbone: sono stati ipotizzati notevoli miglioramenti nelle prestazioni di tutte le tecnologie innovative di combustione dei combustibili solidi.

Caso nucleare: si è assunto un “salto” nella tecnologia in termini di costo e di sicurezza.

Caso rinnovabili: prevede, rispetto a quanto prospettato nello scenario tendenziale, maggiori investimenti da parte della comunità internazionale, per la ricerca e l’industrializzazione in settori, quali l’eolico, il solare termodinamico, l’idroelettrico di piccola taglia e il fotovoltaico.

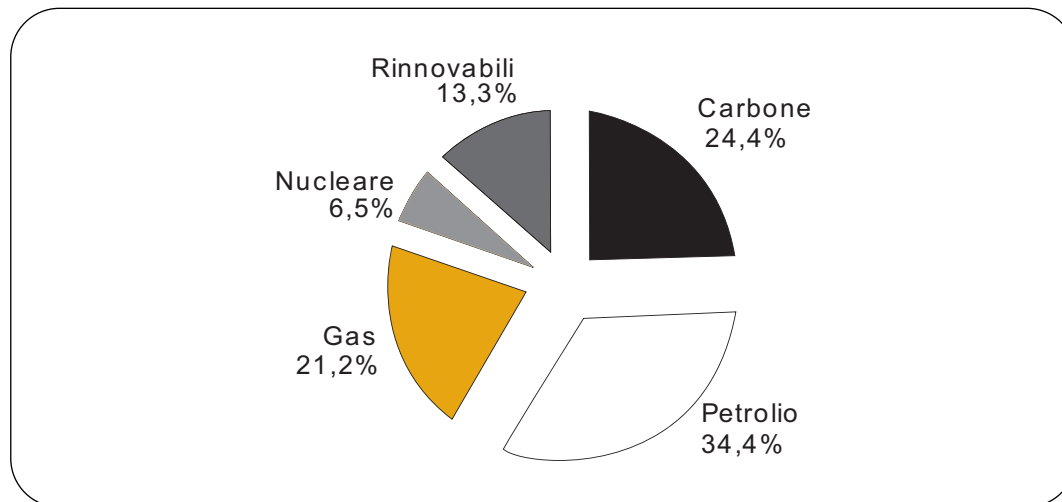
Nella tabella 1 sono indicati, con riferimento agli scenari sinteticamente descritti, gli effetti sulla generazione elettrica e sulla riduzione delle emissioni di CO₂ conseguibili con l’adozione di specifiche politiche e misure in grado di accelerare lo sviluppo tecnologico e l’introduzione di innovazione nel sistema produttivo.

La produzione di energia da fonti rinnovabili

Le rinnovabili nel contesto internazionale

Nel 2003 le fonti energetiche rinnovabili, con una produzione di energia equivalente a 1.404 Mtep, hanno coperto a livello mondiale il 13,3% dell'offerta totale di energia primaria, pari a 10.579 Mtep (dati dell'Agenzia Internazionale dell'Energia). Nello stesso anno il petrolio ha contribuito all'offerta di energia primaria per il 34,4%, il carbone per il 24,4%, il gas naturale per il 21,2% e il nucleare per il 6,5% (figura 11).

Figura 9
Offerta di energia primaria. Mondo. Anno 2003
Fonte: elaborazione ENEA su dati EIA



Le fonti fossili, con oltre l'80% dell'offerta primaria di energia, hanno rappresentato ancora nel 2003 la principale fonte di approvvigionamento energetico e, secondo le previsioni dei principali osservatori internazionali, manterranno questo ruolo ancora per qualche decennio. D'altra parte la crescita del ricorso alle rinnovabili non sembra ancora tale da indicare uno spostamento significativo verso un modello energetico meno dipendente dalle fonti fossili. Dal 1990 al 2003, infatti, le rinnovabili, sono cresciute a livello mondiale a un tasso (1,8%) appena superiore a quello della domanda di energia primaria (1,6%) mentre nei paesi OECD il tasso di crescita delle rinnovabili (1,1%) è stato addirittura inferiore a quello relativo alla domanda (1,4%). In valori percentuali la crescita più significativa di produzione da rinnovabili è quella fatta rilevare dalla fonte eolica che, pur rimanendo su valori assoluti molto bassi, ha segnato una media annuale di crescita dal 1990 al 2003 pari al 23,9%, dovuta essenzialmente alle nuove installazioni nei Paesi dell'OECD. La produzione di energia da biomasse solide, che rappresenta invece la quota più elevata di produzione da rinnovabili, ha segnato il più basso tasso di crescita, pari all'1,6%, di poco superiore a quello dell'offerta totale di energia primaria e attribuibile in modo uniforme ai Paesi OECD e non-OECD. Si attesta sull'1,6% anche la crescita media della produzione di energia da fonte idroelettrica con una netta prevalenza dei Paesi non-OECD, che con il 2,8% di aumento, dal 1990 al 2003, hanno compensato lo 0,4% di crescita registrato nei Paesi OECD. Una tendenza, questa, che dovrebbe confermarsi anche nel futuro, tenuto conto che i grandi impianti che sono stati realizzati nei Paesi più industrializzati nel secolo scorso, hanno fortemente ridotto il potenziale residuo ancora utilizzabile in modo compatibile con l'ambiente.

Le rinnovabili in Italia

In Italia le fonti rinnovabili di energia - che rappresentano comunque la principale fonte di energia endogena - hanno contribuito nel 2004 a poco più del 7% del consumo interno lordo. Tale percentuale, pur allineata alla media europea, è dovuto essenzialmente al contributo dell'idroelettrico e della geotermia che hanno coperto insieme oltre il 65% del totale. Il contributo di energia da biomasse e rifiuti, si attesta oltre il 30% mentre il contributo di eolico e solare - le cosiddette "nuove rinnovabili" - non

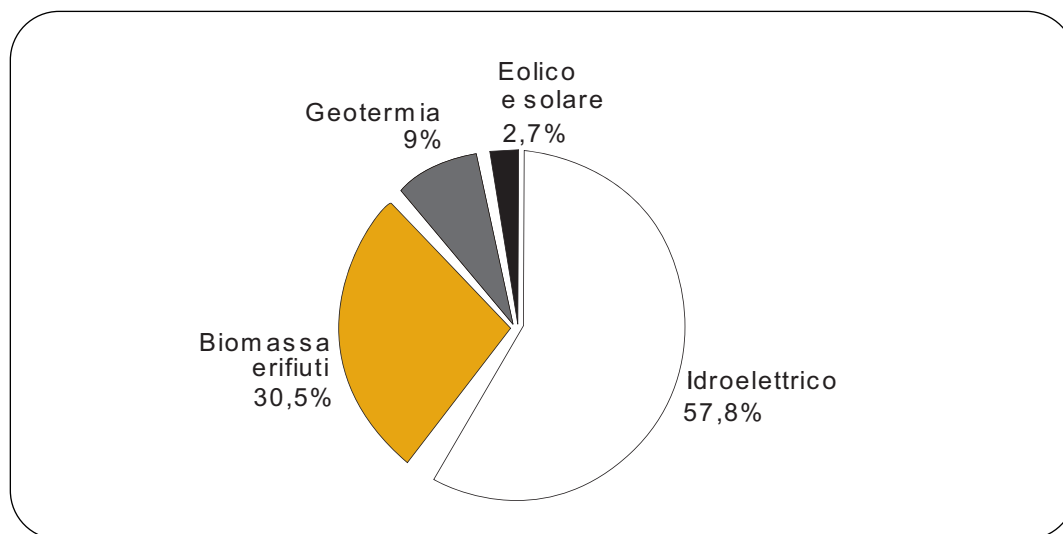


Figura 12
Produzione di energia per fonte rinnovabile (percentuali). Italia 2004
Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie

Il trend di produzione energetica da rinnovabili fatto segnare negli ultimi cinque anni mostra una forte fluttuazione dell'idroelettrico condizionata dai fattori climatici; un buon incremento della produzione da biomassa e rifiuti, comunque attestata su valori ancora molto lontani da quelli tipici dei Paesi europei; e un leggero incremento della produzione da fonte geotermica. Il contributo dalle nuove fonti rinnovabili non mostra variazioni apprezzabili ma, a fronte di una certa vivacità dimostrata nel settore eolico, è caratterizzato da una situazione di stagnazione per quanto riguarda la produzione da fonte solare.

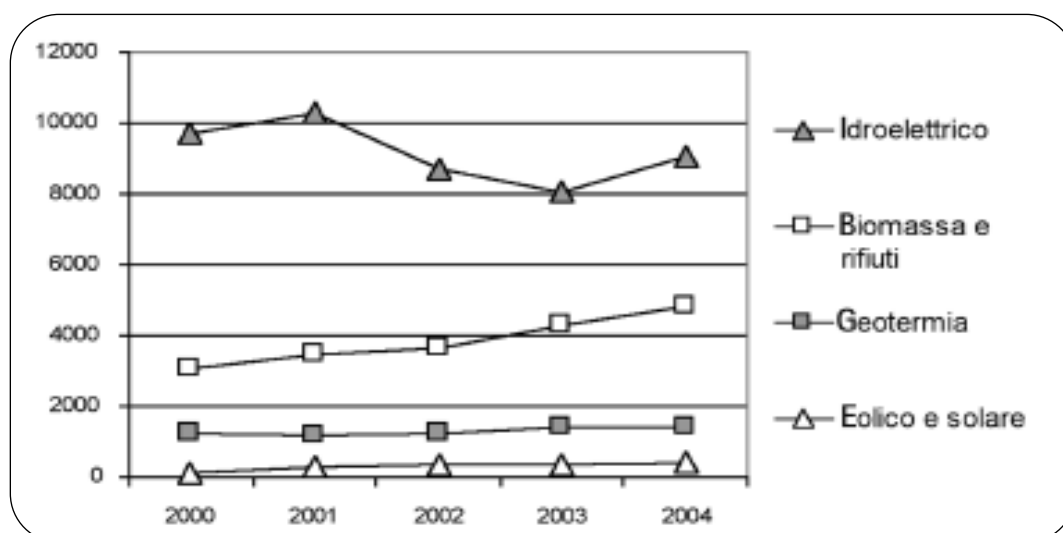
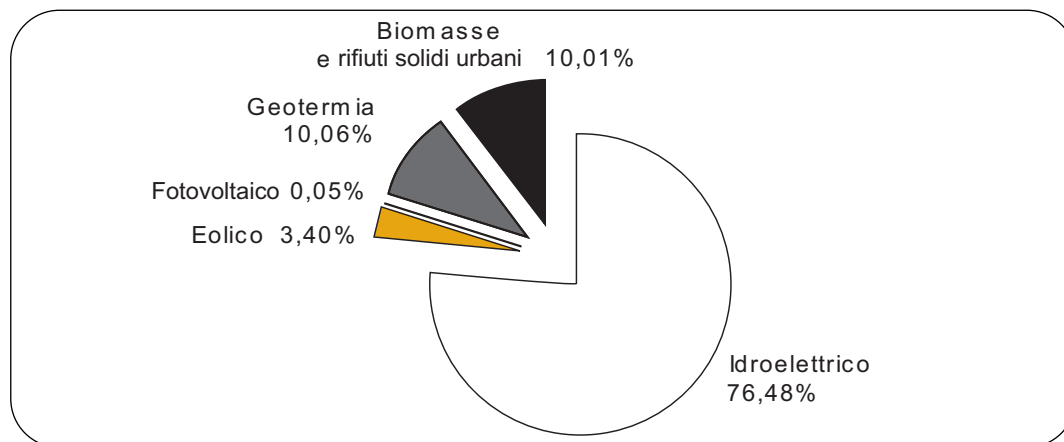


Figura 13
Produzione di energia da rinnovabili (ktep). Italia 2000-2004
Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie

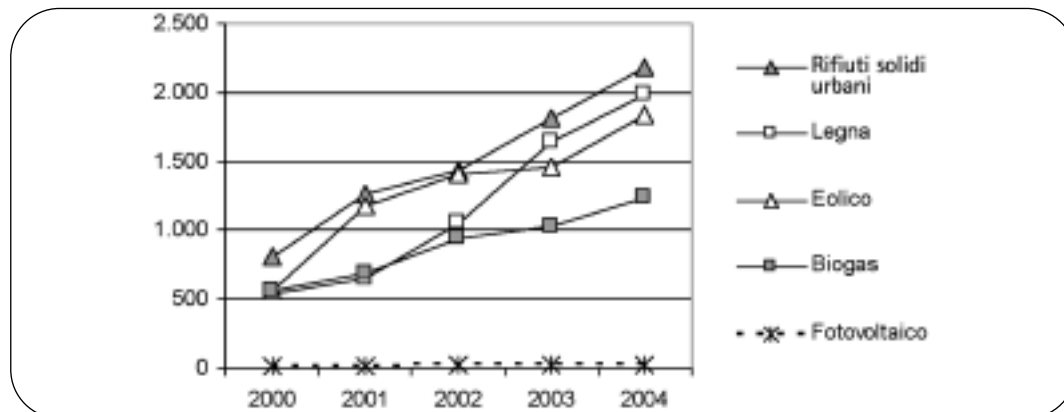
raggiunge complessivamente il 3% con un contributo del solare inferiore allo 0,15%. L'analisi dei dati relativi alla produzione di energia elettrica, a cui le rinnovabili hanno concorso nel 2004 con il 16% circa del consumo lordo totale, ci consente di apprezzare meglio il contributo delle diverse fonti ed effettuare una verifica rispetto agli obiettivi di produzione assunti dall'Italia in sede comunitaria.

Figura 14
Produzione di elettricità per fonte rinnovabile (percentuali). Italia 2004
Fonte: elaborazione ENEA su dati GRTN



Con una potenza lorda intorno a 17 GW e una produzione di oltre 41 TWh nel 2004 l'idroelettrico copre oltre il 75% della produzione da rinnovabili. Al di là di un incremento dell'efficienza degli impianti, la realizzazione di nuova potenza idroelettrica appare limitata a interventi di piccola taglia: sia attraverso il ripristino di impianti obsoleti che la realizzazione di nuovi impianti quando compatibili con gli aspetti ambientali. Se infatti si deve escludere la possibilità di realizzare nuovi grandi impianti per il forte impatto ambientale connesso, va segnalato che ulteriori limitazioni dell'utilizzo energetico della risorsa idrica possono determinarsi come conseguenza dell'abbassamento dei limiti di sfruttamento (deflusso minimo vitale). Anche per l'energia geotermoelettrica, che con oltre 5 TWh ha contribuito nel 2004 per un 10% circa alla produzione di elettricità da rinnovabili, non si può prevedere un incremento significativo dei circa 700 MW di potenza installati. Diverso è il discorso relativo all'utilizzo energetico di biomasse e rifiuti (pari a 5 TWh del 2004), e dell'eolico (1,8 TWh) sia per il trend di positivo fatto segnare negli ultimi cinque anni ma soprattutto per le potenzialità di crescita, particolarmente elevate nel caso della biomassa. Particolare è la situazione del fotovoltaico, la cui produzione elettrica nel 2004 (pari a 27 GWh), sconta il ritardo complessivo dell'industria nazionale nel settore, ulteriormente penalizzata dal ritardo con cui si è regolamentato il nuovo meccanismo di incentivazione in conto energia.

Figura 15
Produzione di energia da rinnovabili (ktep). Italia 2000-2004
Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie



L'incentivazione delle rinnovabili

L'introduzione sul mercato di nuove tecnologie, è sempre fortemente condizionato dai sistemi di incentivazione adottati. Il sistema delle incentivazioni alle rinnovabili vigente in Italia, ha determinato non poche distorsioni, dimostrandosi funzionale, più che al conseguimento di obiettivi di sviluppo delle rinnovabili sul lungo periodo, all'incentivazione - sia in forma diretta che indiretta (esenzioni) - di una vasta gamma di

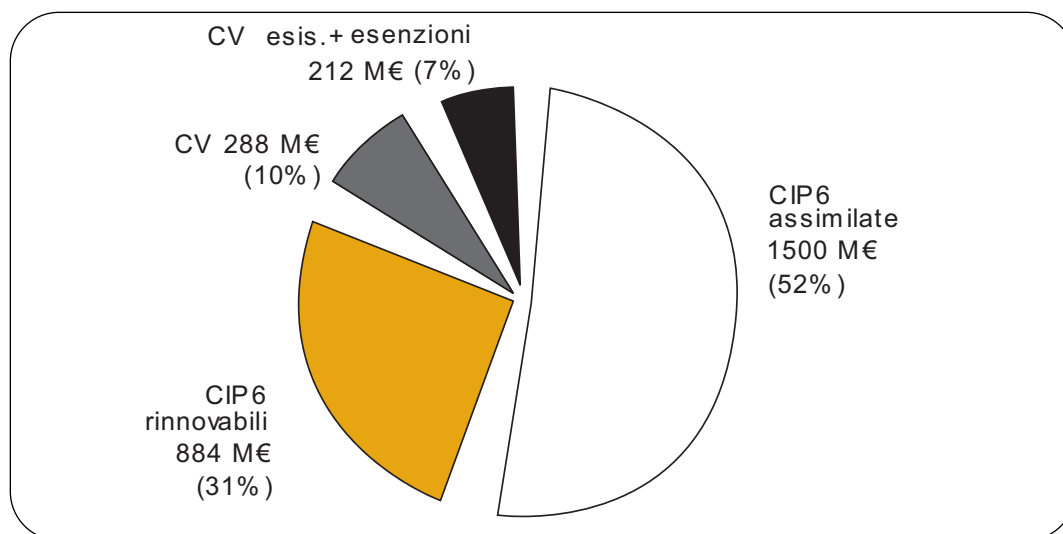


Figura 16
Meccanismi di incentivazione: costi CIP6 e Certificati Verdi (Italia 2004)
Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie

settori del panorama elettrico estranei alle rinnovabili.

In questo contesto sembra difficile raggiungere l'obiettivo di crescita delle rinnovabili al 2010 delineato dall'ultima direttiva europea sulle rinnovabili (che comporterebbe una percentuale di generazione elettrica da rinnovabili pari al 22% del consumo interno lordo) anche considerando gli effetti dell'applicazione del recente decreto di incentivazione specifica per il fotovoltaico.

Si veda in proposito la figura 17 in cui viene graficizzato il trend dei consumi e della produzione di elettricità da rinnovabili sulla base delle misure attualmente in vigore.

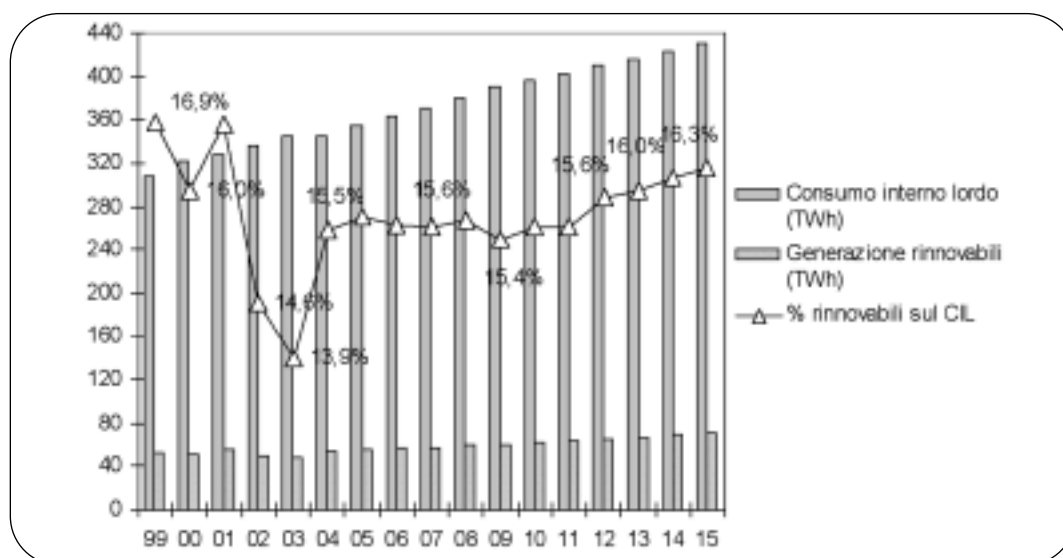


Figura 17
Effetto dei meccanismi di incentivazione sulla quota di rinnovabili sul Consumo interno lordo di elettricità, Italia 1999-2015
Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie

Ostacoli alla diffusione delle rinnovabili in Italia: regime autorizzativo e consenso locale

Evidentemente la difficoltà di sviluppo delle rinnovabili in Italia non sono ascrivibili esclusivamente a meccanismi incentivanti inadeguati o non sufficientemente credibili per l'investitore. Uno dei maggiori ostacoli allo sviluppo delle rinnovabili sembra venire oggi in Italia dai tempi lunghi connessi alle procedure autorizzative e, in alcuni casi, dalla difficile acquisizione del consenso sociale alla realizzazione degli interventi stessi. Una indagine compiuta dall'APER²¹ su un numero elevato di casi ha consentito di identificare e confrontare le problematiche specifiche che l'iter autorizzativo presenta in relazione a diverse tipologie di impianto a fonte rinnovabile. Nelle tabelle 2 e 3 sono indicati rispettivamente alcuni parametri di confronto tra impianti a fonti rinnovabili nella fase di autorizzazione alla costruzione e le principali difficoltà riscontrate in questa fase. Pur ritenendola molto importante, la ricerca del consenso locale per un impianto ali-

Tabella 2 - Parametri di confronto fra impianti alimentati da fonti rinnovabili nella fase di autorizzazione alla costruzione

	Idroelettrico	Eolico	Biogas	Biomasse
durata temporale dell'iter (mesi)	~ 72 comprensivi concessione uso acque	~ 24	~ 6	~ 12
Tipo di valutazione ambientale effettuata	Screening	Screening o VIA	DPR 203/88 ora IPPC screening	DPR 203/88 ora IPPC screening o VIA
Costo iter autorizzativo (% sul totale)	2 - 6%	4-10%	4%	1%

Tabella 3 - Difficoltà riscontrate durante la fase di autorizzazione

Idroelettrico	Tempistica incerta nel rilascio del disciplinare di concessione per l'utilizzo delle acque da parte dell'Ente preposto (Regione o Provincia), variabile in media tra 1 e 5 anni
Eolico	Problemi di interfaccia con le autorità ambientali e nella realizzazione degli allacciamenti alla rete ENEL o GRTN (tempi lunghi e preventivi di allacciamento non trasparenti)
Biogas	Autorizzazione all'allacciamento per ritardi procedure di ENEL Distribuzione
Biomasse	Autorizzazione all'emissioni in atmosfera con richieste di controllo emissioni teleggiabili (procedura non standard e richiesta da alcune amministrazioni)

mentato da fonti rinnovabili non è quasi mai ricercata dall'imprenditore, soprattutto se l'intervento sul territorio è di modeste dimensioni, che spesso interviene quando si è già in presenza di un conflitto. Per alcuni versi i processi localizzativi degli impianti produttori di energia da fonti rinnovabili non differiscono dai più comuni processi che suscitano conflitti ambientali, come gli impianti per lo smaltimento dei rifiuti, le principali infrastrutture di trasporto, gli impianti energetici tradizionali: in tutti i casi si assiste all'attivarsi di un'opposizione locale con connotati NIMBY (*not in my back yard*, non nel mio cortile).

Queste le conclusioni di una indagine condotta nel settembre 2003 con l'Osservato-

²¹ APER, Associazione dei produttori di energia elettrica da fonti rinnovabili. I risultati dell'indagine sono pubblicati nel cap. 5 del rapporto "Lo sviluppo delle rinnovabili in Italia tra necessità e opportunità", ENEA 2005.

rio Gestione Conflitti Ambientali²² tra gli associati APER al fine di studiare le cause, le dinamiche e le strategie per la ricomposizione dei conflitti ambientali legati alle fonti rinnovabili. Nei casi studiati, con l'eccezione dell'installazione di parchi eolici e di un caso di impianto a biomasse, non è stato fatto uso di strumenti per la ricerca del consenso locale o sono state organizzate, a progetto ultimato, limitate campagne di informazione o incontri con comitati di cittadini che si erano formati a causa della costruzione dell'impianto.

Da questo atteggiamento, più improntato alla gestione del conflitto in corso d'opera che alla sua prevenzione, scaturiscono insoddisfazioni profonde dei proponenti, motivate da un significativo aumento dei tempi di realizzazione dell'opera (34% dei casi) e dei costi.

Dalle esperienze studiate risulta chiaro che, per garantire il consenso locale, la scelta migliore per l'imprenditore sia quella di mostrarsi, sin dalle prime fasi del progetto, presente sul territorio e disponibile al confronto non solo con gli amministratori locali ma con i cittadini e l'insieme del tessuto sociale.

Le opportunità per il sistema produttivo

Un incremento del ricorso alle rinnovabili non può non rientrare in una politica di diversificazione delle fonti, insieme a molte altre azioni sul lato dell'offerta e della domanda, necessarie al nostro Paese per affrontare coerentemente l'incerto mercato dell'energia nei prossimi decenni.

Abbiamo visto che l'attuale trend di crescita della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili consentirà difficilmente di raggiungere l'obiettivo per cui si è impegnato il nostro Paese. Si ritiene d'altro canto che una politica mirata possa ancora portare a risultati significativi, quali quelli raggiunti in Paesi come la Danimarca, la Germania e, più recentemente, la Spagna, in cui i nuovi settori industriali delle rinnovabili si presentano già oggi come una realtà vivace e consolidata con un indotto significativo in termini economici e di occupazione e prospettive di crescita sul mercato internazionale di grande rilievo.

Tabella 8 - La produzione di aerogeneratori in alcuni paesi europei. Anno 2002

Paese	Capacità prodotta (MW)	Quota del mercato mondiale	Capacità esportata (MW)	Quota export
Germania	2194	29,6%	459	20,9%
Danimarca	3147	42,5%	2640	83,9%
Spagna	1221	16,5%	28	2,3%

Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie

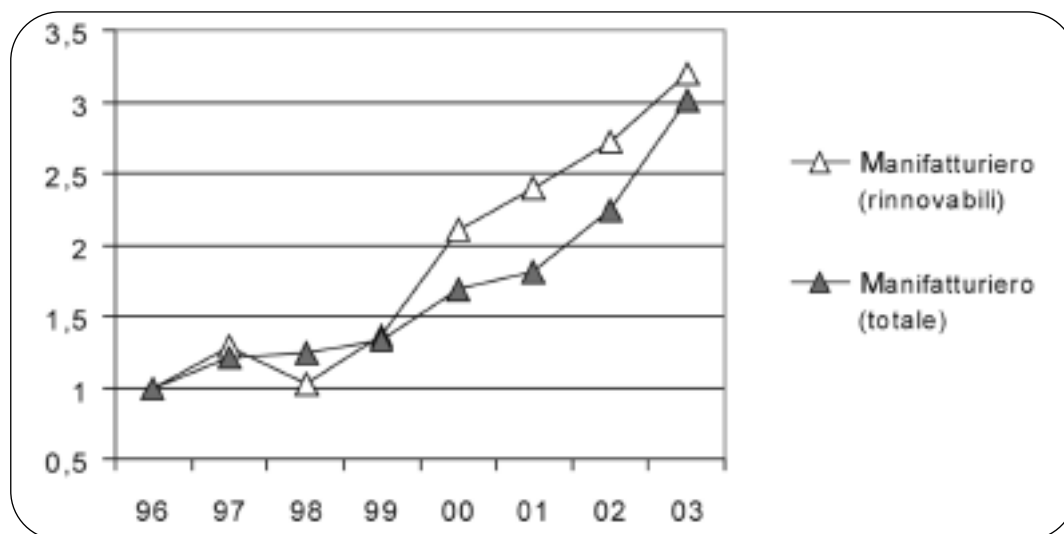
Anche in Italia un rinnovato impegno per sviluppare le rinnovabili può rappresentare una forte occasione di crescita industriale, tanto più strategica quanto più gli interventi si collochino in settori a elevato tasso di innovazione tecnologica. Da vari anni la dimensione della competitività tecnologica è stata infatti indicata come la componente centrale dello sviluppo delle economie dei Paesi avanzati. Da un esame prelimi-

²² Osservatorio gestione conflitti ambientali e territoriali (www.confliittiamientali.it)

nare dei maggiori aggregati geoeconomici, risulta una dinamica degli scambi internazionali di prodotti/impianti connessi con l'utilizzo delle rinnovabili che, sebbene su quantità ancora modeste, è in linea con l'andamento del commercio totale. Si evidenzia peraltro l'emergere di nuove dinamiche tecnologiche in alcuni di questi settori benché ancora in un ambito relativamente circoscritto di paesi e mercati. Si segnala a questo proposito la specializzazione produttiva del Giappone nel settore fotovoltaico e la crescita sostenuta dell'export cinese, in particolare nel settore delle tecnologie per l'utilizzo dell'energia solare.

In Europa spicca il ruolo ricoperto dalla Danimarca (eolico) e dalla Spagna che, pur

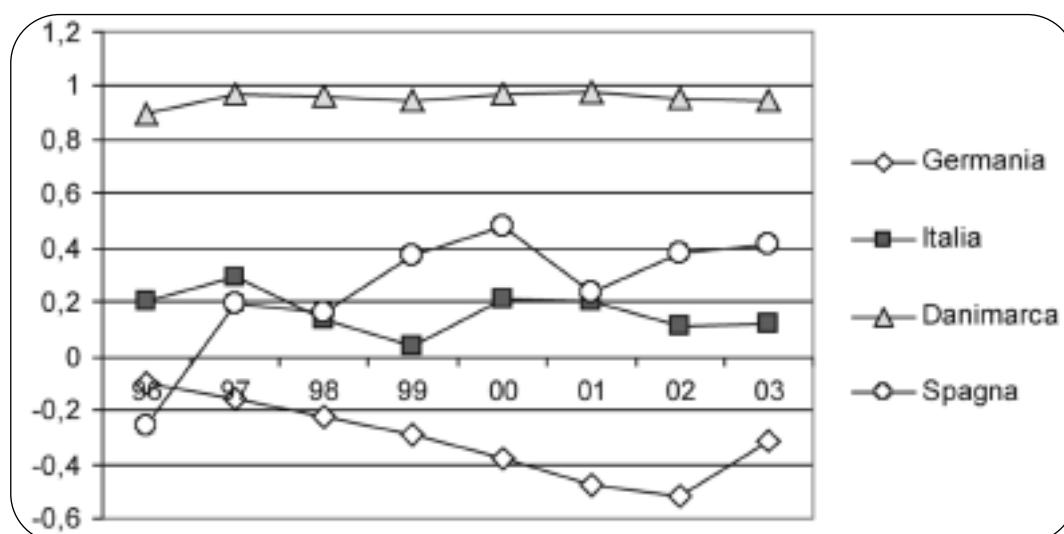
Figura 18
Andamento dell'export di prodotti relativi alle rinnovabili in Cina (valore 1996=1)
Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie



affacciandosi più di recente nei settori delle rinnovabili, presenta il trend di crescita complessivo delle esportazioni in questi settori più sostenuto tra i Paesi dell'UE. Da segnalare che il saldo tedesco, negativo a causa degli ingenti investimenti effettuati per la realizzazione di impianti, appare in forte crescita a partire dal 2002 a causa del rafforzamento dell'industria nazionale in questi settori.

Rispetto a tale scenario la posizione dell'industria italiana conferma la propria

Figura 19
Saldi normalizzati²³ dei prodotti manifatturieri per le rinnovabili
Fonte: elaborazione ENEA da fonti varie



²³ Con riferimento ad un generico paese dichiarante e ad un generico prodotto (o gruppo di prodotti) il saldo commerciale normalizzato è dato dal rapporto del saldo corrente (esportazioni-importazioni) ed interscambio totale (somma delle esportazioni e importazioni).

debolezza competitiva in linea con le perdite registrate da tutto il comparto manifatturiero e con scostamenti spesso significativi dalle già deludenti *performance* registrate dalla maggior parte dei Paesi europei.

L'offerta sul mercato interno risulta infatti caratterizzata da una modesta entità di produttori nazionali di componenti per le rinnovabili e da un consistente ricorso ai mercati internazionali per l'offerta di componenti.

Tutto ciò non ha consentito di utilizzare, per lo sviluppo di una filiera nazionale, gli incentivi, anche ingenti, già erogati né, probabilmente, consentirà di utilizzare quelli di futura erogazione.

Di fatto in questi anni l'industria italiana di settore non si è sviluppata. Non sono nate aziende che investissero sulle nuove tecnologie come il fotovoltaico, non sono cresciute aziende nelle tecnologie in fase di assestamento quale l'eolico; sono invece uscite dal mercato aziende che operavano in settori maturi, quali l'idroelettrico, in cui il nostro Paese era stato per anni leader indiscusso sul mercato mondiale.

D'altra parte il decollo in Italia di una industria delle rinnovabili sembra una condizione necessaria per affrontare in modo adeguato le sfide di questo secolo.

Operare per la riduzione delle emissioni e per la trasformazione del nostro sistema della produzione e degli usi finali nella direzione di una maggiore sostenibilità, non è solo un costo per il sistema ma può divenire una opportunità per svilupparne l'efficienza e la competitività in un mercato globale sempre più selettivo e difficile. La crescita dei mercati è così consistente e le tecnologie sono in così rapido sviluppo che, nonostante i ritardi accumulati, la scommessa sulle rinnovabili può essere considerata ancora aperta, soprattutto se si sarà in grado, da una parte, di semplificare e rendere più trasparente il sistema delle regole e, dall'altra, di rispondere alle problematiche di accettabilità sociale con una nuova modalità di partecipazione alle scelte.

Ma nella sfida che si presenta a livello Paese gioca un ruolo determinante lo sviluppo di un sistema integrato ricerca-industria in grado di accelerare l'introduzione sul mercato di nuove tecnologie avvalendosi di meccanismi di incentivazione in grado di innescare un circolo virtuoso tra tecnologia, innovazione e sviluppo industriale.

L'ENEA per le fonti rinnovabili

Il ruolo dell'ENEA per lo sviluppo e la diffusione delle fonti rinnovabili di energia si articola su diversi livelli e con diverse modalità avvalendosi delle competenze e delle esperienze sviluppate in molte aree della ricerca in campo economico e scientifico e della sperimentazione di nuove tecnologie.

Il modello di intervento dell'ENEA si caratterizza in modo peculiare per la capacità di integrare capacità di analisi e valutazione dei principali fattori connessi ai processi di gestione delle risorse energetiche e ambientali, con l'analisi e il monitoraggio di sistemi energetici e ambientali complessi e con la capacità di progettare, sperimentare e realizzare sistemi impiantistici innovativi. Nel caso delle rinnovabili il modello si realizza affrontando sia sul piano generale che nello specifico territoriale questioni connesse, da una parte con la conoscenza del territorio e con i meccanismi di utilizzo delle sue risorse e, dall'altra, con lo sviluppo di tecnologie per la produzione e l'uso ambientalmente sostenibile dell'energia.

*la scommessa
sulle
rinnovabili è
ancora aperta*

Tra le modalità di intervento dell'ENEA si sottolineano:

- la realizzazione di studi sul sistema energetico e ambientale nazionale e il monitoraggio dei processi in atto attraverso l'analisi di indicatori utili per la valutazione delle politiche e misure adottate, la realizzazione di scenari a supporto delle politiche di intervento pubblico;
- lo sviluppo di tecnologie e metodologie per la conoscenza e il monitoraggio del sistema energetico-ambientale, per la formulazione di programmi a scala nazionale e territoriale diretti alla mitigazione e all'adattamento agli effetti dei cambiamenti del clima, per la valutazione del potenziale energetico delle fonti rinnovabili di energia;
- la ricerca e la sperimentazione, anche di concerto con altri centri di ricerca e imprese industriali, di nuove soluzioni tecnologiche per ampliare l'offerta di *know how* a disposizione del sistema produttivo nazionale nel suo complesso;
- l'attività di supporto tecnico alla promozione di iniziative a livello territoriale, di concerto con gli enti locali, per favorire la scelta delle migliori soluzioni tecnologiche, per superare le barriere alla diffusione, stimolare le proposte, monitorare i risultati, valutare l'andamento delle iniziative ed effettuare analisi statistiche affidabili;
- l'attività di supporto alle piccole e medie imprese attraverso i propri laboratori di prova per qualificare e certificare componenti e sistemi (in particolare i laboratori del Centro di Ricerca della Trisaia per i dispositivi solari a bassa temperatura e per la produzione di energia dalle biomasse, del Centro di Ricerca di Portici per i componenti fotovoltaici e del Centro di Ricerca di Saluggia per la qualificazione di dispositivi per il riscaldamento a biomasse).

**contribuire
al bilancio
energetico in
uno specifico
ambito
territoriale**

E' importante sottolineare che le fonti rinnovabili, con la loro caratteristica di ampia diffusione sul territorio, possono accrescere significativamente il loro contributo al bilancio energetico del Paese nell'ambito dei cosiddetti "distretti energetici territoriali". In questa ottica assume particolare importanza lo sviluppo di piattaforme software di simulazione ed ottimizzazione per la progettazione e gestione di reti che permettano di accoppiare in modo efficace ed efficiente le sorgenti e le utenze energetiche in uno specifico ambito territoriale, in particolare per lo sviluppo della generazione distribuita di energia elettrica.

Per informazioni: carlo.manna@sede.enea.it

Bibliografia

IPCC, *Climate Change 2001: The scientific basis*.

Dati statistici Italia 2004, GRTN 2005.

Renewables Information 2005, IEA 2005.

World Energy, Technology and climate policy Outlook, WETO - CE 2003.

Lo sviluppo delle rinnovabili in Italia tra necessità e opportunità, ENEA 2005.

Rapporto Energia e Ambiente, ENEA 2005.

Strategia europea per i biocarburanti

COMMISSIONE EUROPEA

spazio aperto

L'Unione Europea sostiene i biocarburanti con l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra, diversificare le fonti di approvvigionamento, offrire importanti opportunità di guadagno alle zone rurali e sviluppare sostituti a lungo termine per il petrolio.

Pubblichiamo ampi stralci della recente Comunicazione, COM(2006)34 def., che illustra la strategia adottata dalla Commissione

The EU's biofuel strategy

The EU is supporting biofuels, with the aim of reducing greenhouse-gas emission, encouraging the decarbonisation of fuels used in transportation, diversifying energy procurement, offering new earning opportunities in rural areas, and developing long-term replacements for oil. We publish lengthy excerpts from the recent Communication, COM(2006) 34 def. which describes the strategy adopted by the Commission

**eccessiva
dipendenza
dalle
importazioni di
petrolio e gas**

Secundo le stime disponibili, all'interno dell'UE i trasporti sono responsabili del 21% di tutte le emissioni di gas serra che contribuiscono al surriscaldamento del pianeta, e la cifra è in aumento. Per realizzare gli obiettivi di sostenibilità, in particolare la riduzione delle emissioni di gas serra approvata nell'ambito del protocollo di Kyoto, è dunque fondamentale trovare soluzioni per diminuire le emissioni del settore. Ma questo non è l'unico problema da risolvere. Quasi tutta l'energia utilizzata nel settore dei trasporti dell'UE proviene dal petrolio. I giacimenti conosciuti di petrolio sono limitati in quantità e circoscritti ad alcune regioni del mondo. Esistono nuovi giacimenti che però, nella maggior parte dei casi, saranno più difficili da sfruttare. Garantire l'approvvigionamento energetico per il futuro non è, pertanto, solo una questione di ridurre la dipendenza dalle importazioni, ma impone l'adozione di un ampio ventaglio di iniziative politiche, compresa la diversificazione delle fonti e delle tecnologie¹.

Nell'UE sono già state intraprese alcune azioni. L'industria automobilistica, ad esempio, sta sviluppando nuovi modelli più puliti ed efficienti in termini di consumo energetico e sta anche studiando veicoli di nuova concezione. Sono inoltre in atto tentativi di migliorare i trasporti pubblici e di incentivare, ove possibile, l'uso di modalità di trasporto compatibili con l'ambiente². Servono tuttavia altre iniziative per ridurre il quantitativo di energia utilizzato per i trasporti.

I paesi in via di sviluppo si trovano ad affrontare problematiche simili se non maggiori per quanto riguarda l'energia nel settore dei trasporti: l'aumento del prezzo del petrolio ha ripercussioni negative sulle bilance dei pagamenti; la dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili li rende vulnerabili e, infine, anch'essi devono ridurre le emissioni di gas serra.

L'importanza determinante che la politica energetica riveste per aiutare l'UE a far fronte alle sfide della globalizzazione è stata ribadita dai capi di Stato e di governo dell'Unione nel corso del vertice informale di Hampton Court dell'ottobre 2005. In quell'occasione, la Commissione è stata invitata a preparare proposte per rinnovare la politica energetica europea. Un elemento importante di tale approccio dovrebbe essere la presentazione di soluzioni per affrontare l'eccessiva dipendenza dell'Europa dalle importazioni di petrolio e di gas e lo sviluppo di un'impostazione coerente finalizzata a ridurre progressivamente tale dipendenza e fondata su una solida analisi degli impatti economici, ambientali e sociali.

La presente comunicazione esamina il ruolo che i biocarburanti potrebbero svolgere in questo contesto. Ricavati dalla biomassa, una fonte di energia rinnovabile, i biocarburanti rappresentano un sostituto diretto dei combustibili fossili impiegati nel settore dei trasporti e possono essere integrati rapidamente nei sistemi di distribuzione del carburante. Possono rappresentare un combustibile alternativo nel settore dei trasporti, accanto ad altre alternative, e possono pertanto aprire la strada ad ulteriori sviluppi avanzati, come la tecnologia dell'idrogeno.

Nonostante in generale i loro costi siano ancora più elevati di quelli dei combustibili fossili, il loro utilizzo è in aumento in tutto il mondo. Grazie alla spinta di misure politiche e strategiche, la produzione mondiale di biocarburanti è oggi stimata a oltre 35 miliardi di litri.

¹ Come sottolineato nel Libro verde "Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico", COM(2000) 769 def.

² Cfr. il Libro Bianco "La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte", COM(2001) 370 def.

L'UE sta sostenendo i biocarburanti con l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra, di incentivare la decarbonizzazione dei combustibili per trasporto, di diversificare le fonti di approvvigionamento e di sviluppare sostituti a lungo termine per il petrolio. Incrementando la produzione di biocarburanti dovrebbero aprirsi nuove opportunità di diversificare il reddito e l'occupazione nelle zone rurali.

Nell'ambito del riesame della direttiva sui biocarburanti³, che la Commissione dovrebbe ultimare entro la fine del 2006, verranno approfonditi vari aspetti quali l'efficacia dei costi, il livello di ambizione oltre il 2010 nonché la valutazione e il monitoraggio dell'impatto ambientale complessivo dei biocarburanti.

La produzione di biocarburanti da materie prime (feedstock) adeguate potrebbe inoltre portare benefici economici e ambientali in vari paesi in via di sviluppo, potrebbe creare nuovi posti di lavoro, ridurre la fattura energetica e aprire potenziali mercati di esportazione. La produzione di bioetanolo, in particolare, potrebbe rappresentare un'alternativa praticabile per alcuni paesi produttori di zucchero interessati dalla riforma UE del settore. La presente comunicazione integra il piano d'azione per la biomassa⁴ ed è corredata di una valutazione d'impatto che illustra varie alternative. In base alla valutazione la Commissione propone un approccio di mercato regolamentato (corrispondente alla soluzione n.2 presentata nella valutazione d'impatto) che rispecchia le conoscenze attualmente disponibili e che tenta di aprire la strada a sviluppi futuri. Questa alternativa, in particolare, favorisce un approccio equilibrato nei negoziati commerciali sui biocarburanti, l'impiego degli strumenti disponibili nell'ambito della politica agricola, di sviluppo rurale e di coesione e lo sviluppo di un pacchetto coerente di aiuti per i paesi in via di sviluppo. Le tecnologie esistenti non rappresentano ancora soluzioni concorrenziali sotto il profilo dei costi per l'UE, ma i benefici derivanti dalla promozione dello sviluppo dei biocarburanti dovrebbero superare i costi. In questo contesto lo sviluppo dei biocarburanti di seconda generazione, in cui la ricerca e lo sviluppo svolgono un ruolo importante, potrebbe dare un ulteriore contributo alla loro efficacia economica. Considerato il fatto che gli aspetti in gioco sono complessi, dinamici e interessano più settori, è stato adottato un approccio strategico, di cui sarà necessario monitorare da vicino l'impatto. Visto che il mercato dei biocarburanti è in continua evoluzione, si provvederà a discutere tutte le modifiche necessarie e ad integrarle nella strategia.

*sviluppare
biocarburanti
di seconda
generazione*

Realizzare le potenzialità dei biocarburanti – un approccio strategico

Nel recente piano d'azione per la biomassa sono già descritte varie iniziative destinate ad incentivare l'utilizzo delle biomasse per la produzione di energia rinnovabile. La presente comunicazione illustra ora una strategia dell'UE per i biocarburanti con tre finalità precise:

- promuovere maggiormente i biocarburanti nell'UE e nei paesi in via di sviluppo e garantire che la loro produzione e il loro utilizzo siano in generale compatibili con l'ambiente e che possano dare un contributo alla realizzazione degli obiettivi di Lisbona tenendo conto delle considerazioni relative alla competitività;
- avviare i preparativi per un utilizzo su vasta scala dei biocarburanti migliorandone

³ Direttiva 2003/30/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'8 maggio 2003, sulla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti (GU L 123 del 17.5.2003).

⁴ COM(2005)628, adottato il 7 dicembre 2005.

la competitività in termini di costi attraverso l'ottimizzazione della coltivazione di materie prime dedicate, la ricerca sui biocarburanti "di seconda generazione" e il sostegno alla diffusione sul mercato, incrementando la scala dei progetti di dimostrazione ed eliminando gli ostacoli di carattere non tecnico;

- esaminare le opportunità che si aprono per i paesi in via di sviluppo – compresi quelli interessati dalla riforma del regime UE dello zucchero – grazie alla produzione di materie prime per biocarburanti e di biocarburanti e definire il ruolo che l'UE potrebbe svolgere nell'incentivare lo sviluppo di una produzione sostenibile di biocarburanti.

I biocarburanti di prima generazione

Oggi i biocarburanti di prima generazione possono essere utilizzati in miscele a basse percentuali con i carburanti convenzionali nella maggior parte dei veicoli e possono essere distribuiti dall'infrastruttura esistente. Alcuni veicoli diesel possono essere alimentati interamente con biodiesel (B100) e in molti paesi del mondo sono già disponibili i cosiddetti veicoli flex-fuel, che funzionano con una miscela di carburanti convenzionali e non. Sostituire una parte del diesel o della benzina con biocarburanti è dunque il modo più semplice che consente al settore dei trasporti di dare un contributo immediato agli obiettivi di Kyoto, soprattutto perché i benefici si applicherebbero a tutto il parco veicoli. Trovare un sostituto per il diesel è particolarmente importante nel contesto europeo se si considera che oggi l'UE è un importatore netto di diesel, mentre esporta benzina.

Tuttavia, anche con le tecnologie più avanzate, difficilmente il costo dei biocarburanti prodotti nell'UE li renderà concorrenziali rispetto ai combustibili fossili. Con le tecnologie attuali, il costo del biodiesel prodotto nell'UE diventa interessante se il petrolio si stabilizza attorno a 60 euro al barile, mentre il bioetanolo diventa competitivo solo con il petrolio a circa 90 euro al barile.

I biocarburanti possono essere impiegati come combustibile alternativo nei trasporti, così come altre alternative come il gas naturale liquido, il gas naturale compresso, il gas di petrolio liquefatto (GPL) e l'idrogeno. Nonostante ciò, incentivare l'uso dei biocarburanti attualmente disponibili può essere visto come una fase intermedia per ridurre le emissioni di gas serra, per diversificare le fonti energetiche nel settore dei trasporti e per preparare l'economia dell'UE ad altre alternative in quest'ambito che non sono ancora del tutto pronte. Facendo propria la tendenza globale ad utilizzare i biocarburanti e garantendone una produzione sostenibile, l'UE potrà sfruttare ed esportare l'esperienza e le conoscenze di cui dispone e impegnarsi in attività di ricerca per rimanere all'avanguardia dello sviluppo tecnologico. Una strategia chiara da parte dell'UE favorirà inoltre un abbassamento dei costi di produzione.

L'approvvigionamento delle materie prime è un elemento determinante per il successo della strategia. Alcune delle disposizioni contenute nella politica agricola comune saranno pertanto riesaminate ed eventualmente adeguate. Il previsto aumento degli scambi mondiali di biocarburanti contribuirà infine a rendere stabile l'offerta nell'UE e in altre parti del mondo. La costruzione degli impianti per la produzione di combustibili alternativi, l'introduzione di motori di nuovo tipo e l'adeguamento del sistema di distribuzione del carburante comportano investimenti a lungo termine, per i quali sono richieste prospettive di stabilità in termini di domanda del

*biocarburanti
di prima
generazione,
uno fra i
possibili
combustibili
alternativi nei
trasporti*

mercato. Ciò significa che le misure a livello di offerta devono essere integrate da un efficace sistema di incentivi di mercato. A medio termine saranno necessari investimenti supplementari per passare all'utilizzo delle nuove tecnologie e materie prime. La silvicoltura e i materiali di scarto avranno un ruolo sempre più importante se si riuscirà a rendere efficaci sotto il profilo commerciale i processi di "seconda generazione".

Per sfruttare al massimo le opportunità odierne e future, la Commissione è impegnata ad incentivare il mercato dei biocarburanti di prima generazione, che sarà integrato dalle nuove tecnologie che man mano compariranno sulla scena.

I biocarburanti di seconda generazione e oltre

Una delle tecnologie più promettenti per i biocarburanti di seconda generazione – i processi che sfruttano le biomasse lignocellulosiche – è già ben avanzata: nell'UE esistono tre impianti pilota, in Svezia, Spagna e Danimarca. Tra le altre tecnologie che convertono la biomassa in biocombustibili liquidi figurano l'FT-Diesel (diesel di sintesi derivato dal processo di Fischer-Tropsch) e il biodimetiltere. Impianti dimostrativi di queste tecnologie sono presenti in Germania e in Svezia.

Il gas naturale di sintesi può essere prodotto da fonti fossili e rinnovabili. Il gas naturale di sintesi rinnovabile presenta vantaggi considerevoli in termini di riduzione del CO₂ e potrebbe rappresentare un passo decisivo nello sviluppo di altri combustibili gassosi.

Secondo il gruppo ad alto livello CARS 21⁵ i biocarburanti di seconda generazione sono particolarmente promettenti. Il gruppo ha raccomandato di sostenerne lo sviluppo in maniera significativa e ha inoltre concluso che occorre prendere in esame altri sviluppi a livello politico e studiare i diversi benefici in termini di cambiamenti climatici derivanti dalle diverse tecnologie e processi di produzione dei biocarburanti.

L'utilizzo su vasta scala di biocarburanti competitivi sotto il profilo dei costi necessita una preparazione e per questo serve una continua attività di ricerca e sviluppo che garantisca il successo delle nuove tecnologie.

La piattaforma tecnologica europea sui biocarburanti e altre piattaforme tecnologiche possono svolgere un ruolo cruciale in questo senso. Occorre inoltre attivarsi per lo sviluppo di materie prime dedicate e ampliare la rosa delle materie prime utilizzabili per la produzione di biocarburanti.

Serviranno partnership tra tutti i soggetti interessati per promuovere la diffusione di buone pratiche e agevolare gli investimenti privati sul lungo termine. A questo proposito la Banca europea degli investimenti (BEI) potrebbe finanziare lo sviluppo e l'incremento di scala di progetti e tecnologie praticabili sotto il profilo economico.

Gli sviluppi nel settore saranno oggetto di monitoraggio a livello di UE per garantire un sostegno al momento giusto e passare dai progetti di dimostrazione ad operazioni su scala commerciale.

Allo stesso tempo occorrono garanzie riguardo ai benefici ambientali di tutti i nuovi processi e bisognerà eliminare tutti gli ostacoli non tecnici alla diffusione delle nuove tecnologie. Infine, le tecnologie avanzate per la produzione di biocarburanti potrebbero rappresentare una svolta anche per la produzione rinnovabile di idrogeno, che in prospettiva potrebbe permettere di realizzare trasporti a emissioni zero. Le

R&S per garantire il successo di nuove tecnologie

⁵ Il gruppo ad alto livello CARS 21 è stato istituito dal vicepresidente Verheugen per esaminare le sfide in termini di competitività che l'industria automobilistica europea deve affrontare. Il 12 dicembre 2005 ha adottato il proprio rapporto, consultabile al seguente indirizzo: <http://www.europa.eu.int/comm/enterprise/automotive/pages/background/competitiveness/cars21finalreport.pdf>.

celle a combustibile a idrogeno richiedono però motori di nuova concezione e ingenti investimenti negli impianti che producono l'idrogeno, oltre che un nuovo sistema di distribuzione. In questo contesto è necessario valutare approfonditamente la sostenibilità dell'idrogeno. L'eventuale passaggio a trasporti a idrogeno richiederebbe pertanto una decisione di notevole peso, che va inserita in una strategia di vasta scala e a lungo termine.

I biocarburanti nei paesi in via di sviluppo

La produttività delle biomasse è più elevata negli ambienti tropicali e i costi di produzione dei biocombustibili – soprattutto l'etanolo – sono relativamente bassi in vari paesi in via di sviluppo. Il bioetanolo ottenuto dalla canna da zucchero è oggi competitivo con i combustibili fossili in Brasile, il maggiore produttore mondiale di bioetanolo. Inoltre, l'apporto energetico da combustibili fossili necessario per produrre etanolo dalla canna da zucchero è inferiore a quello necessario per l'etanolo prodotto in Europa e, di conseguenza, le riduzioni delle emissioni sono più consistenti. Per quanto riguarda il biodiesel oggi l'UE è il produttore principale e non c'è un commercio significativo. Paesi in via di sviluppo come la Malesia, l'Indonesia e le Filippine, che oggi producono biodiesel destinato al consumo interno, in futuro potrebbero benissimo esportarlo.

In generale la produzione di biocarburanti potrebbe rappresentare una possibilità di diversificare l'attività agricola, ridurre la dipendenza dai combustibili fossili

Biocombustibili: Progressi a livello nazionale

Stato membro	Quota del mercato 2003	Obiettivo nazionale indicativo per il 2005	Aumento realizzato, 2003-2005
AT	0,06%	2,5%	+2,44%
BE	0	2%	+2%
CY	0	1%	+1%
CZ	1,12%	1,7% (2006)	+1,72% (presupponendo un percorso lineare)
DK	0	0%	+0%
EE	0	non ancora dichiarato	non ancora dichiarato
FI	0,1%	0,1%	+0%
FR	0,68%	2%	+1,32%
DE	1,18%	2%	+0,82%
GR	0	0,7%	+0,7%
HU	0	0,4-0,6%	+0,4-0,6%
IE	0	0,06%	+0,06%
IT	0,5%	1%	+0,5%
LA	0,21%	2%	+1,79%
LI	0 (presunta)	2%	+2%
LU	0 (presunta)	non ancora dichiarato	non ancora dichiarato
MT	0	0,3%	+0,3%
NL	0,03%	2% (2006)	+0% (dal gennaio 2006 sono in vigore misure di incentivazione)
PL	0,49%	0,5%	0,01%
PT	0	2%	+2%
SK	0,14%	2%	+1,86%
SI	0 (presunta)	non ancora dichiarato	non ancora dichiarato
ES	0,76%	2%	+1,24%
SV	1,33%	3%	+1,67%
UK	0,03%	0,3%	+0,2%
EU25	0,6%	1,4%	+0,8%

Fonte:

2003: relazioni nazionali redatte a norma della Direttiva Biocombustibili, tranne Belgio (dati Eurostat per il 2002) e Italia (Eu-Observ'ER)

2005: relazioni nazionali redatte a norma della Direttiva Biocombustibili. Il dato EU25 presuppone uno sviluppo lineare per CZ, 0 per NL, e 0 per i tre paesi che non hanno ancora dichiarato un obiettivo.

(in particolare il petrolio) e dare un contributo alla crescita economica sostenibile. Occorre tuttavia riconoscere che la situazione nei vari paesi in via di sviluppo è variegata ed esistono aspetti di ordine ambientale, economico e sociale che destano preoccupazione.

Le diverse prospettive che caratterizzano la produzione e l'utilizzo dei biocarburanti nei paesi in via di sviluppo riguardano i tipi di materie prime prodotti e una serie di fattori economici. Per lo sviluppo di biocarburanti destinati al consumo interno il prezzo del petrolio sul mercato mondiale è un fattore importante.

Altri elementi da considerare sono: i) la potenziale scala di produzione; ii) la dimensione del mercato nazionale o regionale; iii) gli investimenti necessari per le infrastrutture; iv) il grado di sostegno delle politiche; v) le possibilità di esportazione (UE, USA, Giappone, Cina); vi) il prezzo di mercato delle materie prime da utilizzare per la produzione di biocarburanti.

Nei paesi dove è probabile un'espansione su vasta scala della produzione di materie prime emergono alcuni timori per l'ambiente, a causa delle pressioni esercitate su aree sensibili come le foreste pluviali.

Non bisogna inoltre dimenticare le ripercussioni sulla fertilità del suolo, sulla disponibilità e la qualità dell'acqua e sull'impiego di pesticidi.

Tra gli effetti di ordine sociale si ricordano il potenziale allontanamento di comunità e la concorrenza che verrebbe a instaurarsi tra le attività destinate alla produzione di biocarburanti e quelle destinate alla produzione di alimenti. Su tutti questi aspetti è indispensabile svolgere studi approfonditi per quantificare le conseguenze e, se necessario, dovranno essere istituiti quadri normativi forti. La politica di sviluppo dell'UE punterà ad aiutare i paesi in via di sviluppo più adatti a sfruttare i vantaggi offerti dai biocarburanti e a far fronte alle problematiche esposte in precedenza nel modo più consono.

*acquisto
pubblico di
veicoli puliti
ed efficienti*

La strategia per i biocarburanti – sette direttrici politiche

Nel presente capitolo sono descritte le sette direttrici politiche nell'ambito delle quali sono raggruppate le misure che la Commissione intende adottare per incentivare la produzione e l'utilizzo dei biocarburanti.

1. Incentivare la domanda di biocarburanti

La Commissione intende:

- presentare, nel corso del 2006, una relazione nella quale eventualmente contemplare il riesame della direttiva sui biocarburanti. La relazione approfondirà vari aspetti, tra cui quello della definizione degli obiettivi nazionali per la quota di mercato rappresentata dai biocarburanti, l'applicazione di obblighi in materia di biocarburanti e la garanzia della sostenibilità della produzione;
- incentivare gli Stati membri a concedere un trattamento favorevole ai biocarburanti di seconda generazione nell'ambito degli obblighi in materia di biocarburanti;
- invitare il Consiglio e il Parlamento europeo ad approvare rapidamente la proposta legislativa di recente adozione intesa a promuovere l'acquisto pubblico di veicoli puliti ed efficienti, compresi quelli che utilizzano miscele con percentuali elevate di biocarburanti.

3. Sfruttare i vantaggi ambientali

La Commissione intende:

- esaminare in che modo i biocarburanti possano essere contabilizzati per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ per i parchi auto;
- studiare ed eventualmente proporre le misure più opportune per garantire di ottenere vantaggi ottimali dai biocarburanti in termini di emissioni di gas serra;
- attivarsi per garantire la sostenibilità delle attività di coltivazione delle materie prime per i biocarburanti all'interno dell'UE e nei paesi terzi;
- esaminare gli aspetti inerenti i limiti al contenuto di etanolo, etere e altri composti ossigenati della benzina, i limiti per la tensione di vapore della benzina e i limiti al contenuto di biodiesel nel diesel.

4. Sviluppare la produzione e la distribuzione di biocarburanti

*campagna di
informazione
per gli
agricoltori*

La Commissione intende:

- incentivare gli Stati membri e le regioni a considerare i vantaggi dei biocarburanti e di altre bioenergie nella preparazione dei rispettivi quadri strategici di riferimento e programmi operativi nazionali previsti dalla politica di coesione e dalla politica di sviluppo rurale;
- proporre di creare un gruppo ad hoc specifico per valutare le opportunità offerte dalle biomasse e dai biocarburanti nell'ambito dei programmi di sviluppo rurale nazionali;
- chiedere alle industrie del settore di motivare, sotto il profilo tecnico, il ricorso a pratiche che ostacolano l'introduzione dei biocarburanti e monitorarne il comportamento per garantire che non vi siano discriminazioni nei confronti dei biocarburanti

5. Ampliare le forniture di materie prime

La Commissione intende:

- far beneficiare la produzione di zucchero finalizzata a ricavare etanolo del regime non alimentare sui terreni ritirati dalla produzione e del premio sulle colture energetiche;
- valutare la possibilità di sottoporre i cereali delle scorte di intervento già esistenti a una trasformazione supplementare per ottenerne biocarburanti, onde contribuire a ridurre i quantitativi di cereali esportati con restituzione;
- valutare, entro la fine del 2006, come è stato applicato il regime relativo alle colture energetiche;
- monitorare l'impatto della domanda di biocarburanti sui prezzi delle merci e dei sottoprodotti, nonché la loro disponibilità per le industrie concorrenti e verificare l'impatto sugli approvvigionamento alimentari e sui prezzi, sia nell'UE che nei paesi in via di sviluppo;
- finanziare una campagna d'informazione per gli agricoltori e gli imprenditori forestali per illustrare le caratteristiche delle colture energetiche e le opportunità che esse offrono;
- presentare un piano d'azione sulla silvicoltura nel quale l'utilizzo energetico del materiale forestale avrà un ruolo importante;

- analizzare come si può modificare la normativa sui sottoprodotti di origine animale per favorire l'autorizzazione e l'approvazione di procedimenti alternativi per la produzione di biocarburanti;
- mettere in atto il meccanismo proposto per chiarire le norme applicabili all'utilizzo secondario dei materiali di scarto.

5. Potenziare le opportunità commerciali

La Commissione intende:

- valutare i vantaggi, gli svantaggi e le implicazioni giuridiche insiti in una proposta finalizzata a introdurre un codice di nomenclatura doganale distinto per i biocarburanti;
- mantenere condizioni di accesso al mercato per il bioetanolo importato che non risultino meno favorevoli rispetto a quelle garantite dagli accordi commerciali attualmente in vigore e, in particolare, mantenere un livello comparabile di accesso preferenziale per i paesi ACP (paesi dell'Africa, dei Caraibi e del Pacifico), tenendo conto del problema dell'erosione delle preferenze;
- cercare di realizzare un approccio equilibrato nell'ambito dei negoziati in corso e futuri con i paesi e le regioni produttori di etanolo: nel contesto di un aumento della domanda di biocarburanti l'UE rispetterà gli interessi dei produttori nazionali e dei suoi partner commerciali;
- proporre modifiche alla norma sul biodiesel, per favorire l'impiego di una rosa più ampia di oli vegetali per la produzione di biodiesel e per consentire la sostituzione di metanolo con etanolo nella produzione di biodiesel.

piani di azione regionali sui biocarburanti

6. Sostenere i paesi in via di sviluppo

La Commissione intende:

- garantire che le misure di accompagnamento destinate ai paesi aderenti al protocollo dello zucchero colpiti dalla riforma UE del settore possano servire a sostenere lo sviluppo della produzione di etanolo;
- garantire un pacchetto coerente di aiuti per i biocarburanti utilizzabile nei paesi in via di sviluppo nei quali i biocarburanti offrono buone potenzialità;
- esaminare come l'UE potrebbe contribuire al meglio allo sviluppo di piattaforme nazionali per i biocarburanti e all'elaborazione di piani d'azione regionali sui biocarburanti che risultino sostenibili per l'ambiente e per l'economia.

7. Sostenere la ricerca e lo sviluppo

La Commissione intende:

- continuare a sostenere, nell'ambito del Settimo programma quadro, lo sviluppo dei biocarburanti e biocombustibili e a rafforzare la competitività di questo comparto;
- dare la massima priorità alla ricerca sul concetto di "bioraffineria" – cioè la possibilità di trovare un utilizzo utile per tutte le parti dei vegetali – e sui biocarburanti di seconda generazione;
- continuare ad incentivare lo sviluppo di una "piattaforma tecnologica per i biocarburanti" portata avanti dall'industria e attivare altre piattaforme tecnologiche attinenti;
- sostenere l'attuazione dell'Agenda strategica di ricerca preparata dalle piattaforme tecnologiche interessate.

La **dimensione etica** dei **cambiamenti climatici**

VINCENZO FERRARA

ENEA

Progetto Speciale Clima Globale

spazio aperto

Etica dei cambiamenti climatici ed equità nell'attuazione del Protocollo di Kyoto sono i cardini attorno ai quali il processo negoziale può essere rilanciato o può definitivamente bloccarsi

The **ethical dimension** of **climate change**

The ethical dimension of climate change and the problem of fairness in implementing the Kyoto Protocol and the post-Kyoto phase have become the hinge around which the negotiating process can be relaunched or definitively blocked. This article discusses some aspects of the international debate that can be useful in understanding the issues. ENEA conducts no programmatic activities of its own in this field, but, as the national Focal Point for the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), it participates in the international exchange of information on the subject

I cambiamenti climatici indotti dalle attività umane, oltre alle questioni di ricerca scientifica sull'effetto serra, e oltre ai problemi di impatto ambientale e di sviluppo socio-economico posti da un riscaldamento climatico globale, sono anche la causa di controversie economiche su costi, benefici e danni che il cambiamento del clima comporta, controversie che derivano inevitabilmente dalle ingiustizie sociali che si creano o che si aggravano con le variazioni climatiche.

I paesi maggiormente responsabili delle emissioni di anidride carbonica e degli altri gas ad effetto serra e, quindi dei cambiamenti climatici indotti dalle attività umane, non saranno quelli che subiranno le maggiori conseguenze negative dai cambiamenti del clima, anzi, paradossalmente, potrebbero averne dei benefici. Per esempio, vasti territori del Canada settentrionale, dell'Alaska, della Groenlandia e della Siberia, attualmente inospitali e ricoperti di ghiacci per gran parte dell'anno, diventerebbero suoli agricoli o aree utilizzabili per moltissimi attività umane. Tra l'altro, la fusione dei ghiacci artici aprirebbe nuove possibilità per la navigazione marittima e consentirebbe trasporti e commerci via mare, tra Europa occidentale ed Asia orientale, molto più convenienti di quelli attuali. Viceversa, i paesi più poveri, come i paesi africani e gran parte di quelli dell'America latina, subiranno, invece, le maggiori conseguenze negative ed i maggiori danni derivanti dai cambiamenti del clima. Infatti, circa il 90% delle emissioni globali dei gas serra che si sono accumulati in atmosfera proviene dai paesi industrializzati i quali, complessivamente, rappresentano circa il 20% della popolazione mondiale. I maggiori rischi di danni, secondo le più recenti proiezioni, ricadranno, invece, sul rimanente 80% della popolazione mondiale che, nei riguardi del riscaldamento climatico originato dalle attività umane, ha una responsabilità storica limitata ai soli motivi di sopravvivenza. Questo significa che i cambiamenti climatici attuali, ma ancor più quelli previsti per il futuro, creeranno nuove ingiustizie fra i popoli aumentando, anziché diminuire, le distanze fra paesi ricchi e paesi poveri.

La "Convenzione quadro della Nazioni Unite sui cambiamenti climatici" (UNFCCC), per tener conto della disparità di situazioni tra paesi ricchi e paesi poveri, prima di impostare finalità, obiettivi ed azioni per la protezione del clima, ha identificato alcuni principi generali, in base ai quali la cooperazione internazionale e la ripartizione dei sacrifici e dei costi, così come dei benefici e dei danni, avrebbero dovuto trovare idonee soluzioni. Trattandosi di principi etici e non scientifici, non sono ovviamente traducibili in presupposti o condizioni scientificamente indiscutibili.

Di conseguenza, essi vanno innanzitutto interpretati e, quindi, utilizzati come riferimenti guida, sia nelle scelte sia nella regolamentazione degli impegni che ogni singolo paese è chiamato ad attuare. Tali riferimenti guida devono costituire la base di un sistema di valori condivisi, che comprenda anche il valore etico, oltre che economico, del benessere sociale che si vuole mantenere o conseguire in relazione alla minaccia di un cambiamento climatico. I principi generali enunciati dalla UNFCCC hanno, infatti, tracciato il percorso dei negoziati per mettere a punto il protocollo di Kyoto, compresa la definizione quantitativa di priorità, impegni, azioni e relative scadenze temporali. Il protocollo di Kyoto è stato sottoscritto nel 1997, ma è entrato in vigore solo nel 2005 dopo una lunga serie di controversie, che lo avevano portato sull'orlo del fallimento nell'anno 2000. I successivi accordi di Marrakesh, alla fine, hanno trasformato il protocollo da uno strumento per risolvere il problema dei cambiamenti climatici, in uno strumento che cerca di promuovere la convenienza economica delle iniziative energetiche ed ambientali, dove il clima ha solo una valenza simbolica. Ciò nonostante, USA ed Australia hanno abbandonato il protocollo di Kyoto.

Poiché il protocollo di Kyoto interferisce pesantemente con numerosi grandi interessi multinazionali e con la concezione attuale di sviluppo socio-economico, le numerose difficoltà

*evitare
nuove
ingiustizie
fra i popoli*

che sono sorte devono trovare soluzione, innanzitutto nella correttezza e nella trasparenza di tutti i processi di attuazione. Ma non basta. La volontà di una cooperazione internazionale su azioni condivise, si costruisce sulla base di una consapevolezza responsabile e di una convinzione comune che i presunti costi sono opportunità, che le presunte interferenze sono occasioni di un nuovo modo di concepire lo sviluppo, ma soprattutto che è giusto, equo e doveroso che ogni paese faccia la propria parte per il bene dell'umanità. Questa base si chiama etica dal punto di vista filosofico, ma, si chiama equità dal punto di vista pragmatico. E l'equità costituisce il presupposto della giustizia.

Come è stato impostato il rischio clima

Il rischio clima, attraverso la UNFCCC, è stato impostato dalle Nazioni Unite sulla base del principio di precauzione che, per molti versi, rappresenta anche la giustificazione del perché le Nazioni Unite si occupino dei cambiamenti climatici globali. Le Nazioni Unite, nel riconoscere che i cambiamenti climatici ed i conseguenti effetti negativi costituiscono una preoccupazione comune di tutta l'umanità, richiamano l'attenzione sul fatto che nessun paese o gruppo di paesi deve sottrarsi al dovere di proteggere il clima globale per le generazioni attuali e quelle future e chiede di adottare misure idonee a fronteggiare i rischi comuni. Come si affrontano i rischi comuni?

Si affrontano come tutti i rischi: con la prevenzione. La UNFCCC, però, non usa la parola "prevenzione" perché il concetto di prevenzione fa riferimento ad un rischio preciso e statisticamente determinato in termini di distribuzione delle probabilità, ma usa, più correttamente, la parola "precauzione" perché il rischio climatico, allo stato delle attuali conoscenze scientifiche, non è quantificabile in modo certo, come si fa nelle normali analisi di rischio. Tuttavia, dice la UNFCCC, l'incertezza delle conoscenze scientifiche non può essere usata come scusa per posticipare azioni ed interventi quando esiste comunque la possibilità di un danno irreversibile sul breve, ma soprattutto sul lungo periodo.

Allora è meglio predisporre le contromisure cautelative che si ritiene possano essere le più adeguate per contenere e minimizzare i possibili o gli eventuali danni, piuttosto che non fare nulla. A questo punto l'impostazione è la seguente: se il problema dei cambiamenti climatici, generato dalle attività umane, rappresenta complessivamente un rischio aggiuntivo (anche se non scientificamente determinabile), per lo sviluppo ed il benessere dell'umanità, questo rischio aggiuntivo va affrontato sia a monte del rischio e cioè sulle cause di origine antropica che aumentano il rischio dei cambiamenti del clima, sia a valle del rischio, e cioè sugli effetti e le conseguenze negative che si potrebbero manifestare qualora il cambiamento climatico avvenisse. Le azioni a monte fanno parte della cosiddetta "strategia di mitigazione dei cambiamenti climatici" ed hanno l'obiettivo di eliminare, o quanto meno rallentare, i cambiamenti climatici dovuti alle attività antropiche, ed in particolare eliminare la principale causa che è l'accumulo di gas serra in atmosfera provenienti dalle attività umane, accumulo che, per le caratteristiche che hanno questi gas serra di trattenere il calore, determina uno spostamento dell'equilibrio complessivo del bilancio energetico del sistema climatico e, quindi, una variazione del clima.

Le azioni a valle fanno parte della cosiddetta "strategia di adattamento ai cambiamenti climatici" ed hanno l'obiettivo di predisporre piani, programmi, azioni e misure tali da minimizzare le conseguenze negative e i danni causati dai possibili, o probabili, cambiamenti climatici, cioè tali, sia da ridurre la vulnerabilità territoriale e quella socio-economica ai cambiamenti del clima, sia da sfruttare le nuove opportunità di sviluppo socio-economico che dovessero sorgere a causa dei cambiamenti del clima e dei suoi effetti.

*il principio di
precauzione
per
fronteggiare
il rischio clima*

Come è stata affrontata la prevenzione del rischio clima

Li individuazione delle azioni da svolgere, la suddivisione ed coordinamento di tali azioni e tutta la programmazione di chi doveva fare che cosa ed in quali tempi, è stata affrontata dalla UNFCCC sulla base del principio di responsabilità o meglio “della responsabilità comune ma differenziata”, una volta definito l’obiettivo generale di tutti gli impegni e di tutte le azioni da svolgere per prevenire (in termini di precauzione) il rischio clima.

L’obiettivo generale di tutte le azioni da svolgere è stato così definito: “obiettivo ultimo della UNFCCC e di tutti gli strumenti legali ad esso collegati, è la stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche dei gas serra ad un livello tale da prevenire pericolose interferenze delle attività umane con il sistema climatico. Tale livello di stabilizzazione deve essere raggiunto in un periodo di tempo sufficiente da permettere agli ecosistemi di adattarsi in modo naturale ai cambiamenti del clima, sufficiente da assicurare che la produzione alimentare non venga minacciata e sufficiente, infine, da consentire che lo sviluppo socio-economico mondiale possa procedere in modo sostenibile”. Il principio di responsabilità, che guida la programmazione delle azioni, stabilisce, in pratica, che tutti i paesi della terra, a causa delle loro emissioni in atmosfera, sono responsabili delle conseguenze dirette sul clima globale e sulle conseguenze indirette sull’ambiente globale derivanti dagli impatti dei cambiamenti del clima. Tuttavia, tale responsabilità non è uguale per tutti i paesi.

La responsabilità è appunto “differenziata”, in altre parole è diversa a seconda del contributo che ciascun paese ha dato storicamente all’inquinamento globale di gas ad effetto serra, a seconda delle condizioni di sviluppo socio-economico e industriale e delle capacità di perturbare l’ambiente globale e, infine, a seconda delle capacità di intervenire per porre rimedio alle perturbazioni indotte sul sistema climatico.

Questo principio implica che i paesi industrializzati, che sono i maggiori responsabili:

- devono impegnarsi più dei paesi in via di sviluppo per disinquinare il pianeta, e devono aiutare i paesi poveri affinché abbiano un percorso di sviluppo meno inquinante di quello che hanno avuto nel passato i paesi industrializzati;
- devono essere i primi, rispetto ai paesi in via di sviluppo, ad assumere e attuare impegni e azioni, ma devono anche assumere la leadership mondiale nella protezione del clima contro le interferenze antropogeniche;
- devono dimostrare di aver ottenuto risultati significativi nel disinquinare il pianeta, prima di chiedere l’assunzione di impegni e l’attuazione di analoghe azioni ai paesi in via di sviluppo e ai paesi più poveri.

Proprio in base a questo principio è stata programmata e resa operativa la cosiddetta “strategia di mitigazione dei cambiamenti climatici”: sono stati individuati e suddivisi gli impegni prioritari fra paesi sviluppati ed in via di sviluppo e sono state individuate due fasi di attuazione. Nella prima fase, che termina il 2012, i soli paesi industrializzati si impegnano su obiettivi quantificati di riduzione delle emissioni ed attuano tali impegni (di questo si occupa appunto il protocollo di Kyoto). Nella seconda fase che comincia dopo il 2012, sia i paesi industrializzati sia quelli in via di sviluppo si impegneranno congiuntamente su obiettivi quantificati comuni e attueranno di comune accordo i loro impegni (e di questo si occuperà il processo negoziale sul post Kyoto). Ci sono due osservazioni da fare. Innanzitutto, è stata stabilita una riduzione, piuttosto simbolica, del 5,2% delle emissioni di gas serra dei paesi industrializzati rispetto alle emissioni che avevano nel 1990, ma non è stato stabilito il livello di stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche di gas serra come richiesto dall’obiettivo generale della UNFCCC. La identificazione del livello di stabilizzazione è fonda-

il principio di responsabilità differenziata guida la programmazione

mentale per stabilire impegni ed azioni a partire dal 2012 e cioè nel post Kyoto. Ma è fondamentale, non tanto per la definizione della riduzioni delle emissioni globali di gas serra, che comunque dovrà attestarsi attorno al 60% rispetto al 1990, quanto piuttosto per individuare i tempi entro i quali dovranno attuarsi tali riduzioni: se, per esempio, entro il 2050, come chiede l'Unione Europea o entro un'altra data successiva al 2050, qualora il livello di stabilizzazione concordato sarà superiore a quello proposto dall'Unione Europea (che è di 500 ppm per l'anidride carbonica).

La seconda osservazione riguarda la responsabilità nei confronti dei cambiamenti climatici causati dalle attività umane. La responsabilità è stata suddivisa solo tra paesi industrializzati e paesi in via di sviluppo. In realtà, la responsabilità non è la stessa né nell'ambito dei paesi industrializzati (si pensi alle differenze abissali che ci sono fra gli Stati Uniti ed uno qualsiasi dei paesi dell'est europeo), né nell'ambito dei paesi in via di sviluppo (si pensi alle differenze abissali che vi sono fra Cina ed uno qualsiasi dei paesi più poveri dell'Africa). E' evidente che il principio di responsabilità è il riferimento necessario, ma non sufficiente, per impostare e pianificare i problemi di attuazione, perchè certamente non aiuta a risolverli. Una effettiva ed efficace attuazione di impegni ed azioni necessita, infatti, che la responsabilità sia opportunamente modulata da un altro principio o da un altro riferimento rispetto al quale si deve tener conto che la suddivisione dei costi e dei benefici (nel senso più ampio di questi termini) delle azioni da attuare deve trovare opportuno bilanciamento in relazione alle effettive circostanze nazionali.

**nella regolamentazione
traspare il
principio di
equità**

Il problema dell'equità

Le Nazioni Unite, attraverso la UNFCCC, non hanno sentito la necessità di stabilire diritti e doveri per l'utilizzazione di un bene comune dell'umanità, qual è l'atmosfera, così come, invece, avevano fatto per il mare, altro bene comune dell'umanità, dove c'è un trattato specifico sul "diritto del mare" entrato in vigore nel 1994 e che comprende anche gli accordi sulle acque internazionali. Ma nella UNFCCC non vengono individuati neanche principi di riferimento per regolamentare attività ed azioni da svolgere, come ad esempio è accaduto nel trattato che riguarda lo spazio extraterrestre (entrato in vigore nel 1967), in quello che riguarda l'Antartide, incluse le relative convenzioni e i protocolli collegati.

Per quanto riguarda l'atmosfera le Nazioni Unite hanno preferito procedere secondo il principio del caso per caso, come è avvenuto per la UNFCCC, ma anche per il trattato sull'inquinamento a grandi distanze (entrato in vigore nel 1983) e per il Protocollo di Montreal che riguarda la protezione dell'ozono stratosferico (entrato in vigore nel 1989).

L'unico riferimento che traspare nella UNFCCC ai fini di fornire un quadro di riferimento per la regolamentazione delle attività di attuazione, è il principio di equità.

Abbiamo usato la parola "traspare", perché il principio di equità non è né enunciato, né altrimenti definito. Sono invece, citati, senza peraltro definirli, alcuni aspetti importanti, ma non fondamentali, dell'equità ed in particolare: l'equità partecipativa, l'equità operativa e l'equità intergenerazionale.

L'equità partecipativa

Il primo aspetto, e cioè l'equità sotto il profilo della partecipazione, implica, da una parte, adeguate capacità tecnico-scientifiche e socio-economiche di ciascun paese che partecipa e, dall'altra parte adeguate capacità organizzative, strutturali e politico istituzionali. Solo così la discussione fra paesi ricchi e paesi poveri è paritaria sul piano del *know how* e su quel-

lo istituzionale ed il contributo alla negoziazione di impegni, obblighi e ripartizione dei costi, diventa effettivo e costruttivo.

Purtroppo molti paesi in via di sviluppo non hanno né gli esperti ed istituzioni scientifiche adeguate per competere con gli esperti dei paesi sviluppati, né decisori politici o istituzioni politiche e strutture organizzative capaci di competere con quelle dei paesi sviluppati. Di conseguenza proposte e decisioni risentono del diverso peso che i diversi paesi posseggono in termini di *know how* e di organizzazione e, dunque, in condizioni di non equità partecipativa. L'equità nella partecipazione è, invece, fondamentale affinché le scelte che si effettuano a livello internazionale non vengano recepite come imposizioni dei popoli più ricchi ai popoli più poveri o, comunque, più deboli e meno capaci di competere con le strutture, organizzazioni e le capacità scientifiche e culturali dei paesi più ricchi.

Se direttive, strategie e politiche di vario tipo, vengono recepite come imposizioni, il rischio reale che nasce è quello della delegittimazione delle scelte e, di conseguenza, della nascita o dell'accentuazione dei conflitti fra paesi ricchi e paesi poveri e, comunque, fra gruppi di Paesi di diverso livello economico e culturale.

L'equità operativa

Il secondo aspetto dell'equità è quello operativo, cioè come si rendono attuabili, decisioni ed impegni assunti per la protezione del clima globale e per lo sviluppo sostenibile, dal momento che gli accordi internazionali, in tale ambito, comportano, comunque, oneri e vincoli non solo economici. In particolare, l'equità operativa richiede che lo sforzo di attuazione degli impegni di ciascun paese, sia "equo ed appropriato". Siccome non è ulteriormente specificato che cosa si intenda per equo ed appropriato, questo aspetto dell'equità ha dato luogo a controversie interpretative ancora irrisolte, quantunque il problema sia stato sollevato in molte occasioni. L'equità operativa coinvolgerebbe, teoricamente, anche problemi di valutazione comparativa di costi e benefici delle azioni da attuare, in modo da non introdurre direttamente o indirettamente svantaggi o diseguaglianze aggiuntive tra i vari paesi ed in particolare tra paesi ricchi e paesi poveri.

L'equità intergenerazionale

La protezione del sistema climatico va a beneficio non solo delle presenti, ma anche delle future generazioni. Gli sforzi internazionali devono essere equi anche in questo contesto. Le future generazioni, infatti, non possono né intervenire, né influenzare le decisioni e gli impegni di oggi, ma ne subiscono, invece, le conseguenze. Gli economisti di autorevoli istituzioni internazionali, ma anche IPCC, hanno tentato di risolvere il problema proponendo metodologie monetarie e scenari socio-economici per confrontare costi/benefici delle attuali generazioni e costi/benefici di quelle future, ma, proprio perché l'umanità attuale e futura viene considerata solo sotto il profilo economico e dello sviluppo economico, ciò ha provocato più dissensi che consensi, soprattutto perché non si considerava il valore dell'umanità e dell'ambiente in quanto tali, ma si attribuivano all'ambiente e alla vita umana valori economici e, perfino, valori economici diversi da paese a paese.

Allo stato attuale questo terzo aspetto dell'equità è molto controverso e sembra possa risolversi concretamente solo sulla base più generale dei "diritti umani" sanciti dalle Nazioni Unite e di altri principi generali a valenza ambientale, quali quelli sullo sviluppo sostenibile, sanciti anch'essi dalle nazioni Unite, attraverso i quali si possa giungere ad accordi volontari condivisi.

*controversie
interpretative
ancora
irrisolte*

L'equità come riferimento per l'attuazione degli impegni

Non essendo chiaro, nella UNFCCC, in che cosa consista l'equità, salvo alcuni aspetti, ciascun paese interpreta il problema dell'equità secondo le proprie priorità ed i propri interessi. La battaglia più grossa, sull'etica e l'equità, viene attualmente condotta soprattutto da una parte dei paesi in via di sviluppo, riuniti nel G-77 (gruppo dei paesi in via di sviluppo detto dei G-77), affinché nell'attuazione degli impegni di riduzione delle emissioni si faccia riferimento, per tutti i popoli, ad uguali "diritti di emissione pro-capite", rispetto ai quali conteggiare riduzioni o aumenti di emissione. Le emissioni mondiali di gas serra, secondo gli ultimi dati del 2003, equivalgono a poco più di 1 tonnellata pro capite, ma oscillano da estremi di circa 5,5 tonnellate pro-capite degli USA fino all'estremo opposto di qualche kg pro-capite dei paesi più poveri dell'Africa. Valori intermedi sono quelli dei circa 200 kg pro-capite dell'India, fino alle 2 tonnellate circa pro-capite dell'Italia. Ebbene se le emissioni globali di gas serra dovranno per esempio essere ridotte di almeno il 50% nel post Kyoto (come richiesto dalla Unione Europea), questo vuol dire che dal valore medio mondiale di una tonnellata pro-capite, si dovrà passare al valore medio mondiale di 0,5 tonnellate pro-capite. Chi sta sopra questo limite deve ridurre per portarsi a tale valore, chi sta sotto a tale limite può aumentare fino a raggiungerlo. Siccome non esiste un riferimento internazionale che riguardi i diritti dell'atmosfera, i "diritti di emissione pro capite" non trovano alcuna collocazione giuridicamente valida o legalmente vincolante, a meno che non si promuovano accordi volontari internazionali in tal senso. Ma, se devono essere avviati degli accordi volontari, anche altre proposte sono ugualmente valide. Per esempio il Brasile ha proposto di integrare equità e responsabilità, affinché la riduzione delle emissioni tenga conto anche delle responsabilità storiche e cioè dell'accumulo in atmosfera dei gas serra emessi a partire dal 1800 e fino ai nostri giorni. Di conseguenza, la riduzione delle emissioni che ogni paese dovrà attuare sarà determinata in proporzione all'inquinamento che quel paese ha storicamente provocato sul pianeta. I maggiori inquinatori mondiali sono i 24 paesi più industrializzati (esclusa la Russia e i paesi dell'est europeo), che sono responsabili per il 38% dell'accumulo di gas serra in atmosfera, seguono i paesi dell'est europeo (14 paesi) con il 14%, poi l'Asia nel suo complesso per un 26%, ed infine, Africa ed America meridionale che insieme arrivano al 22%. Contro queste proposte, alcuni paesi industrializzati, tra cui l'Italia, hanno richiesto che l'equità nella riduzione delle emissioni si basi, invece, sull'intensità energetica (rapporto tra consumi energetici e prodotto nazionale lordo) o sull'intensità carbonica (rapporto tra emissioni di anidride carbonica e consumi energetici da combustibili fossili). In questo contesto chi risulta meno efficiente (dal punto di vista energetico o dal punto di vista delle emissioni) deve ridurre in misura maggiore di chi è più efficiente. In tale variegata moltitudine di proposte e controproposte, potrebbero essere ugualmente accettabili altri riferimenti di equità che tengano conto, per esempio, di indici di sostenibilità dello sviluppo, di parametri d'uso delle risorse non rinnovabili, e così via. Appare evidente da tutto ciò che esiste, comunque, l'esigenza, nel post Kyoto, di fare chiarezza sull'equità e più in generale sulla dimensione etica dei cambiamenti del clima. E ciò non sarà semplice, perché già ci sono anche problemi di equità che non riguardano l'attuazione del protocollo di Kyoto o di atti analoghi nel post Kyoto, ma riguardano lo stesso protocollo di Kyoto in quanto tale. L'esempio è quello dei paesi produttori di petrolio e di combustibili fossili che rifiutano questo tipo di trattati perché, obbligando i paesi di tutto il mondo alla riduzione dei gas serra provenienti dalla combustione di combustibili fossili, di fatto, promuovono la limitazione o la riduzione dell'uso stesso dei combustibili fossili. Di conseguenza, questi paesi pretendono legiti-

*promuovere
accordi
volontari sui
diritti di
emissione*

timamente il risarcimento dei danni conseguenti alle mancate vendite dei loro prodotti, perché le loro economie nazionali basate, appunto, sulla produzione, trasformazione e commercializzazione di combustibili fossili verrebbero seriamente danneggiate. Di segno opposto le richieste di risarcimento danni dei paesi delle piccole isole intertropicali, costituite prevalentemente da atolli corallini. Se non si dovesse procedere a drastiche riduzioni delle emissioni di gas serra, il livello del mare, che già si solleva al ritmo di 3,1 millimetri per anno, spazzerebbe via gli atolli nel giro di un secolo. In questo caso, il risarcimento danni riguarda la mancanza di drastiche riduzioni delle emissioni di gas serra nel protocollo di Kyoto, mancanza alla quale porre rimedio nel post Kyoto.

Conclusione

La UNFCCC, ma soprattutto il protocollo di Kyoto, trovano difficoltà di attuazione non per la loro impostazione, ma perché non vengono giudicati come strumenti equi ed imparziali per risolvere un problema, quello dei cambiamenti climatici, ma considerati come atti che tendono a introdurre elementi di iniquità o di disuguaglianza negli equilibri politici internazionali, nelle opportunità di sviluppo dei vari paesi, nella condizioni di accesso e di concorrenza sui mercati internazionali.

Il negoziato sul post Kyoto difficilmente potrà fare passi avanti ed arrivare a soluzioni condivise veramente efficaci, se non si risolverà il problema dell'etica ed il suo risvolto verso l'equità, dal momento che gli accordi sul clima hanno, comunque, bisogno di un quadro di riferimento certo entro cui tutti i popoli si riconoscano e l'attuazione degli impegni abbia un significato di giustizia fra i popoli. Un aiuto perché si affronti e si risolva questa situazione, potrebbe venire dal supporto che la partecipazione dei cittadini potrebbe fornire alle proposte e alle decisioni che i vari governi sono chiamati ad assumere nei negoziati a livello internazionale. Tuttavia, la partecipazione costruttiva dei cittadini a supporto delle decisioni politiche sarebbe concretamente possibile se vi fosse una vera ed approfondita consapevolezza dei problemi. Purtroppo, e non è un caso solo italiano, la mancanza di informazioni in questo campo appare enorme. Nonostante la UNFCCC all'articolo 6, richieda a tutti i paesi delle Nazioni Unite che siano promossi e realizzati adeguati programmi di formazione, informazione e di partecipazione del pubblico, il protocollo di Kyoto rimane ancora un oggetto sconosciuto alla stragrande maggioranza della popolazione mondiale, mentre i problemi del clima globale non riescono a trovare canali di adeguata informazione, salvo gli spazi di sensazionalismo mediatico.

Per informazioni: ferrara@casaccia.enea.it

Bibliografia

IPCC (1995) – *The economical and social dimension of climate change* – IPCC- WG3 Technical Report, Geneva.

IPCC (1994) – *Equity and social consideration related to climate change* – IPCC- WG3 Workshop, Nairobi.

Ferrara, V. (2006) – *Introduzione al protocollo di Kyoto* – in "Kyoto e dintorni", cap. 1, Franco Angeli Editore, Milano.

Paavola, J. and Adger, V.N., (2002) – *Justice and adaptation to climate change* – Working Paper n. 23, Tyndall Centre for Climate Change research, University of East Anglia, Norwich.

Pew Center (1998) – *Equity and global climate change* – Report of the Pew Center on Global Climate Change, Arlington, pagine 1-36.

Shukla, R.P. (1999) – *Justice, equity and efficiency in climate change: a developing country perspective* – in "Fairness concerns in climate change", cap. 9, Earthscan Publications, London.

UNFCCC (2004) – *The Buenos Aires Declaration on the ethical dimension of climate change* – COP-11, Buenos Aires.

*inadeguate
formazione,
informazione
e partecipa-
zione del
pubblico*

Solare a concentrazione: R&S sul tubo ricevitore

ANTONIO DE LUCA,
ALESSANDRO ANTONAIA

ENEA
Grande Progetto Solare
Termodinamico

studi & ricerche

L'efficienza della tecnologia solare a collettori parabolici lineari sviluppata da ENEA dipende dall'efficienza ottica del collettore e dalla capacità del tubo ricevitore di assorbire l'energia concentrata dagli specchi parabolici. Nei Centri ENEA di Casaccia e Portici, in collaborazione con alcune aziende italiane, si stanno sviluppando soluzioni innovative per favorire la produzione industriale di un tubo ricevitore ad alta efficienza, per temperature di esercizio di 580 °C

Concentrating solar power: tube receiver's R&D

Abstract

The ENEA's technology on parabolic trough depends on the optical efficiency of the collector and on the tube receiver's capacity to absorb the energy concentrated by the parabolic mirrors. Innovative solutions are being developed at ENEA's Casaccia and Portici Centres, in collaboration with Italian companies, with the aim of encouraging industrial production of high-efficiency receiver tubes that can operate at temperature as high as 580 °C. This article presents the results of the R&D phase of the project and some of the data obtained during the experimental activity conducted at the Casaccia Centre's Solar Collectors Test Plant

L'impegno ENEA nel solare a concentrazione

Il duplice vantaggio nell'uso dell'energia solare è di contenere il consumo dei combustibili fossili, riducendo nel contempo le emissioni in atmosfera dei gas prodotti dalla combustione. Nelle regioni del pianeta con alta densità di potenza solare, tipicamente la fascia tropicale, l'utilizzo di questa fonte di energia consente di ottenere annualmente, per ogni metro quadrato di superficie, un'energia termica equivalente alla combustione di un barile di petrolio, evitando il rilascio in atmosfera di circa cinque quintali di anidride carbonica. Appare quindi necessario ed economicamente vantaggioso, visto il costante aumento del prezzo del petrolio, utilizzare questa inesauribile fonte di energia per rispettare l'ambiente e contenere i costi sempre crescenti dello sviluppo industriale mondiale.

Gli impianti solari termici sfruttano l'energia solare per produrre il calore da utilizzare nei processi industriali o nella produzione di energia elettrica. Quest'ultima è la forma più pregiata di energia, che per essere ottenuta da fonte solare con una buona efficienza, richiede la realizzazione di un sistema di accumulo di energia termica ad alta temperatura. Per ovviare alla parziale disponibilità di energia solare nell'arco della giornata, il calore deve essere accumulato in serbatoi di volume opportuno, che ne assicurano la disponibilità anche di notte, rendendo l'utilizzo del calore più flessibile e rispondente alle esigenze dei processi produttivi. Nei periodi in cui il calore accumulato non è sufficiente a coprire la domanda, si può integrare la produzione utilizzando combustibili fossili (olio e gas naturale).

L'assorbimento di energia è ottenuto concentrando l'energia solare con un sistema ottico, il *concentratore*, che

riflette la radiazione sulla superficie del *tubo ricevitore*, dove viene assorbita sotto forma di calore. Durante il giorno il concentratore segue costantemente la traiettoria del sole, concentrando la radiazione sulla superficie del tubo assorbitore, che ha il compito di trasferirla ad un fluido ad alta capacità termica che scorre nel suo interno.

Il calore assorbito può essere impiegato nella produzione industriale, nella desalinizzazione dell'acqua di mare o nella produzione di idrogeno, ma allo stato attuale, l'obiettivo principale degli impianti solari a concentrazione è la generazione di energia elettrica, dove il calore ad alta temperatura viene utilizzato in cicli termodinamici convenzionali con turbine a vapore. In relazione alla geometria e al posizionamento del concentratore rispetto al ricevitore, si possono avere diverse tipologie di impianto solare.

La tecnologia scelta da ENEA (vedi figura 1) è quella dei collettori parabolico-lineari, caratterizzati dal fatto che la superficie riflettente segue la traiettoria del sole ruotando su un solo asse. Il concentratore è fissato ad una struttura di supporto d'acciaio, sufficientemente rigida per avere una buona efficienza di concentrazione in condizioni di esercizio e in grado di resistere sotto l'azione del vento e degli altri agenti atmosferici.

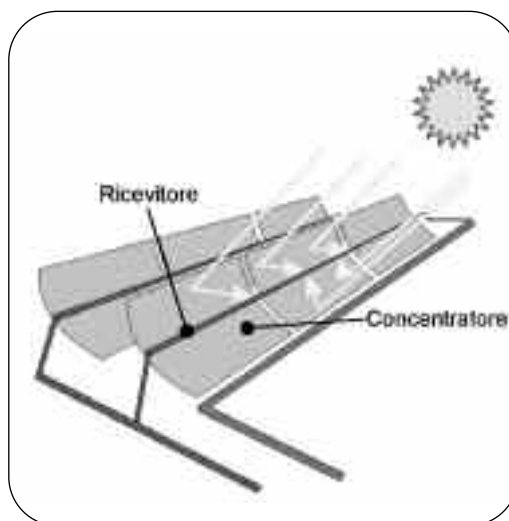


Figura 1
Schema di impianto a collettori parabolico-lineari
Fonte: ENEA

La radiazione solare viene focalizzata su una linea di *tubi assorbitori* posizionati lungo la linea focale del concentratore parabolico. L'efficienza di questa tecnologia a produrre calore ad alta temperatura dipende dal rendimento ottico del concentratore (precisione nella fabbricazione della struttura e dei pannelli riflettenti) e dal rendimento di conversione del *tubo ricevitore*, che deve essere in grado di assorbire la massima energia possibile, con le minime dispersioni termiche per irraggiamento verso l'ambiente esterno.

La temperatura massima di funzionamento del tubo ricevitore dipende essenzialmente dal fluido termovettore che viene utilizzato. La scelta della miscela di sali fusi 60% NaNO_3 , 40% KNO_3 , è legata all'elevata capacità termica di questo fluido (elevate densità e calore specifico), ottima stabilità chimica ad alta temperatura, basso costo, nessun rischio ambientale e semplicità di gestione.

Le innovazioni introdotte da ENEA e sulle quali l'Ente in questi ultimi anni ha concentrato le attività di R&S riguardano:

-L'utilizzo di un *concentratore* a basso costo e di un *tubo ricevitore* innovativo, per concentrare e accumulare in modo efficiente l'energia solare ad alta temperatura

Figura 2
Foto di un tubo ricevitore ENEA con indicazione dei vari componenti



-La presenza di un sistema di accumulo termico per una centrale di potenza, in grado di compensare efficacemente la variabilità della fonte solare

Il sistema d'accumulo prevede due serbatoi di stoccaggio del fluido termovettore: uno caldo a 550 °C ed uno freddo a 290 °C (superiore alla temperatura di solidificazione dei sali).

Dell'attività di R&S finora svolta nel solare a concentrazione (che ha prodotto complessivamente 8 brevetti e che è stata illustrata nei numeri 5/2005 e 1/2006 di *Energia, Ambiente e Innovazione*), in questo articolo vengono descritte sinteticamente le attività che riguardano la fabbricazione e la sperimentazione del tubo ricevitore.

Per una illustrazione complessiva dell'attività del Grande Progetto Solare Termodinamico si può consultare "Il Programma ENEA sull'energia solare a concentrazione ad alta temperatura" all'indirizzo: <http://www.enea.it/com/solar/doc/csp.pdf>

Caratteristiche del tubo ricevitore

Il tubo ricevitore è l'elemento del collettore solare parabolico-lineare che ha la funzione di trasferire al fluido termovettore l'energia concentrata dagli specchi parabolici. I principali componenti che lo costituiscono sono indicati nei punti seguenti e mostrati in figura 2:

- un tubo d'acciaio all'interno del quale circola il fluido e sulla cui superficie esterna è depositato un rivestimento selettivo con elevato coefficiente di assorbimento della radiazione solare;
- un involucro esterno trasparente costituito da un tubo di vetro borosilicato con trattamento antiriflesso, due

giunzioni vetro-metallo e due soffiotti metallici di compensazione delle dilatazioni termiche differenziali tra vetro e acciaio.

Il materiale assorbente depositato sul tubo d'acciaio deve essere spettralmente selettivo, ossia in grado di assorbire la massima quantità di radiazione nello spettro solare e di emettere la minima quantità di calore per irraggiamento nello spettro dell'infrarosso.

Per aumentare l'efficienza di trasferimento del calore al fluido termovettore è necessario che dopo l'assemblaggio del tubo ricevitore sia effettuato un trattamento di degasaggio dell'intercapedine tra i tubi d'acciaio e di vetro, riscaldando il tubo d'acciaio alla massima temperatura di esercizio ed aspirando i gas e l'aria contenuta nella camera, fino a una pressione assoluta di $1,0 \cdot 10^{-4}$ mbar (vuoto di progetto), in modo da eliminare lo scambio termico per convezione naturale tra i due tubi e quindi aumentare l'efficienza di assorbimento del calore in esercizio.

Un ulteriore aumento dell'energia assorbita (circa il 5 %), può essere ottenuto depositando uno strato di materiale antiriflesso sulle superfici interna ed esterna del tubo di vetro. Questo rivestimento (di tipo ceramico), ha la capacità di aumentare l'energia che attraversa il vetro, minimizzando la radiazione riflessa verso l'esterno.

Per garantire il vuoto di progetto è necessario inserire nell'intercapedine un quantitativo opportuno di materiale getter, capace di assorbire la miscela di gas che si potrebbe formare nell'intercapedine durante il funzionamento.

Un secondo materiale assorbente, molto reattivo con l'aria (getter al Bario), viene depositato sulla superficie interna del tubo di vetro formando una macchia di colore metallico di qualche cm^2 . Quando il tubo perde il vuoto e il getter di mantenimento si satura, la macchia diviene di

colore bianco, indicando visivamente la presenza di aria all'interno dell'intercapedine e la conseguente perdita di efficienza termica del tubo ricevitore.

Fabbricazione e sperimentazione del tubo ricevitore

L'ENEA da qualche anno ha avviato un'intensa attività di ricerca tecnologica sulla fabbricazione e la sperimentazione di tubi ricevitori di energia solare. I risultati più importanti di questa attività sono i seguenti:

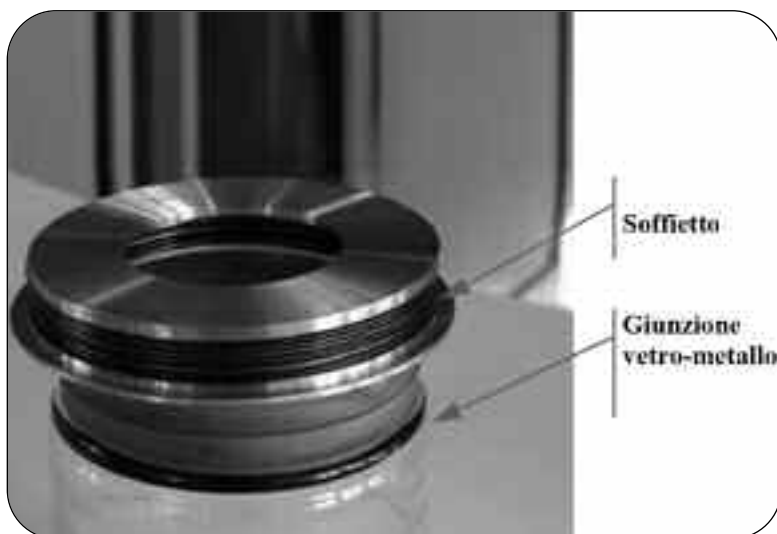
- Ottimizzazione di materiali e processi per la realizzazione di rivestimenti spettralmente selettivi altamente efficienti e stabili ad alta temperatura. Nello sviluppo di questa attività sono stati prodotti 2 brevetti relativi al rivestimento ceramico/metallico (CERMET).
- Ottimizzazione di materiali e processi per la realizzazione del rivestimento esterno trasparente del tubo assorbitore (soffiotti di accoppiamento termo-meccanico ad alto fattore di compensazione delle dilatazioni termiche differenziali tra vetro e acciaio e basso ingombro; giunzione vetro-metallo affidabile alla tenuta del vuoto in esercizio; efficace rivestimento antiriflesso sull'involucro di vetro).
- Progettazione e realizzazione di un impianto pilota di *sputtering*, (dal nome della tecnica di spruzzo) per la deposizione del rivestimento assorbente a base di strati CERMET ad alta efficienza foto-termica su tubi di lunghezza 4 metri.
- Fabbricazione e sperimentazione sull'impianto Prova Collettori Solari (PCS) del Centro Ricerche ENEA Casaccia di una prima serie di tubi ricevitori con rivestimento superficiale al Nero di Cromo e successivamente, sperimentazione di una seconda linea di tubi ricevitori prodotti dalla tedesca SCHOTT (tuttora in corso).

L'impianto pilota di *sputtering* per la deposizione del rivestimento a base di

strati CERMET (figura 3), realizzato in collaborazione con l'industria nazionale su progetto ENEA, è stato installato presso i laboratori del Centro Ricerche ENEA Portici, dove si stanno mettendo a punto i parametri di processo per migliorare le caratteristiche foto-termiche del materiale depositato su tubi di lunghezza 4 m. Dopo questa fase di ottimizzazione del rivestimento che si conclude entro la primavera del 2006, sarà avviata la fabbricazione di una prima serie di 24 tubi ricevitori, che saranno installati sull'impianto PCS per la verifica sperimentale delle caratteristiche foto-termiche e di affidabilità strutturale in esercizio.

Figure 3 e 4

Sopra, foto dell'Impianto pilota di sputtering presso il Centro ENEA di Portici. Sotto, foto della saldatura della giunzione vetro-metallo al soffierto



La fase successiva sarà l'industrializzazione del processo di fabbricazione, che coinvolgerà i partner che in questi anni hanno collaborato allo sviluppo delle tecnologie di fabbricazione e di trattamento termico dei tubi ricevitori.

Alcuni industriali italiani sono disposti ad investire capitale privato per la realizzazione di una fabbrica da gestire attraverso la costituzione di un Consorzio d'impresе. Questi imprenditori hanno iniziato a collaborare con ENEA sin dalla fabbricazione della prima serie di tubi ricevitori, sviluppando competenze sulle tecnologie di lavorazione e sui trattamenti termici da eseguire a valle dell'assemblaggio.

Tra le tecnologie di fabbricazione sviluppate in collaborazione con l'industria, la più importante è quella relativa alla giunzione vetro-metallo, che è una saldatura a tenuta di vuoto tra due materiali che hanno coefficienti di dilatazione termica molto diversi tra loro. La tecnologia di giunzione è stata messa a punto da un'industria italiana che per circa un anno ha svolto ricerca tecnologica solo su questo processo (in Europa solo la SCHOTT è in grado di produrre la giunzione su scala industriale). Nella figura 4 è mostrato un campione di giunzione vetro-metallo, saldato al soffierto di compensazione della dilatazioni termiche che sarà utilizzato per la fabbricazione dei prossimi tubi ricevitori ENEA.

Parallelamente allo sviluppo del processo di fabbricazione è stata avviata l'attività sperimentale sull'impianto PCS, prevista sia su tubi ENEA sia su tubi commerciali (per avere un riscontro sperimentale sulle caratteristiche foto-termiche e di affidabilità strutturale dei tubi ricevitori disponibili sul mercato).

Sul mercato internazionale le aziende produttrici di tubi ricevitori per collettori solari parabolico-lineari, sono

la israeliana SOLEL e la tedesca SCHOTT. Fino a qualche mese fa non era possibile acquistare tubi ricevitori SOLEL, perché la politica commerciale della società era quella di vendere l'intero collettore solare (specchi parabolici e tubi ricevitori), per cui non è stato possibile avere a disposizione questi tubi. Attualmente sembra che SOLEL voglia cambiare filosofia, ma il programma di ricerca ENEA in questo momento è in una fase di sviluppo molto avanzata ed è orientato verso la fabbricazione e la sperimentazione di un tubo ricevitore fabbricato in Italia. Con la SCHOTT è stata avviata una collaborazione che ha permesso di realizzare la campagna sperimentale attualmente in corso, con l'obiettivo di valutare le caratteristiche foto-termiche e meccaniche dei tubi ricevitori tedeschi e di verificare l'entità della degradazione del rivestimento SCHOTT in funzione del tempo e della temperatura di esercizio. Tra i componenti realizzati presso i laboratori ENEA per la sperimentazione dei tubi SCHOTT, oltre ai supporti di bloccaggio dei tubi ricevitori e agli schermi di protezione delle giunzioni vetro-metallo, ci sono stati anche gli isolatori elettrici e i tratti di tubazione strumentati con termocoppie per la misura della temperatura del fluido termovettore.

Caratteristiche foto-termiche del CERMET ENEA

Per ottenere un rivestimento superficiale che ad alta temperatura abbia una elevata efficienza di assorbimento del calore, un basso valore di emissività e caratteristiche chimico-fisiche stabili nel tempo, è necessario sviluppare un materiale otticamente selettivo costituito da strati CERMET con opportuno rapporto di concentrazione metallo/ceramico. Il progetto termo-mecca-

nico del tubo ricevitore ENEA prevede una temperatura massima del fluido termovettore di 550 °C, che corrisponde a una temperatura massima della superficie del tubo d'acciaio di circa 580 °C.

Per garantire queste prestazioni, presso i laboratori ENEA di Portici è stato realizzato un materiale spettralmente selettivo, in grado di mantenere pressoché inalterata nel tempo la proprietà di assorbire la maggior parte dell'energia solare incidente e di emettere la minore quantità possibile di energia per irraggiamento. I parametri foto-termici di questo materiale, determinati da analisi di caratterizzazione ottica sono i seguenti:

- alta efficienza foto-termica, ossia alta assorbanza solare (> 94%) e bassa emissività (< 14%), fino alla temperatura 580 °C;
- alta stabilità chimica e strutturale fino alla temperatura di 580 °C.

È opportuno sottolineare che sia i tubi SOLEL sia i tubi SCHOTT sono prodotti per collettori solari parabolico-lineari che come fluido termovettore utilizzano olio diatermico, con temperature massime di esercizio di circa 400 °C e che, quindi, non hanno le caratteristiche ideali per funzionare alla temperatura di riferimento del progetto ENEA. Le caratteristiche foto-termiche del rivestimento SOLEL (95% di assorbanza solare, 9% di emissività a 400 °C e 14,5% di emissività a 580 °C), sono abbastanza vicine a quelle del CERMET ENEA, ma prove di laboratorio hanno mostrato che a 580 °C e per valori di vuoto non molto spinti, le proprietà foto-termiche del rivestimento SOLEL subiscono una degradazione che si manifesta in un indesiderato incremento del valore di emissività.

I valori forniti dalla SCHOTT per l'assorbanza solare e l'emissività a 400 °C, sono rispettivamente 95% e 14%.

A questa temperatura l'emissività del CERMET SCHOTT è maggiore di quella del CERMET ENEA e a 580 °C sale al 22%. Per quanto riguarda la stabilità nel tempo, la SCHOTT ha dichiarato che le caratteristiche foto-termiche del loro rivestimento sono stabili fino ad una temperatura di esercizio di 500 °C. Considerando l'attuale situazione di mercato, che presenta solo questi due potenziali fornitori e confrontando le caratteristiche tecniche dei prodotti in commercio con quelle del CERMET sviluppato al Centro di Portici, l'obiettivo ENEA in questi ultimi anni è stato quello di completare lo sviluppo della tecnologia di fabbricazione del tubo ricevitore e di realizzare una serie dimostrativa di tubi da provare sull'impianto PCS, per avere la conferma della ripetitività delle caratteristiche foto-termiche su una scala di produzione industriale.

Sperimentazione sull'impianto PCS

Figura 5

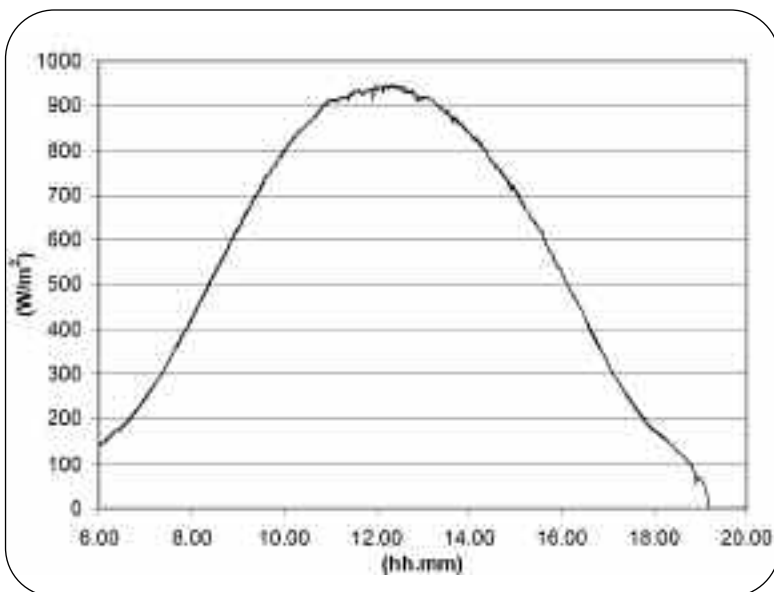
Impianto PCS: distribuzione della densità di potenza al suolo della radiazione solare efficace

Presso l'impianto PCS sono state effettuate due campagne sperimentali, la prima su tubi ricevitore fabbricati da ENEA con rivestimento assorbente in Nero di Cromo, la seconda

ancora in corso, sui tubi SCHOTT. Il Nero di Cromo ha una bassa efficienza foto-termica rispetto al CERMET e quindi non è adatto per la fabbricazione di tubi ricevitori destinati alla produzione di calore ad alta temperatura, ma nonostante ciò, la prima fase di sperimentazione ha avuto l'importante funzione di avviare l'impianto PCS in esercizio, di realizzare un sistema di acquisizione dati efficiente, di individuare le soluzioni tecniche per migliorare l'efficienza e l'affidabilità strutturale dei tubi ricevitori. La sperimentazione sui tubi SCHOTT è la prima campagna di prove effettuata con tubi ricevitori che hanno caratteristiche foto-termiche accettabili ed ha permesso di verificare sperimentalmente le potenzialità di applicazione del solare termodinamico ad alta temperatura per la produzione di energia elettrica.

Nelle figure seguenti è mostrato un esempio dei risultati sperimentali ottenibili in una giornata di esercizio caratterizzata da una buona insolazione (05/08/2005).

La figura 5 mostra la distribuzione della densità di potenza solare diretta, incidente normalmente alla superficie del piano di captazione dei due collettori da 50 metri dell'impianto PCS. La figura 6 mostra gli andamenti nel tempo delle temperature di ingresso e di uscita delle due linee di tubi ricevitori. Il valore massimo della differenza di temperatura tra la sezione d'ingresso del fluido nel primo collettore (con temperatura fissata a 359 °C) e la sezione d'uscita del secondo, si verifica alle 12,15 ed è di circa 41 °C. Le brusche cadute di temperatura nella sezione di uscita del primo collettore e nelle sezioni di ingresso e di uscita del secondo, sono dovute a prove di posizionamento fuori fuoco delle linee di tubi ricevitori.



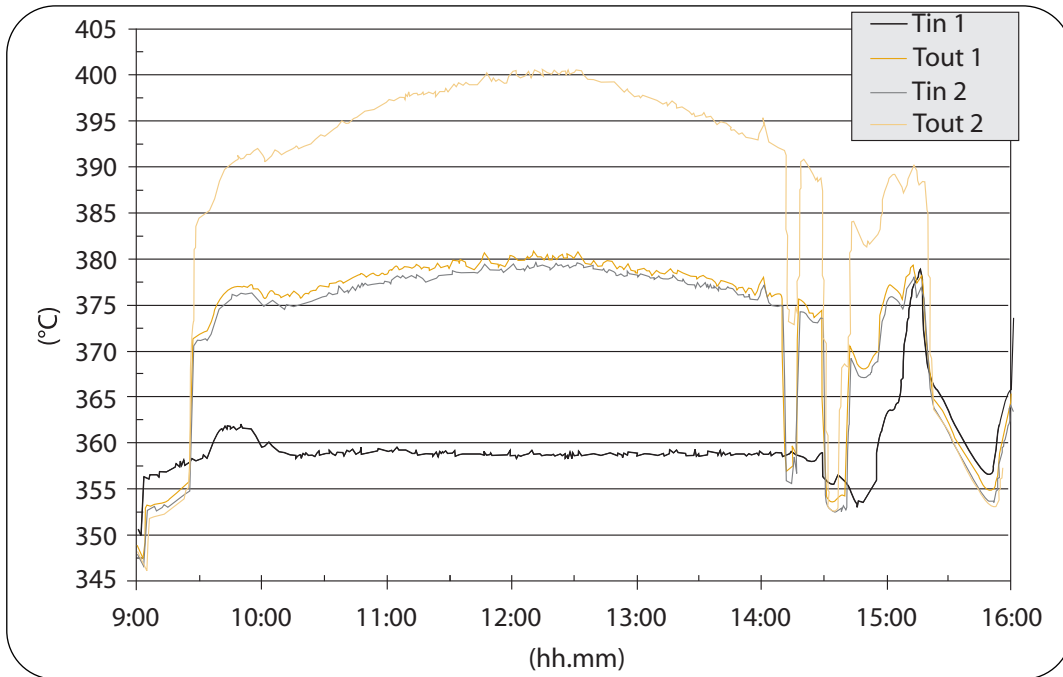


Figura 6
Impianto PCS: temperature di ingresso e uscita del fluido dai due collettori

La figura 7 mostra l'andamento della potenza termica assorbita dal fluido:

$$P = \Gamma c_p (T_{in2} - T_{in1}) \text{ dove,}$$

Γ : portata in massa del fluido termovettore (5,4 kg/s);

$$c_p = c_p(T) = 1443 + 0,172 T \text{ (T in } ^\circ\text{C),}$$

calore specifico del fluido in funzione della temperatura;

T_{in1} : temperatura del fluido nella sezione

di ingresso del primo collettore;

T_{out2} : temperatura del fluido nella sezione di uscita del secondo collettore.

L'area al di sotto della curva di figura 7 rappresenta l'energia termica complessivamente assorbita durante il funzionamento, pari a circa 1380 kWh termici, che corrisponde ad una potenza termica media assorbita dal

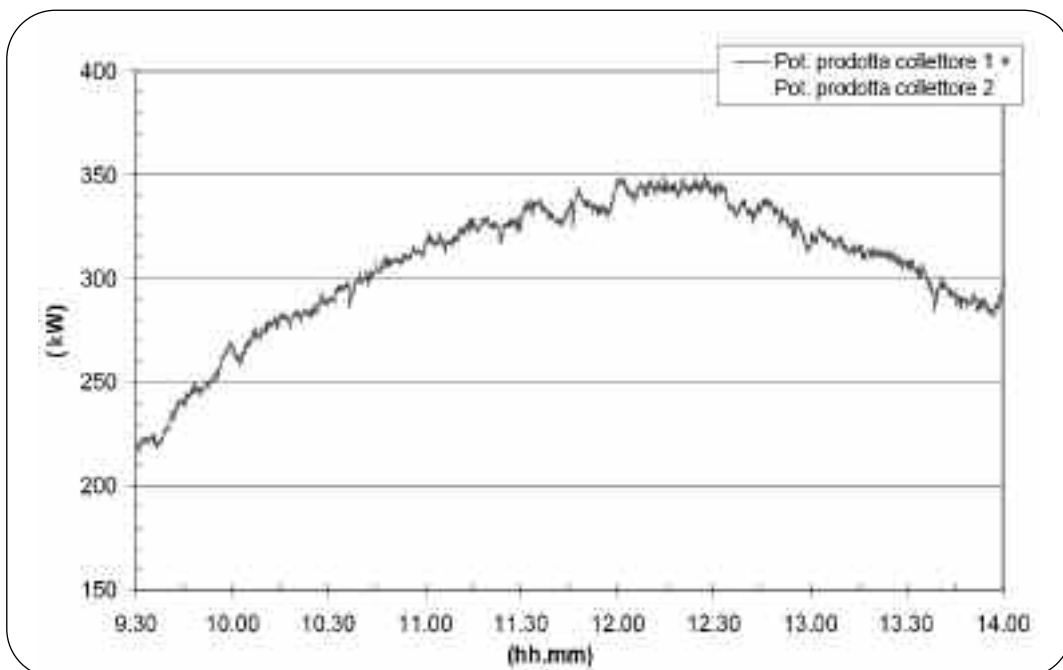
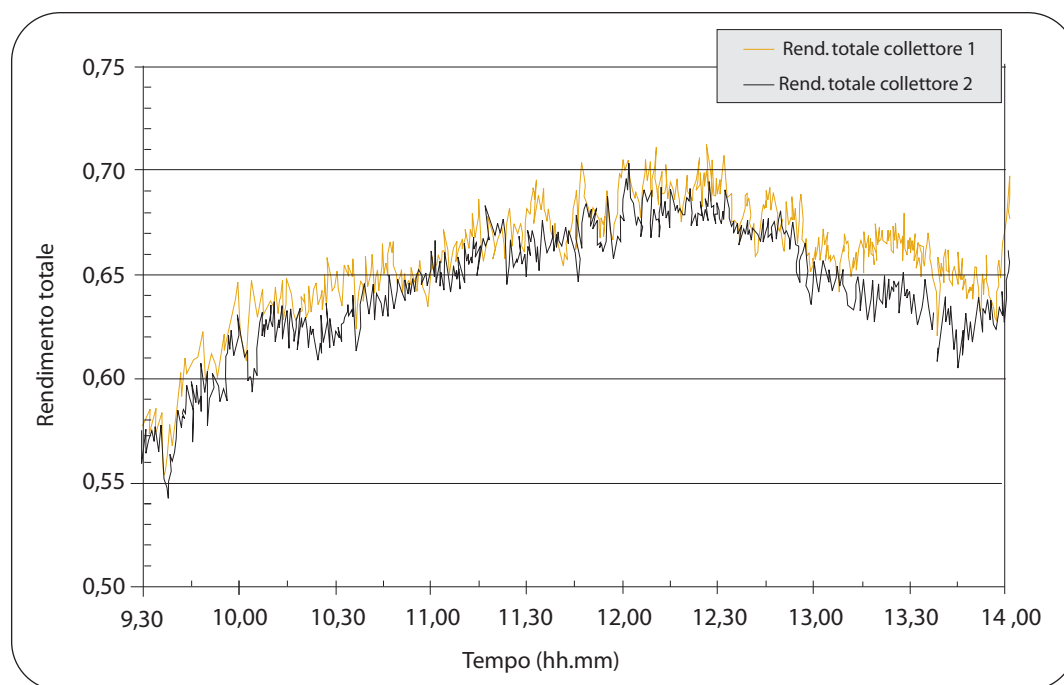


Figura7
Potenza termica prodotta dai due collettori

Figura 8
Rendimento totale
dei due collettori



fluido di circa 307 kW termici. Considerando un rendimento di trasformazione dell'energia termica in energia elettrica del 30%, l'impianto avrebbe prodotto 414 kWh in circa 4,5 ore di funzionamento, con una potenza media di produzione di circa 92 kW elettrici.

Nella figura 8, è mostrato l'andamento del rendimento totale di assorbimento dell'energia solare, dato dal rapporto tra la potenza assorbita dal fluido e la potenza solare diretta incidente normalmente al piano di captazione del collettore. In pratica il rendimento totale è il rateo di energia termica assorbita ad una fissata temperatura di ingresso del fluido e quindi caratterizza complessivamente le prestazioni del collettore in esercizio a quella temperatura.

Il rendimento totale è sempre maggiore al 55%, con un valore massimo del 68÷69 % nel periodo di massimo irraggiamento solare. Questi dati sono molto incoraggianti, soprattutto se si pensa che i tubi ricevitori ENEA di prossima generazione avranno una maggiore efficienza di trasferimento del calore al fluido termovettore rispetto ai tubi SCHOTT.

Conclusioni

Grazie alle favorevoli condizioni di insolazione presenti nel Mezzogiorno, gli impianti solari a concentrazione potrebbero assumere un ruolo non trascurabile nel futuro panorama energetico del nostro Paese.

L'obiettivo finale dell'attività di R&S ENEA è la costruzione e la messa in esercizio di impianti dimostrativi delle tecnologie sviluppate, che ne consentano la diffusione su ampia scala e servano da stimolo per la creazione di un mercato autostostenuto.

La tecnologia ENEA è modulare e può soddisfare esigenze di realizzazione di grandi impianti, in connessione con la rete elettrica nazionale (centinaia di MWe), di piccoli impianti autonomi e di integrazione con le centrali termoelettriche attualmente in esercizio.

Per poter sviluppare componenti innovativi che abbiano prestazioni e costi tali da permettere una diffusione di questa tecnologia su ampia scala, le attività sono condotte in stretta collaborazione con l'industria nazionale, al fine

di completare la fase di R&S individuando le soluzioni migliori per una produzione di serie.

Ma c'è anche un altro aspetto da non sottovalutare, che riguarda l'opportunità di questi partner industriali di entrare nel mercato internazionale dei componenti per la produzione di energia da fonte solare. L'industria in questo modo è stata incentivata ad investire per ottimizzare i sistemi di produzione ed abbattere i costi, con ricadute positive sul futuro del solare a concentrazione. Con tali prospettive l'ENEA ha avviato la collaborazione con diverse aziende nazionali e in particolare per lo sviluppo del tubo ricevitore è importante citare: ITIV (Milano), Steroglass (Perugia),

Saes Getter (Milano); mentre per il progetto e la costruzione della macchina industriale di *sputtering* va citata la Sistec (Gruppo Angelantoni, Perugia). A livello internazionale è stato importante anche il coinvolgimento della SCHOTT, con la quale c'è una buona collaborazione per la sperimentazione di una serie di tubi ricevitori tedeschi sull'impianto PCS e l'interessamento per comuni attività di ricerca su tematiche che riguardano il miglioramento delle prestazioni complessive del tubo ricevitore.

Per informazioni:

antonio.deluca@casaccia.enea.it

Bibliografia

SETARO T., *Attività di ricerca e sviluppo sul sistema ricevitore*, ENEA/SOL/RD/2001/01.

MILIOZZI A. et al., *Comportamento termo-meccanico del tubo assorbitore di un impianto solare. Analisi termica semplificata e termomeccanica*, ENEA/SOL/RD/2001/08.

ANTONAI A. et al., *Risultati preliminari dell'attività di fabbricazione e caratterizzazione di coating spettralmente selettivi*, ENEA/SOL/RD/2001/13.

ANTONAI A., SETARO T., *Aziende interessate alla collaborazione nello sviluppo del coating a basso costo e del sistema ricevitore*, ENEA/SOL/RD/2001/15.

ANTONAI A. et al., *Stato di avanzamento delle attività per lo sviluppo del collettore solare e valutazione economica per coating, sistema ricevitore e concentratore parabolico*, ENEA/SOL/RS/2002/05.

ADDONIZIO M.L. et al., *Caratterizzazione di film spettralmente selettivi a base di Cromo Nero e TiNOX*, ENEA/SOL/RS/2002/13.

ADDONIZIO M.L. et al., *Ottimizzazione di coating spettralmente selettivi su riflettore metallico d'argento*, ENEA/SOL/RS/2002/14.

NICOLINI D., GIANNUZZI G.M., *Valutazione dei carichi agenti sui supporti del sistema ricevitore di un collettore solare parabolico lineare*, ENEA/SOL/RS/2002/16.

ARSUFFI G. et al., *Progetto per un dispositivo di prova per lo studio del sistema di riscaldamento elettrico per tubazioni e tubi ricevitori di impianti solari a collettori parabolici lineari con sali fusi*, ENEA/SOL/RS/2003/05.

ANTONAI A., *Il tubo ricevitore: elementi di valutazione per lo sviluppo del rivestimento selettivo*, ENEA/SOL/RS/2004/04 - RISERVATO.

SETARO T., *Valutazione dei costi e delle possibili strategie per la realizzazione industriale del tubo ricevitore*, ENEA/SOL/RS/2004/05 - RISERVATO.

VIGNOLINI M. et al., *Progetto Archimede: Realizzazione di un impianto solare termodinamico integrativo presso la Centrale ENEL di Priolo Gargallo (SR) - Progetto Preliminare*, ENEA/SOL/RS/2004/15 - RISERVATO.

MONTECCHI M., COLUCCI A., *Misure preliminari del tubo ricevitore con termocamera infrarossa*, ENEA/SOL/RS/2004/18.

CRESCENZI T. et al., *Analisi dei dati sperimentali dell'impianto PCS*, ENEA/SOL/RS/2004/23 - RISERVATO.

MESCHINI F., MONTECCHI M., *Trattamento antiriflesso per il tubo di vetro racchiudente il ricevitore nell'impianto solare termodinamico PCS*, ENEA/SOL/RS/2004/25.

GRENA R., *Analisi dell'efficienza ottica del sistema collettore-ricevitore e della distribuzione della radiazione sul tubo ricevitore*, ENEA/SOL/RS/2005/06.

CRESCENZI T., MAZZEI D., *Caratterizzazione termica tubi ricevitori Schott*, ENEA/SOL/RS/2005/15.

RUSO V., *Analisi dei dati sperimentali provenienti dalle prove su un tubo Schott*, ENEA/SOL/RS/2005/17.

DE LUCA A., RUSO V., *Modello di scambio termico allo stato stazionario e transitorio del tubo ricevitore*, ENEA/SOL/RS/2005/20.

FALCHETTA M., MONACI P., *Il Programma ENEA sull'energia solare a concentrazione*, ENEA/SOL/RS/2005/22.

DE LUCA A. et al., *Valutazione su alcuni aspetti specifici del comportamento termico e meccanico dei tubi Schott*, ENEA/SOL/RS/2006/10 - RISERVATO.

NICOLINI D., *Studio della modellizzazione di un soffietto commerciale con il codice di calcolo agli elementi finiti Cast3M*, ENEA/SOL/RS/2006/11 - RISERVATO.

Cicli termochimici di idrolisi per la produzione di idrogeno

ALBERTO GIACONIA
PIETRO TARQUINI
MAURO VIGNOLINI

ENEA
Grande Progetto Solare
Termodinamico

studi & ricerche

L'applicazione intensiva dell'idrogeno come vettore energetico porta in primo piano i processi di produzione alimentati da fonti energetiche rinnovabili e alternative. Tra i processi più promettenti, i cicli termochimici di idrolisi costituiscono una risposta sostenibile per la produzione di idrogeno da acqua

Thermochemical water-splitting cycles for the production of hydrogen

Abstract

The future intensive application of hydrogen as an energy vector requires evaluating all possible conversion processes for its production. This article analyses the processes currently used and the most promising ones now under development. Among the latter are thermochemical water-splitting cycles, driven by renewable and alternative energy sources, that may prove to be a sustainable route to produce hydrogen from water

L'idrogeno, così come molti derivati idrocarburici del petrolio, presenta la duplice veste di intermedio nell'industria chimica, e di vettore energetico. Come reagente chimico su larga scala va ricordato il suo ampio utilizzo nella produzione di metanolo e ammoniaca (a loro volta precursori per la sintesi industriale di una vastissima quantità di prodotti utilizzati su larga scala) oltre che in molte applicazioni di raffineria, quali la desolforazione di cariche fossili, l'idrogenazione di idrocarburi insaturi (ad esempio per aumentare la qualità delle benzine), il *cracking* di idrocarburi superiori (*hydrocracking* o *hydrotreating*), i processi Fischer-Tropsch (conversione di gas di sintesi in idrocarburi liquidi), idroformilazioni ecc. Come vettore energetico può essere invece utilizzato in motori a combustione interna, per la propulsione aerospaziale, per la produzione di energia elettrica in fuel cell (FC) o in turbine a gas e, infine, come combustibile per riscaldamento nel campo commerciale, residenziale o industriale.

A differenza dei combustibili fossili (petrolio, gas naturale, carbone) e dell'uranio, l'idrogeno molecolare (H_2) non si presenta in natura in quantità tale da essere estratto e trattato: non può pertanto essere definito come una "fonte energetica primaria", ma piuttosto come "vettore energetico", ovvero un mezzo di accumulo e di trasporto dell'energia. Dovrà pertanto essere prodotto mediante un processo di conversione energetica, partendo da una "materia prima" (acqua o idrocarburi) e utilizzando una "fonte energetica", espressione con la quale s'intende il calore generato dalla combustione di un fossile o da un processo di decadimento nucleare o dalla radiazione solare, l'energia meccanica del vento, idraulica ecc. L'idrogeno sarà poi trasportato e/o stoccato nello stato fisico e nelle condizioni più convenienti (liquido, gas compresso, "immerso" in una matrice solida ecc.), per poi rilasciare la propria energia (chimica) presso un utilizzatore (figura 1).

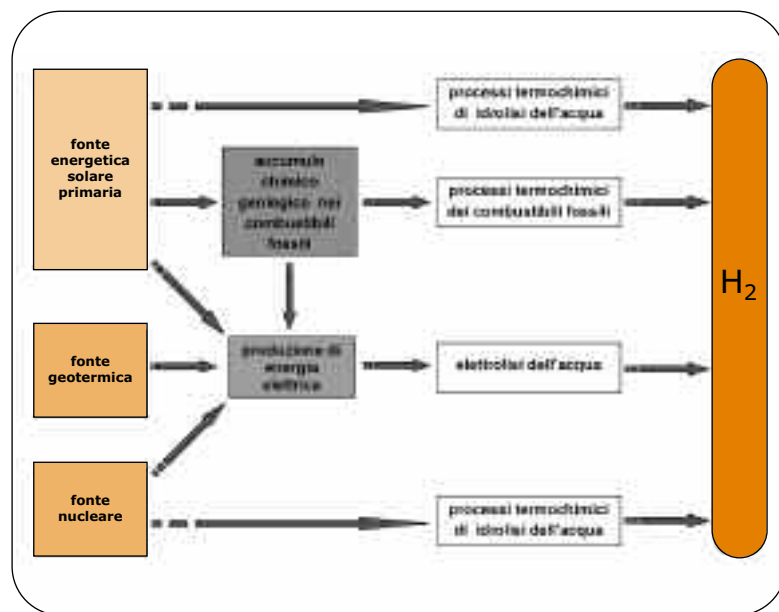


Figura 1
Fonti primarie e processi per la produzione di idrogeno

Sebbene l'utilizzo dell'idrogeno come reagente nell'industria chimica sia una prassi consolidata, la sua applicazione intensiva come vettore energetico è ancora in una fase di sviluppo. Chiameremo "sistema idrogeno" integrato un sistema energetico basato essenzialmente sulla produzione di H_2 come tale, e sul suo successivo impiego intensivo come vettore energetico (stoccaggio-distribuzione-utilizzo). Differentemente, il sistema energetico attuale è basato principalmente sull'utilizzo intensivo del gas naturale e dei derivati idrocarburici del petrolio. Il passaggio a un "sistema idrogeno" è principalmente motivato dalla necessità di eliminare la dipendenza del sistema energetico attuale dalle fonti fossili e di minimizzare le emissioni di CO_2 (gas serra). In questa prospettiva risulta prioritario definire e sviluppare le tecnologie più efficienti per la produzione di idrogeno da fonti alternative (non fossili), sfruttando quindi come materia prima l'acqua e, quale fonte energetica, il nucleare oppure, meglio ancora, le energie rinnovabili, le quali permettono di ridurre al minimo le perturbazioni indotte sull'ambiente. Al livello dell'utilizzatore, inoltre, ulteriori benefici dell'utilizzo di idrogeno consistono

nell'eliminazione delle emissioni di CO₂, composti organici cancerogeni (come il benzene), polveri sottili ed NO_x (questo ultimo nel caso di combustione in fuel cell), causa di varie patologie nei centri urbani più densamente popolati.

Per i prossimi decenni si ipotizza pertanto una graduale trasformazione del sistema energetico attraverso una fase di transizione caratterizzata dalla riduzione del consumo di fossili, ottimizzando l'efficienza dei processi di conversione ad idrogeno e il co-utilizzo di fonti alternative. Durante questa fase si potranno anche sviluppare le infrastrutture necessarie (sistemi di stoccaggio, distribuzione e utilizzo) per il futuro "sistema idrogeno". Tale fase di transizione sarà quindi tanto più rapida quanto più velocemente si arriverà a dare una risposta ad alcune questioni tecnologiche ancora aperte, tra cui l'ottimizzazione delle prestazioni dei sistemi a cella a combustibile (costi, efficienza, affidabilità, vita utile), la definizione delle tecnologie più idonee (in termini di sicurezza e costi) per la distribuzione e lo stoccaggio (soprattutto per le applicazioni non stazionarie). Tuttavia, le esternalità positive che deriverebbero da una tale trasformazione del sistema energetico potranno concretizzarsi solo nel caso di produzione di idrogeno da cariche non fossili (alternative). Occorre pertanto analizzare tutte le tecnologie per la produzione disponibili al fine di individuare e sviluppare quelle più promettenti per una applicazione sostenibile su larga scala per il medio e lungo termine.

In tabella 1 sono riportate le proprietà chimico-fisiche caratteristiche dell'idrogeno. Come si può osservare, l'idrogeno può essere stoccato allo stato liquido a $T < -240\text{ °C}$ e $p > 13,2\text{ bar}$, oppure come gas compresso a temperatura ambiente e pressioni sufficientemente elevate ($> 50\text{ bar}$) per massimizzarne la densità e, quindi, la capacità di stoccaggio. Rispetto agli altri composti allo stato gassoso o liquido, presenta densità circa 1-2 ordini di grandezza inferiori: infatti, come gas a 0 °C e 1 bar ha densità di circa $0,09\text{ kg/m}^3$, mentre come liquido bollente a -253 °C e 1 bar ha densità di circa 71 kg/m^3 .

Produzione di idrogeno

Attualmente nel mondo sono prodotte ogni anno circa 45 milioni di tonnellate di idrogeno (8 milioni di tonnellate/anno solo nell'Unione Europea), corrispondenti a circa il 2% della domanda energetica globale¹. Poiché la domanda di idrogeno è destinata a raddoppiare già nei prossimi 10 anni e, soprattutto, nella prospettiva di un sistema energetico integrato basato sull'idrogeno da applicarsi nel lungo termine ($> 30\text{ anni}$), occorre considerare tutte le possibili opzioni di processo per la sua produzione, valutando tutti i possibili impatti a livello sociale, politico, economico e ambientale.

Circa il 96 % dell'idrogeno è attualmente prodotto con processi basati su fonti fossili, mentre il restante 4 % è prodotto dall'elettrolisi (anche se non è espressamen-

Tabella 1 - Proprietà chimico-fisiche dell'idrogeno

Peso molecolare	2,016 g/mole
Temperatura di fusione (1 bar)	- 259°C
Temperatura di ebollizione (1 bar)	- 253°C
Punto Critico	- 240°C, 13,2 bar
Densità gas (0 °C, 1 bar)	0,09 kg/m ³
Densità liquido (-253 °C, 1 bar)	71 kg/m ³
Potere Calorifico Superiore (PCS)	286 kJ/mol
Potere Calorifico Inferiore (PCI)	242 kJ/mol

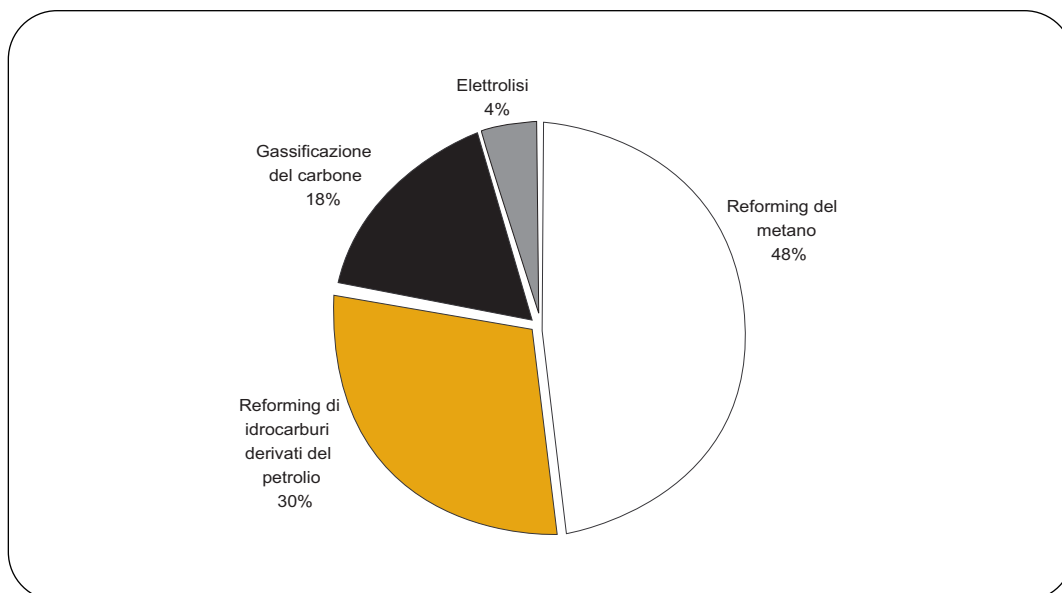


Figura 2
Attuale distribuzione dei metodi di produzione di idrogeno

te indicata la fonte primaria per la generazione di energia elettrica)(figura 2).

Tuttavia, come schematizzato in figura 3, esistono molteplici processi per la produzione di idrogeno da diverse fonti primarie. Alcuni di questi hanno già trovato un'ampia applicazione a livello industriale (reforming del gas naturale e di idrocarburi superiori, gassificazione del carbone, elettrolisi convenzionale), mentre altri si trovano ancora in una fase di ricer-

ca e sviluppo, con lo studio della fattibilità tecnologica in impianti dimostrativi su scala pilota (ad esempio per i processi di gassificazione di biomasse), oppure ancora in indagini preliminari di laboratorio finalizzate alla dimostrazione di fattibilità scientifica (ad esempio per la fotolisi solare).

Avendo a che fare con processi di conversione di energia, un parametro caratteristico significativo è l'efficienza energe-

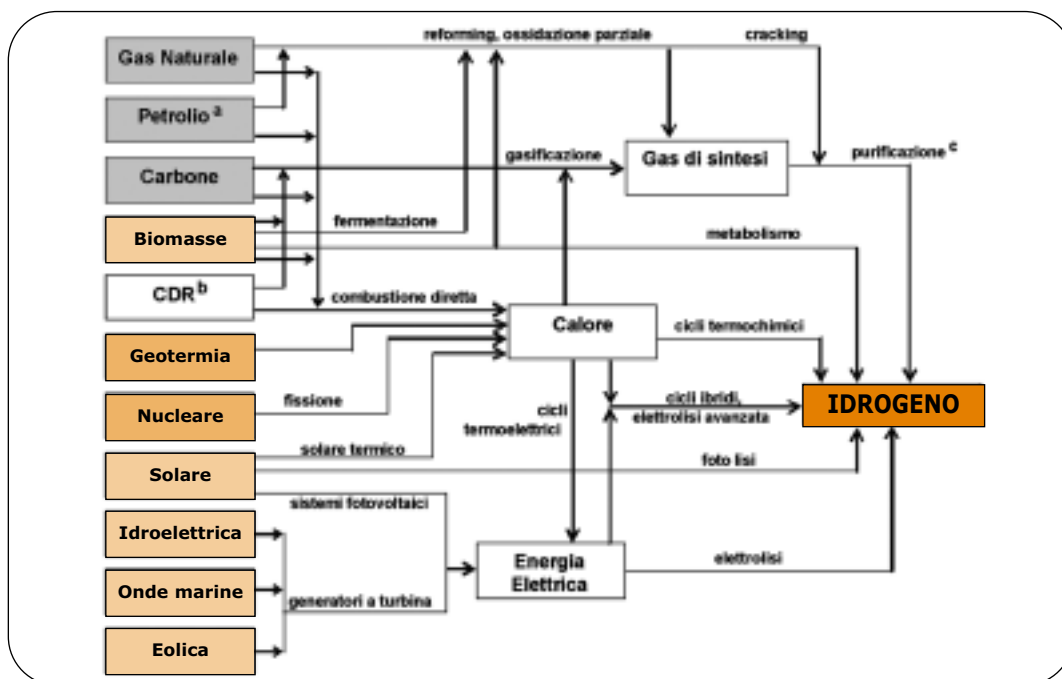


Figura 3
Possibili processi per la produzione di idrogeno.
[a] derivati da raffinazione (gas di raffineria, GPL, idrocarburi leggeri, olii pesanti, coke)
b) Combustibile da Rifiuto (CDR)
c) separazione di idrogeno dai coprodotti (ossidi di carbonio, residui carboniosi, ecc.), oppure sintesi di vettori chimici dell'idrogeno (metanolo o ammoniaca)]

tica (o di primo principio, detta anche efficienza termica): si tratta del consumo specifico di energia primaria riferita all'energia specifica dell'idrogeno prodotto in termini di potere calorifico.

Se Q_i e W_i sono i contributi di calore e lavoro direttamente apportati dalla fonte energetica primaria per la produzione di 1 mole di idrogeno e PCS_{H_2} il potere calorifico superiore dell'idrogeno stesso (285,9 kJ/mole) si può pertanto porre:

$$\eta_{en} = \frac{PCS_{H_2}}{\sum_i Q_i + \sum_j W_j}$$

E' però alquanto riduttivo realizzare il confronto tra processi differenti sulla base della sola efficienza energetica.

Ha infatti senso confrontare processi di produzione di idrogeno in termini di efficienza energetica solo quando la fonte energetica primaria è la stessa (nucleare, solare ecc.). E' invece opportuno confrontare i processi in base alle emissioni specifiche di CO_2 (o altri gas serra) (in kg di CO_2 per kg di H_2), l'impatto ambientale sul territorio per il processo di conversio-

ne, la disponibilità di fonti primarie e, infine, i costi specifici di produzione (in \$ per kg di H_2 prodotto).

L'efficienza energetica η_{en} influisce indirettamente su ognuno di tali parametri: per un dato processo, all'aumentare di η_{en} si riduce l'eventuale consumo di materie prime fossili, così come la richiesta di fonti primarie, i costi di produzione e l'impatto ambientale sul territorio che ne deriva; questo ultimo aspetto può essere significativo soprattutto nel caso delle fonti energetiche rinnovabili (solare, idroelettrico, eolico ecc.) che, essendo a "densità energetica" medio-bassa (1-400 MW/km²), possono richiedere un considerevole utilizzo specifico di territorio. Come mostrato in figura 3, i processi di produzione di idrogeno possono essere classificati in base alla fonte energetica o alla materia prima utilizzata, distinguendoli in processi di derivazione fossile, da biomassa e da acqua e fonti alternative.

Un quadro riassuntivo in cui i vari processi di produzione attualmente ritenuti più convenienti vengono confrontati è mostrato nella tabella 2.

Tabella 2 - Valutazione dei processi di produzione di idrogeno

Processo	Emissioni CO_2 (kg CO_2 /kg H_2)	Disponibilità di fonti primarie	Costi di produzione (\$/kg H_2)	Utilizzo territorio (ha/MWH H_2)	Stato di sviluppo tecnologico	Riferimenti
SMR convenzionale	8,8-14,1	Bassa	0,78 - 1,38 (1,02 - 1,76)*	< 1	maturato	[2,7]
SMR nucleare	5,5	Medio-bassa	0,73 (1,32)*	< 1	R&S	[2]
SMR solare	5,5	Media	1,8 - 1,9 *	< 2	R&S/pilota	[3]
Gassificazione del carbone convenzionale	27-36	Medio-alta	1,62 (3,11)*	< 1	Maturato	[2,7]
Gassificazione del carbone solare	11	Alta	2,6 *	< 3	R&S/pilota	[4]
Gassificazione di biomasse	0	Bassa	1,5-3,4	100-450	R&S/pilota	[5,6]
Cicli termochimici nucleare	0	Alta	1,5 - 2,0	< 1	R&S	[8]
Cicli termochimici solare	0	Illimitata	4,7 - 7,7	1-7	R&S	[9,10]
Elettrolisi nucleare	0	Medio -alta	5,2	< 1	Maturato	[2]
Elettrolisi da solare termico	0	Illimitata	12 - 14	1-10	Maturato	Stima ENEA
Elettrolisi da fotovoltaico	0	Illimitata	15 - 32	2-15	Maturato	[2,7]
Elettrolisi idroelettrica	0	Dipendente dalle condizioni locali	> 4.7	25-35	Maturato	[2]
Elettrolisi eolica	0	Dipendente dalle condizioni locali	> 10	30-40	Maturato	Stima ENEA

* costo valutato ipotizzando il sequestro quantitativo del CO_2 prodotto

Produzione di idrogeno da fonti fossili

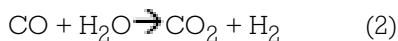
Produzione da gas naturale e derivati del petrolio

Il processo più ampiamente consolidato per la produzione di idrogeno è il reforming con vapore del metano (SMR), consiste nelle seguenti reazioni:



(reazione di reforming catalitico, che avviene tra 800-1000 °C, con una entalpia

$$\Delta H_{298\text{ K}} = + 206 \text{ kJ/mol}$$



(reazione di *shift*, 200-450°C,

$$\Delta H_{298\text{ K}} = - 41 \text{ kJ/mol}$$

Il bilancio di massa complessivo è pertanto:



$$(\Delta H_{298\text{ K}} = + 165 \text{ kJ/mol})$$

La reazione endotermica di reforming catalitico (1) avviene in una fornace utilizzante, come combustibile, lo stesso gas naturale greggio.

La reazione di *shift* (2), permette successivamente di massimizzare la resa in idrogeno, qualora la sua produzione non sia finalizzata all'utilizzo diretto del gas di sintesi H₂/CO come ad esempio nel caso della produzione del metanolo. Successivamente si opera la eventuale purificazione dell'idrogeno prodotto mediante assorbimento selettivo di CO₂, CO, e delle tracce residue di CH₄ ed N₂ generalmente mediante letti a carboni attivi in cosiddette unità PSA (*Pressure Swing Adsorption*). Il sequestro quantitativo del CO₂ prodotto può essere realizzato mediante assorbimento selettivo e reversibile in soluzioni alcaline.

In entrambi i casi (assorbimento selettivo in PSA o soluzioni alcaline) si tratta di cicli di compressione-decompressione che incidono sensibilmente sui costi di impianto e di esercizio.

Essendo un processo industriale ormai ben consolidato, ha potuto subire nel corso degli anni una continua ottimizzazione, fino a raggiungere efficienze energetiche dell'80% per grossi impianti industriali.

La ricerca tende attualmente a minimizzare le temperature di reforming catalitico mediante adozione di nuovi catalizzatori e l'utilizzo di reattori a membrana (con membrane selettive all'idrogeno, in genere a base di palladio).

Se ipotizziamo valori di efficienza energetica dell'80, 65, 60, 50 %, si verificano emissioni specifiche di circa 8,8, 10,9, 11,8, 14,1 kgCO₂/kgH₂, rispettivamente. Tale stima non include gli eventuali equivalenti di CO₂ aggiuntivi dovuti all'emissione di altri gas serra dalla fornace di reforming quali CO, CH₄ (da combustione imperfetta) e NO_x. Per quanto riguarda la disponibilità di gas naturale, si stima che le riserve mondiali garantirebbero un approvvigionamento sicuro per i prossimi 50 anni, anche se il costo potrà presentare sensibili fluttuazioni nel tempo in relazione ai rapporti politici ed economici con i paesi produttori.

Del resto, il costo di produzione dell'idrogeno è molto sensibile a quello del NG incidendo, in relazione all'efficienza energetica del processo, per circa il 30-50% dei costi totali di produzione; il costo di produzione aumenta poi di circa il 30% nel caso di sequestro e confinamento del CO₂ (tabella 2).

L'idrogeno può essere prodotto dal metano anche mediante processi di *cracking* (mediante processo termico o al plasma) oppure di ossidazione parziale (processo autotermico).

Nel caso del *cracking*, in particolare, si ha la formazione di *carbon black* (solido), che può rappresentare un co-prodotto di considerevole valore e permette altresì un semplice sistema di sequestro del CO₂ prodotto. Entrambi i processi (*cracking* e ossidazione parziale) risultano però meno convenienti dello SMR conven-

zionale in termini di emissioni specifiche di CO₂ e/o di costi di produzione.

Gli idrocarburi più pesanti del metano (derivati dal petrolio) presentano rapporti H/C sempre minori all'aumentare del peso molecolare, per cui determinano emissioni specifiche di CO₂ superiori rispetto allo SMR, qualunque sia il processo di conversione di riferimento (reforming, cracking, ossidazione parziale).

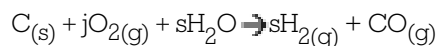
Considerando che la capacità di approvvigionamento del petrolio greggio per il medio-lungo termine (> 30 anni) è ritenuta inferiore rispetto a quella del gas naturale, si può concludere che non è giustificabile la produzione di idrogeno su larga scala da oli idrocarburi superiori. Tuttavia, come mostrato in figura 2, gli oli idrocarburi di derivazione petrolchimica rappresentano ancora oggi la seconda fonte primaria per la produzione di idrogeno: si tratta infatti di processi di raffinazione che vedono l'idrogeno come co-prodotto di operazioni finalizzate alla deidrogenazione di cariche idrocarburi, ad esempio per la produzione di olefine. Si può pertanto concludere che il *reforming* del gas naturale con vapore rappresenta il metodo più conveniente per la produzione di idrogeno da idrocarburi (NG o derivati del petrolio) sia in termini di emissioni di GHG che di disponibilità di fonti e costi di produzione.

La produzione di idrogeno da derivati del petrolio può invece avvenire in processi di raffinazione (ad esempio impianti di deidrogenazione per la produzione di olefine) in cui l'idrogeno figura come co-prodotto di rilevante valore aggiunto.

Gassificazione di solidi carboniosi

Come mostrato in figura 2, circa il 18% della produzione mondiale di idrogeno utilizza, come materia prima, il carbone mediante processi di gassificazione. In generale, la gassificazione di un composto carbonioso (carbone o petcoke) con vapore e ossigeno avviene secondo una

serie di reazioni contestuali (reazioni gas-solido, in fase gassosa omogenea e di pirólisi) il cui effetto complessivo può essere rappresentato nel seguente modo*:



$$(s = 1 - 2j)$$

In pratica, il substrato solido carbonioso (C_(s)) agisce da riducente nei confronti dell'H₂O, mentre l'O₂ consente l'ossidazione parziale del substrato stesso per fornire il calore di reazione.

Il processo avviene essenzialmente in un gassificatore (a letto trascinato, a letto fluido, oppure a letto mobile), a combustione interna (autotermico) o esterna, operante a 750-1500 °C, seguito da unità di purificazione ed, eventualmente, dal reattore di *shift*. Poiché le materie prime sono in genere ricche di composti solforati (fino al 5 % in peso), è prevista una unità di desolforazione e recupero dello zolfo, che rappresenta un co-prodotto con discreto valore commerciale.

La miscela gassosa prodotta è poi inviata ad un impianto di purificazione dell'idrogeno e di confinamento del CO₂ (assorbimento selettivo in PSA e soluzioni alcaline). E' generalmente prevista anche la co-generazione di energia elettrica.

Le efficienze energetiche stimate per la gassificazione del carbone sono dell'ordine del 45-60 %.

Ne conseguono però rilevanti emissioni di CO₂ che, a seconda dell'efficienza energetica, sono dell'ordine di 27-36 kg CO₂/kg H₂: l'eventuale applicazione intensiva del processo richiederà quindi di affiancare il gassificatore con una efficiente unità di abbattimento (sequestro) e confinamento del CO₂ prodotto.

Di contro, rispetto alle altre fonti fossili, il carbone presenta una maggiore capacità di approvvigionamento e disponibilità: si tratta del fossile più omogeneamente distribuito nel sottosuolo terrestre, con riserve mondiali che garantirebbero un approvvigionamento sicuro per i prossimi 200 anni.

*nel seguito lo stato fisico dei composti viene indicato con l=liquido g=gassoso s=solido

Processi ibridi di produzione da fonti fossili/alternative

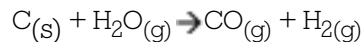
Al fine di minimizzare l'utilizzo di fonti fossili e, quindi, le emissioni di gas serra e i problemi di approvvigionamento delle fonti primarie, la tendenza attuale è quella di massimizzare le efficienze energetiche di conversione e, nel contempo, di sviluppare "processi ibridi" risultanti dall'integrazione di fonti fossili con fonti energetiche alternative (nucleare, rinnovabili).

I processi convenzionali di reforming del metano (SMR) e gassificazione di materiali carboniosi richiedono, infatti, un apporto termico a spese di una frazione della stessa carica idrocarburica di partenza, che potrebbe essere fornito da una fonte termica alternativa, di origine nucleare o solare.

Fornendo il calore di processo dello SMR con una fonte alternativa (non fossile), le emissioni specifiche di CO₂ sarebbero esclusivamente quelle ricavabili dalla stechiometria di reazione, ovvero circa 5,5 kg CO₂/kg H₂, corrispondente quindi a una riduzione del 38-50% di emissioni di gas serra su impianti su larga scala ($\eta_{\text{gas}} = 65-80\%$). Una prima opzione consiste quindi nell'utilizzare il calore di un reattore nucleare (tipo AGR, HTGR, MSCR): si stima per tale processo un costo di produzione industriale dello stesso ordine di grandezza del processo convenzionale (tabella 2)².

Lo SMR può anche essere alimentato da un impianto solare termico (a concentrazione). Anche in tal caso, l'accoppiamento dello SMR con la fonte energetica alternativa permetterebbe di ottenere costi di produzione dello stesso ordine di grandezza del processo convenzionale, ma con emissioni di CO₂ sensibilmente inferiori³ (tabella 2). L'interesse verso lo SMR solare è dimostrato ad esempio dal progetto europeo SOLREF, recentemente finanziato con circa 3,8 M€ per la realizzazione di un impianto a torre solare su scala pilota in una regione dell'Italia meridionale³.

Anche nel caso della gassificazione di materiali carboniosi è stata concepita una versione "solare", realizzando quindi il processo con il solo vapore e in assenza di ossigeno:

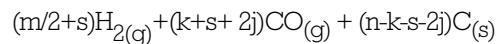
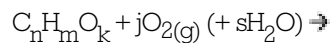


$$(\Delta H_{298\text{ K}} = + 175 \text{ kJ/mol})$$

In particolare, è stata già studiata su un impianto sperimentale la gassificazione del petcoke su un reattore solare a cavità⁴. In tal caso le emissioni specifiche di CO₂ potranno ridursi da 27-36 a 12-13 kg CO₂/kg H₂.

Gassificazione di biomasse e CDR

Il processo di gassificazione delle biomasse può essere rappresentato nel seguente modo:



dove C_nH_mO_k è una formula che indica la composizione generica di una biomassa (comunemente risulta n/m/k ≈ 6/10/5).

Trattandosi della gassificazione di un solido, il processo è sotto molti aspetti simile alla gassificazione di materiali carboniosi.

A differenza di questi ultimi, poiché la biomassa contiene già dell'idrogeno legato chimicamente alla matrice solida, oltre presentare un certo contenuto di acqua, non è sempre necessario alimentare il gassificatore con il vapore (agente di gassificazione nel caso dei composti carboniosi), realizzando così una vera e propria pirolisi del materiale (s = 0). In ogni caso, il prodotto consiste sempre di una miscela gassosa di gas di sintesi (H₂/CO) e del solido carbonioso.

Tali prodotti possono poi essere interessati (nello stesso gassificatore) alle stesse reazioni chimiche della gassificazione di materiali carboniosi.

Il gassificatore opera a 650-850 °C e la composizione del gas prodotto dipende essenzialmente, oltre che dalla temperatura, dalla quantità di agente gassificante introdotta e dalla composizione della bio-

massa, in particolare dal suo contenuto di umidità. Si può poi realizzare la reazione di *shift* (per massimizzare la resa in idrogeno) e le operazioni di purificazione.

Come nel caso della gassificazione dei materiali carboniosi, anche in quello della biomassa è prevista in genere la co-generazione di energia elettrica^{5,6}. L'efficienza energetica di tali processi è dell'ordine del 45-50%, mentre le emissioni di CO₂ possono considerarsi nulle: assumendo infatti di utilizzare quale materia prima la biomassa coltivata, le emissioni di CO₂ sarebbero equivalenti a quanto precedentemente "catturato" dall'atmosfera durante il periodo di vita della pianta; si parla pertanto di "CO₂ neutro" in quanto la sua emissione non altera il relativo bilancio di massa globale nell'atmosfera.

I maggiori limiti dei processi di gassificazione delle biomasse riguardano la capacità di approvvigionamento di materia prima e l'elevato utilizzo del territorio per unità di massa di idrogeno prodotto. La fonte energetica primaria di partenza è, infatti, la radiazione solare la quale, oltre ad essere una fonte a media densità energetica (intensità media dell'ordine di 100-350 MW/km²), presenta una efficienza di conversione in potere calorifico superiore della biomassa prodotta dell'ordine dello 0,5%; ne consegue un utilizzo del territorio dell'ordine di 100-450 ha/MWH₂, ovvero di almeno un ordine di grandezza superiore rispetto ad altri processi basati sull'utilizzo di altre fonti (fossili, nucleare, solare, eolico ecc.), come mostrato in tabella 2. Inoltre, sebbene si tratti di una fonte rinnovabile, sono pochi i paesi dotati di elevate disponibilità di biomasse, mentre gli eventuali costi di trasporto sarebbero eccessivi: si ritiene pertanto che il processo di gassificazione si applichi a biomasse da scarti di lavorazioni dell'industria, di residui forestali o del settore agro-zootecnico, ovvero, in generale, di combustibili da rifiuto (CDR), comprendenti anche rifiuti solidi termovalorizzabili tra cui le materie plastiche.

Produzione di idrogeno da acqua e fonti energetiche alternative

Al fine di svincolare la produzione di idrogeno dalla fonte fossile, si cercano fonti alternative più "sicure" e il cui impiego determini un modesto impatto ambientale. Poiché l'acqua risulta l'unica materia prima per la produzione di idrogeno che presenta tali caratteristiche, si considerano le varie opzioni per la sua dissociazione (in H₂ e O₂) utilizzando fonti energetiche alternative.

Un primo processo per la produzione di idrogeno da acqua e fonte solare è stato in effetti già considerato: si tratta della gassificazione delle biomasse, il cui unico effetto complessivo è la scissione dell'acqua mediante utilizzo della radiazione solare (mediante il processo fotosintetico il CO₂ atmosferico viene prima fissato sotto forma di C_nH_mO_k e poi rilasciato nella gassificazione).

La dissociazione termica diretta dell'acqua (termolisi diretta) consiste nella seguente reazione:



$$(\Delta H_{298 \text{ K}} = \Delta H^0 = + 242 \text{ kJ/mol, e}$$

$$\Delta S_{298 \text{ K}} = \Delta S^0 = + 0,045 \text{ kJ/molK})$$

oppure (con H₂O reagente in fase liquida a 298 K):



$$(\Delta H_{298 \text{ K}} = \Delta H^0 = + 286 \text{ kJ/mol,}$$

$$\Delta S_{298 \text{ K}} = \Delta S^0 = + 0,163 \text{ kJ/molK})$$

In figura 4 sono mostrati i profili dell'energia libera di Gibbs (ΔG) e della costante di equilibrio di idrolisi (K_{eq}) alle varie temperature. Si può quindi osservare che il ΔG reazione si annulla a circa 4040 °C, condizioni in cui si ottiene una conversione dell'acqua leggermente superiore al 50%, mentre potremo ottenere una conversione superiore al 10% solo operando a temperature ben superiori ai 2000 °C, condizioni poco favorevoli per la generazione su larga scala.

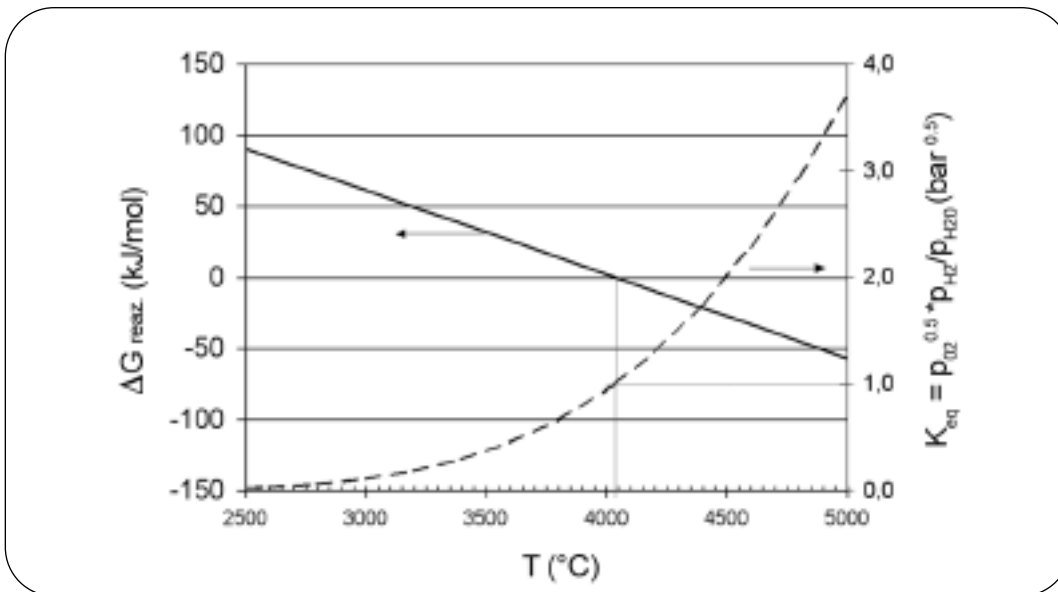


Figura 4
Termodinamica della
termolisi dell'acqua

Infatti, in primo luogo, tra le fonti alternative solo il solare termico con elevati fattori di concentrazione permetterebbe il raggiungimento di tali temperature, a meno di utilizzare poco efficienti processi di conversione elettrica. Sarebbe inoltre necessario l'impiego di materiali refrattari speciali in grado di sopportare gli elevati stress termici e l'aggressività dei componenti gassosi ad alta temperatura.

Infine la separazione dei prodotti (H_2/O_2) dovrebbe avvenire ad alta temperatura per impedirne la ricombinazione durante il raffreddamento, con conseguente necessità di utilizzo di materiali selettivi (membrane) speciali, non ancora sviluppati.

Dal punto di vista tecnologico sono invece realizzabili i seguenti processi di idrolisi da fonti alternative a temperature accessibili:

- elettrolisi alcalina convenzionale o ad alta temperatura (HTE), con elettricità generata da fonti rinnovabili di origine meccanica (eolico, idroelettrico), solare fotovoltaico, solare-termico, nucleare;
- cicli termochimici (o termolisi indiretta), puri o ibridi da nucleare o solare-termico;
- fotolisi solare;
- processi fotoelettrochimici;
- biotecnologie.

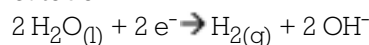
Processi di elettrolisi

Tra i processi sopra elencati, solo l'elettrolisi convenzionale (a bassa temperatura) ha raggiunto un grado avanzato di maturazione per la sua applicazione su scala industriale.

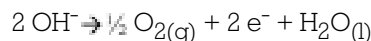
Contrariamente alla termolisi diretta, abbiamo un contributo di "lavoro utile" sotto forma di lavoro elettrico W_{el} per compensare il valore positivo del ΔG di reazione a T prossime alla temperatura ambiente.

Il processo consiste essenzialmente nelle seguenti semireazioni elettrodiche:

catodo:



anodo:



Tra i 2 comparti elettrodici (anodo e catodo) si interpone una membrana porosa che consente la migrazione degli anioni OH^- ma impedisce la migrazione dei prodotti di reazione (H_2 e O_2) tra gli stessi comparti. La tensione teorica di cella è di 1,23 V, ma a causa delle sovratensioni si opera a 1,8-2,2 V, con un consumo elettrico di 4,5-5,5 kWh per m^3 di H_2 prodotto (in condizioni normali di temperatura e pressione). Ne risulta un H_2 molto puro (> 99,99%), ed è proprio per l'elevata purezza del prodot-

to che giustifica l'adozione dell'elettrolisi su larga scala a livello industriale.

L'efficienza del solo processo di elettrolisi (conversione di energia elettrica in potere calorifico superiore dell'idrogeno) è del 65-75%. Tuttavia, per stimare l'efficienza termica effettiva del processo e le emissioni specifiche di CO₂ occorre riferirsi a un processo di generazione di energia elettrica. Così, ad esempio, se consideriamo i valori medi delle reti elettriche Europee (maggiore utilizzo di fonti fossili), avremo emissioni specifiche di CO₂ che vanno da 4 kg CO₂/kgH₂ (per paesi a più elevato sviluppo nucleare), fino a 20-22 kg CO₂/kgH₂ (Unione Europea).

Poiché la conversione energetica calore-elettricità comporta una perdita di rendimento del processo, si cerca sempre di limitare l'utilizzo di energia elettrica nei processi chimici.

A tal fine, una prima possibilità consiste nel realizzare l'elettrolisi a temperature più elevate (fino 800 °C) nelle cosiddette elettrolisi avanzate (HTE). Operare a temperature più elevate consente infatti, in primo luogo, di ridurre il contributo termodinamico del lavoro elettrico. Assumendo, in prima approssimazione, che ΔH e ΔS di reazione siano invarianti con la temperatura ($\Delta H = \Delta H_{298K} = \Delta H^0$, $\Delta S = \Delta S_{298K} = \Delta S^0$, ipotesi lecita soprattutto per il ΔH , meno lecita per il ΔS), possiamo porre:

$$\Delta H^0 = W_{el} + T \cdot \Delta S^0 \quad (\text{eq. 2}).$$

Pertanto, all'aumentare di T diminuisce il contributo termodinamico del lavoro elettrico (W_{el}) rispetto al calore reversibile di reazione ($T \cdot \Delta S^0$). Inoltre, all'aumentare di T si riducono le sovratensioni di elettrodo e di cella, mentre, di contro, divengono critici i problemi di tenuta dei materiali sia per il maggiore potere corrosivo dell'elettrolita, sia per ragioni meccaniche nel caso di elettrodizzatori pressurizzati.

Un primo miglioramento rispetto all'elettrolisi convenzionale consiste nell'idrolizzare l'acqua sempre allo stato liquido ma a 200-300 °C, in elettrodizzatori pressurizzati fino 20-100 bar. Temperature operative

ancora più elevate (fino 550 °C) sono realizzabili utilizzando sali fusi come mezzo elettrolitico in presenza di tracce di H₂O disciolte. E' infine possibile realizzare l'elettrolisi avanzata utilizzando, come mezzo elettrolitico, elettroliti solidi a conduzione ionica: si tratta in genere di ossidi ceramici con elementi droganti per massimizzare la conducibilità, in grado di operare a 700-1100 °C. Come accennato, i processi di elettrolisi sono generalmente considerati poco economici a causa delle modeste efficienze energetiche di conversione dell'energia termica della fonte primaria in energia elettrica.

Anche oggi, nonostante i recenti sviluppi dei reattori nucleari che permetterebbero la generazione elettrica con rese più elevate (fino al 55%), si ritiene che il contributo di lavoro elettrico sia da minimizzare anche per le problematiche legate alla sovratensione di cella ed elettrodica, che comportano un ulteriore incremento del lavoro elettrico richiesto rispetto a quello ideale (W_{el}). I processi di produzione di idrogeno da elettrolisi a partire da fonti rinnovabili risultano, come nel caso del fotovoltaico, particolarmente costosi (tabella 2) e vengono in genere concepiti come metodi per lo stoccaggio di energia più che come metodi di produzione di idrogeno per la distribuzione.

Cicli termochimici

Particolarmente interessante risulta la possibilità di realizzare l'idrolisi utilizzando, in principio, esclusivamente calore ($W_{el} = 0$) a temperature convenienti e accessibili con le tecnologie disponibili, mediante cicli termochimici (termolisi indiretta). I cicli termochimici di idrolisi consistono in una sequenza di (N) reazioni chimiche il cui effetto complessivo è la dissociazione dell'acqua in idrogeno e ossigeno: grazie alla formazione di opportuni intermedi (M_i) si realizza l'idrolisi a temperature inferiori rispetto a quelle di termolisi diretta (> 4000 °C) e, in teoria, senza contributi di lavoro elettrico ($W_{el} = 0$).

In generale, per ogni singola reazione (i) del ciclo termochimico, assunta isoterma alla temperatura T_i , il lavoro apportato sul sistema di reazione (W_i) eguaglia l'energia libera di Gibbs secondo la seguente relazione:

$$W_i = \Delta G_i = \Delta H_i - T_i \cdot \Delta S_i$$

Pertanto, dato un ciclo termochimico costituito da N reazioni (i) isoterme alla T_i , il lavoro e il calore totale da fornire saranno dati dalla somma dei contributi dei singoli stadi del processo (assumendo in via esemplificativa che ΔH_i e ΔS_i siano invariati con la temperatura):

$$W_{tot} = \sum_{i=1}^N [\Delta G_{i,298K} - (T_i - 298K) \Delta S_i^0]$$

$$\Delta H_{tot}^0 = \sum_{i=1}^N T_i \cdot \Delta S_i^0$$

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^N T_i \cdot \Delta S_i^0$$

Si può subito osservare che, se per la generica reazione (i) componente il ciclo risulta $\Delta S_i^0 > 0$, allora all'aumentare di T_i diminuisce il lavoro da apportare nel processo termochimico.

Pertanto, mentre nella termolisi diretta (unico stadio, $N = 1$, $\Delta S^0 = +0,163 \text{ kJ/molK}$) è possibile minimizzare il lavoro richiesto esclusivamente aumentando la temperatura (T) di processo (questo è, appunto, il

principio dell'elettrolisi avanzata), nel caso dei cicli termochimici è possibile minimizzare il lavoro (W_{tot}) anche selezionando opportunamente le N reazioni che compongono il processo, contenendo così anche le temperature T_i entro limiti accettabili per le attuali tecnologie disponibili (solare, nucleare, geotermico, ecc.). Affinché ciò sia realizzabile, in base alla eq.2 è necessario che esistano stadi i in cui si realizzino salti entropici $\Delta S_i^0 > 0$ sufficientemente elevati: in altre parole, quindi, i cicli termochimici permettono di intervenire non solo sulle temperature e/o sui contributi di lavoro da apportare al sistema, ma anche sulla selezione degli N stadi del processo con gli adeguati valori di ΔS_i^0 .

Tali considerazioni risultano più chiare seguendo il processo termodinamico su un diagramma di Mollier come mostrato in figura 5, dove il cammino termodinamico di un processo termochimico viene confrontato con un processo di termoidrolisi in un singolo stadio: in tale schema semplificato si può osservare come le pendenze (quindi le temperature) delle linee degli stadi del ciclo termochimico sono meno elevate di quelle messe in gioco in un processo di termoidrolisi diretta. Ad oggi, sono stati concepiti e studiati più di 200 cicli termochimici: per la maggior parte di essi lo studio ha riguardato sol-

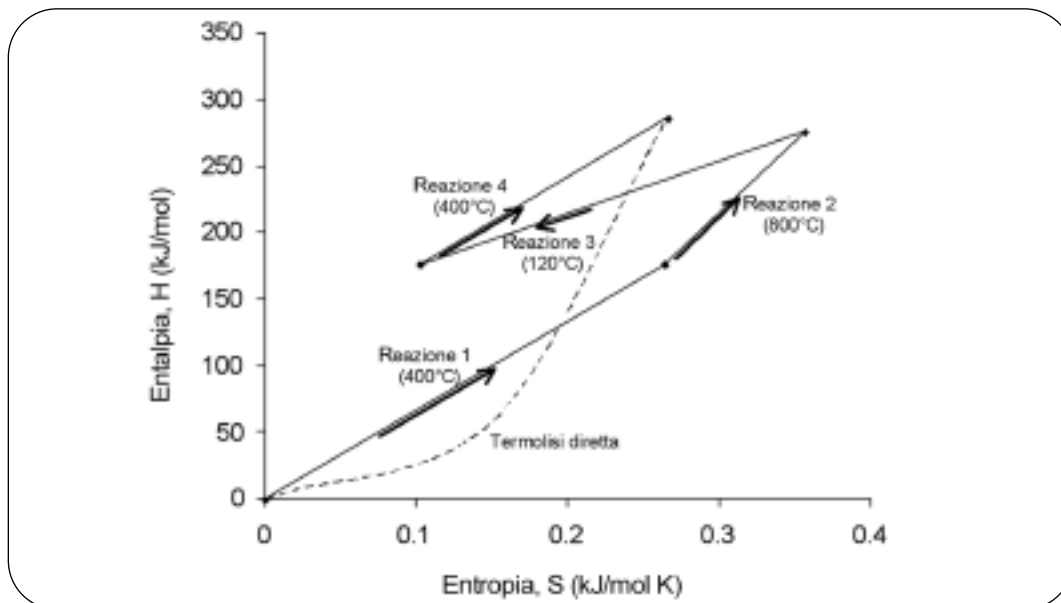


Figura 5
Cicli termochimici su diagramma di Mollier

tanto una attività teorica più o meno approfondita, e solo pochi sono stati sottoposti a una analisi di fattibilità scientifica in laboratorio. Resta quindi questo ancora un campo tanto promettente per una applicazione futura su larga scala, quanto inesplorato.

In tabella 3 sono illustrati i cicli termochimici ad oggi maggiormente studiati.

Tra questi, merita di essere richiamato il processo zolfo-iodio, che è stato sviluppato fino a una dimostrazione del ciclo chiuso in laboratorio (produzione di circa 30 l/h di idrogeno in continuo per una settimana), e per il quale è prevista la implementazione su scala pilota per i prossimi anni (entro il 2010) presso il JAEA in Giappone; per applicazioni solari è anche promettente il ciclo alle ferriti, in corso di sperimentazione nell'ambito del programma comunitario HYDROSOL.

Di fatto, affinché l'adozione di un ciclo termochimico sia giustificabile è necessario che l'efficienza energetica dell'intero processo sia superiore a quella prevista per l'elettrolisi a partire dalla stessa fonte energetica primaria. Una stima preliminare dell'efficienza energetica di un ciclo termochimico è realizzabile considerando il pro-

cesso termodinamico "ideale".

Analizzando poi i singoli stadi del processo in maniera sempre più approfondita e realistica si otterranno valori di efficienza termica sempre inferiori, fino a un minimo in cui in modo molto realistico si concepisce un *flow sheet* di processo.

Successivamente, in seguito alla ottimizzazione dello schema di processo concepito, si provvederà a migliorare l'efficienza, come mostrato in figura 6.

Ovviamente, un ciclo termochimico di idrolisi sarà degno di essere preso in considerazione solo se, a parità di fonte energetica primaria, la sua efficienza termica reale risulta superiore a quella di un processo di generazione elettrica-elettrolisi. Oltre all'efficienza energetica del processo η_{term} , per la scelta del ciclo termochimico più idoneo da accoppiare a una data fonte termica primaria, occorre considerare i seguenti criteri:

- potenzialità di accoppiamento con la sorgente termica;
- complessità delle operazioni di separazione dei prodotti e cinetica delle singole reazioni;
- costi di pompaggio e compressione (che comportano consumi elettrici non esplici-

Tabella 3 - Esempi di cicli termochimici di idrolisi

Ciclo termochimico	Stadio	T(°C)
Ciclo Zolfo-Iodio (S-I)	1 $2\text{H}_2\text{O(l)} + \text{I}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2\text{HI}(\text{aq})$	20-120
	2 $2\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \text{I}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	300-450
	3 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{SO}_3(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	800-950
Ciclo delle Ferriti Miste	1 $2\text{MnFe}_2\text{O}_4(\text{s}) + 3\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 6\text{Na}(\text{Mn}_{1/3}\text{Fe}_{2/3})\text{O}_2(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	750-800
	2 $6\text{Na}(\text{Mn}_{1/3}\text{Fe}_{2/3})\text{O}_2(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{MnFe}_2\text{O}_4(\text{s}) + 3\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	700-1000
Ciclo dell'ossido di zinco	1 $\text{Zn}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{ZnO}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g})$	430-900
	2 $\text{ZnO}(\text{s}) \rightarrow \text{Zn}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	1200-1500
Ciclo UT-3	1 $\text{CaBr}_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + 2\text{HBr}(\text{g})$	700-900
	2 $\text{CaO}(\text{s}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CaBr}_2(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	430-570
	3 $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 8\text{HBr}(\text{g}) \rightarrow 3\text{FeBr}_2(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g})$	220-280
	4 $3\text{FeBr}_2(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 6\text{HBr}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	500-900
Ciclo del Cloruro di Cerio	1 $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	600-700
	2 $2\text{CeO}_2(\text{s}) + 8\text{HCl}(\text{g}) \rightarrow 2\text{CeCl}_3(\text{s}) + 8\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$	100-250
	3 $2\text{CeCl}_3(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{CeO}_2(\text{s}) + 6\text{HCl}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	750-800

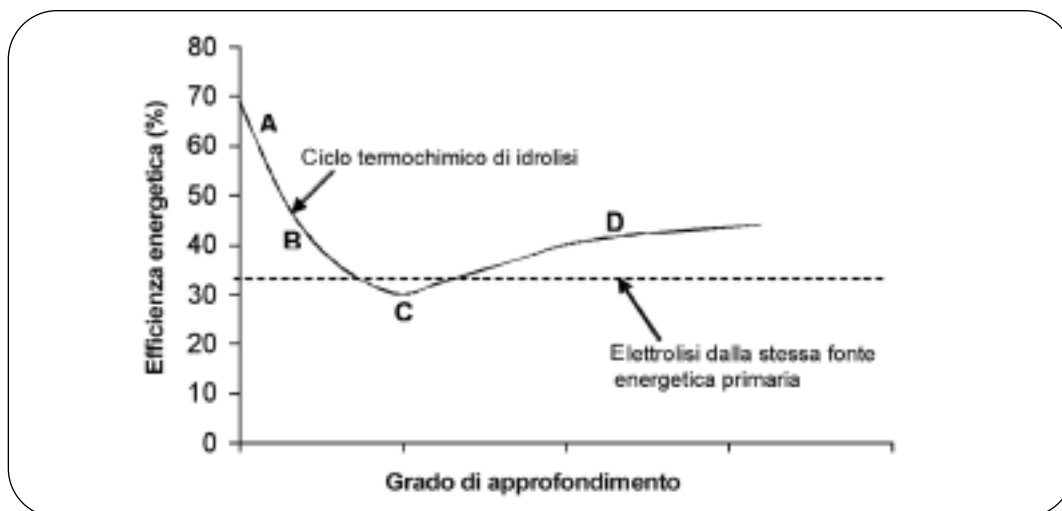


Figura 6

Andamento tipico dell'efficienza energetica stimata per un ciclo termochimico con il suo grado di approfondimento. A: studio preliminare (previsione dell'efficienza teorica); B: analisi di schemi di processo ideali; C: definizione di flow sheet dettagliati e realistici; D: ottimizzazione di processo

tamente considerati in una analisi termodinamica preliminare);

- compatibilità dei reagenti e intermedi di reazione e delle condizioni operative con i materiali costruttivi;
- ciclabilità degli intermedi e assenza di reazioni secondarie;
- maneggevolezza degli intermedi (tossicità, infiammabilità, esplosività).

Possono anche essere concepiti cicli termochimici cosiddetti "ibridi", che prevedono uno (o più) stadi di tipo elettrochimico. Esempi di cicli termochimici ibridi maggiormente studiati sono riportati in tabella 4.

Sebbene l'utilizzo di metodi elettrochimici permetta di superare alcuni vincoli termodinamici caratteristici di alcune reazioni di un ciclo termochimico, occorre valutare accuratamente i consumi energetici che ne derivano.

Altri metodi per la produzione di idrogeno da acqua e fonti alternative

Mentre i cicli termochimici, in particolare il ciclo zolfo-iodio, si trovano già quasi in una fase di sviluppo a livello di impianto pilota, i processi di fotolisi solare (figura 3) sono ancora in una fase di indagine preliminare. Se le modestissime efficienze energetiche venissero confermate, si prevede che non risulteranno competitivi con i cicli termochimici alimentati da solare, data la maggiore potenza richiesta all'impianto solare e l'elevato costo di quest'ultimo.

Andrebbero considerati anche metodi fotoelettrochimici di idrolisi, anch'essi però ancora in una fase di studio a livello di laboratorio.

Tabella 4 - Esempi di cicli termochimici ibridi di idrolisi

Ciclo termochimico	Stadio	T(°C)
Ciclo ibrido dello zolfo (HyS)	1 $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$	25-80, elettr. 0.5-0.6 V
	2 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{SO}_3(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	800-950
Ciclo del Cloruro di Rame (CuCl)	1 $2\text{Cu}(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{CuCl}(\text{l})$	450
	2 $4\text{CuCl} \rightarrow 2\text{Cu}(\text{s}) + 2\text{CuCl}_2$	25, elettr. 0.4-0.5 V
	3 $2\text{CuCl}_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{Cu}_2\text{OCl}_2 + 2\text{HCl}(\text{g})$	325
	4 $\text{Cu}_2\text{OCl}_2 \rightarrow 2\text{CuCl}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$	450-530
Ciclo zolfo-bromo (S-Br)	1 $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{l}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HBr}(\text{g}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$	100-140
	2 $2\text{HBr}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{l})$	80°C, elettr. 0.4-0.5 V
	3 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$	800-950

Infine grande interesse rivestono i processi biotecnologici ancora in fase di studio, per i quali non si prevede al momento una futura applicazione su larga scala, ma che vengono piuttosto ritenuti molto promettenti per una produzione decentralizzata dell'idrogeno. Quest'ultimo aspetto è particolarmente interessante se si considerano gli elevati costi di distribuzione dell'idrogeno in un futuro sistema energetico basato sull'utilizzo di tale vettore energetico: potrebbero pertanto trovare larga applicazione nei casi di piccole utenze in siti non serviti dalla rete di distribuzione.

Potenzialità e ruolo dei cicli termochimici per la futura produzione di idrogeno

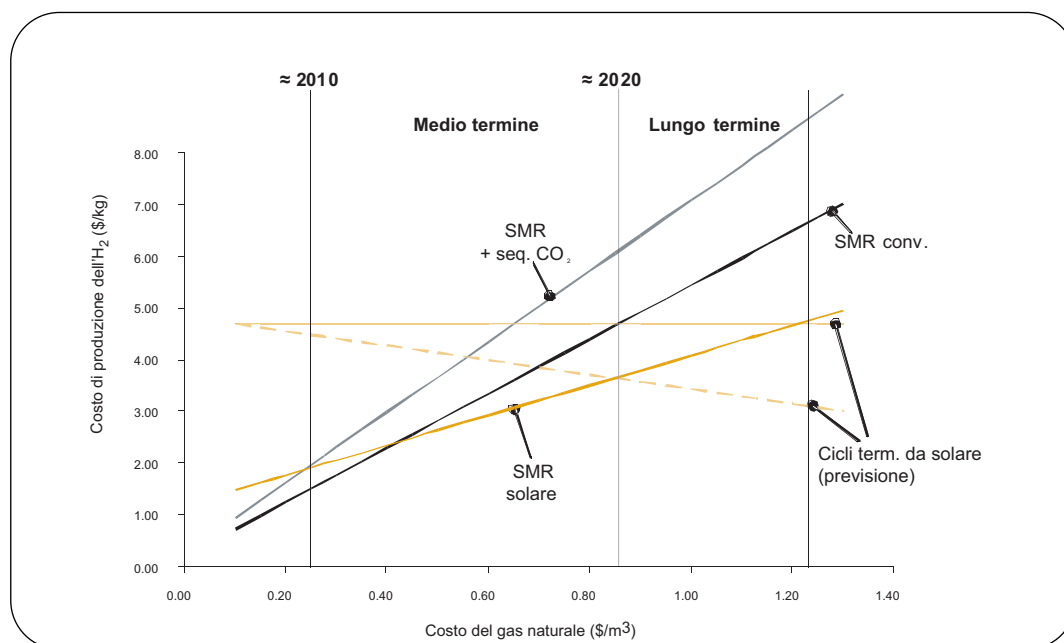
In tabella 2 sono riportate le caratteristiche dei processi descritti. I costi di produzione di alcuni processi rappresentativi in funzione del costo del gas naturale sono anche rappresentati in figura 7. In base a quanto discusso precedentemente e ai risultati mostrati in tabella 2 si può concludere che processi quali il *reforming* del gas naturale (SMR) e la gassificazione del carbone anche con seque-

stro del CO₂ e successivo confinamento stabile, che peraltro deve ancora essere dimostrato, sembrano essere i più competitivi per una applicazione nel breve termine (< 20 anni): tali processi hanno infatti già raggiunto un livello di sviluppo tale da trovare applicazione in campo industriale e diverranno ancora più competitivi nel medio termine nel caso di integrazione con fonti alternative (solare o nucleare), come mostrato anche in figura 7. La gassificazione di biomasse può essere molto competitiva nel medio-lungo termine (> 10 anni) dal punto di vista delle emissioni di CO₂ e dei costi di produzione, ma occorre in tal caso considerare le modeste rese energetiche dell'intero processo radiazione solare-idrogeno, che comportano un considerevole utilizzo specifico del territorio. Si ritiene che tali processi potrebbero significativamente contribuire a soddisfare la futura domanda di idrogeno in Europa solo nel caso di utilizzo di materiale da rifiuto quale fonte primaria (CDR).

Per le applicazioni nel lungo termine (> 30 anni) occorrerà invece considerare esclusivamente i processi che utilizzano fonti alternative, molti dei quali tuttoggi in

Figura 7

Confronto tra i futuri costi di produzione dell'idrogeno. Si assume un incremento annuo del 2% del costo del gas naturale, con un costo attuale di 0,15 \$/m³, incremento del costo di produzione del 30% nel caso di sequestro del CO₂



via di sviluppo. Tra questi, i cicli termochimici alimentati da fonte nucleare sono ritenuti economicamente più vantaggiosi. Nel caso di utilizzo di fonti rinnovabili, sono i cicli termochimici alimentati da fonte solare a essere ritenuti più vantaggiosi sia in termini di utilizzo specifico del territorio che di costi di produzione.

Inoltre, nel caso dell'elettrolisi con elettricità prodotta da fonti rinnovabili quali fotovoltaico ed eolico senza accumulo, va considerata la sfavorevole condizione di utilizzo dell'elettrolizzatore. Infatti, le ore di effettivo funzionamento a potenza nominale dell'impianto risultano in genere non superiori alle 2000 h/a, fatto che rende la quota di ammortamento dell'elettrolizzatore estremamente onerosa per il costo totale di produzione dell'idrogeno. Come mostrato in figura 7, con il crescere del costo del gas naturale, si prevede per i prossimi decenni un'inversione dei costi di produzione dell'idrogeno che risulterà in una maggiore competitività dei processi ibridi nel medio termine e dei processi interamente alimentati da fonti alternative (come i cicli termochimici da solare) nel lungo termine.

In questo ultimo caso, trattandosi ancora di processi in via di sviluppo tecnologico (tabella 2), diversamente da quelli di origine fossile, è prevedibile una riduzione dei costi di produzione derivante dal miglioramento tecnologico: il raggiungimento del pareggio (*break-even point*) per i processi di produzione più innovativi (come i cicli termochimici) sarà pertanto tanto più accelerato quanto maggiori saranno gli impegni in attività di ricerca e sviluppo.

Altri processi da fonti rinnovabili che presentano costi più elevati (elettrolisi eolica, fotovoltaico, biotecnologie) possono invece giocare un ruolo importante per le piccole produzioni decentralizzate.

Programmi ENEA sui cicli termochimici di idrolisi

L'ENEA è attualmente impegnata in attività di ricerca e sviluppo di cicli termochimici di idrolisi alimentati da energia solare termica con il Progetto "TEPSI", nell'ambito del programma nazionale strategico: "Nuovi sistemi di produzione e gestione dell'energia", finanziato dal fondo integrativo speciale per la ricerca.

Al progetto, che ha una durata triennale, partecipano l'ENEA come coordinatore e diverse Università italiane. Dopo una attività preliminare di selezione dei numerosi cicli termochimici sinora proposti, le attività di ricerca si sono indirizzate sullo sviluppo del ciclo zolfo-iodio e del ciclo delle ferriti miste (tabella 3).

Il ciclo zolfo-iodio, come prima accennato, è attualmente tra i più studiati a livello mondiale e si trova in una fase di sviluppo più avanzata rispetto ad altri processi termochimici. Il programma di ricerca ENEA prevede lo studio delle operazioni fondamentali, la ricerca di varianti per migliorare il rendimento del ciclo, e la messa a punto di un impianto dimostrativo su scala di laboratorio. L'obiettivo finale è quello di sviluppare una versione solare di tale processo.

A tal fine uno degli obiettivi è quello dello studio della tecnologia di interfacciamento con la fonte solare, in particolare modo per quanto riguarda la sezione ad alta temperatura per la concentrazione e la dissociazione dell'acido solforico, una delle reazioni fondamentali del ciclo.

Il secondo processo termochimico studiato nel progetto TEPSI riguarda il ciclo basato sull'uso di ferriti miste. Si tratta di un ciclo particolarmente innovativo basato su due sole reazioni di tipo gas-solido, estremamente interessante dal punto di vista del basso costo dei materiali impiegati come reagenti e di quelli impiegati per la realizzazione dell'impianto.

to chimico. In tal caso il programma di ricerca e sviluppo prevede la produzione dei materiali reagenti con diverse metodologie e le successive verifiche in termini di durata, di resa e di rendimento

complessivo. Anche in questo caso è prevista la realizzazione di un impianto completo su scala di laboratorio.

Per informazioni:

alberto.giaconia@casaccia.enea.it

Bibliografia

1. LIPMAN T.E. *What Will Power the Hydrogen Economy? Present and Future Sources of Hydrogen Energy*, UCD-IITS-RR-04-10, Institute of Transportation Studies – Davis One Shields Ave., University of California, July 2004.
2. EWAN B.C.R., ALLEN R.W.K., *A Figure of Merit Assessment of the Routes to Hydrogen*, *Int. J. Hydrogen Energy*. 2005, vol.30, p.809-819.
3. MOELLER S., KAUCIC D., SATTLER C., *Hydrogen Production by Solar Reforming of Natural Gas: A Comparison Study of Two Possible Process Configurations*, *J. Sol. Energ.- T ASME*. 2006, vol.128, p.16-23.
4. TROMMER D., NOEMBRINI F., FASCIANA M., RODRIGUEZ D., MORALES A., ROMERO M., STEINFELD A., *Hydrogen production by steam-gasification of petroleum coke using concentrated solar power – I. Thermodynamic and kinetic analyses*, *Int. J. Hydrogen Energy*. 2005, vol.30, p.605-618.
5. IWASAKI W. *A Consideration of the Economic Efficiency of Hydrogen Production from Biomass*, *Int. J. Hydrogen Energy*. 2003, vol.28, p.939-944.
6. BRACCIO G., MATERA D., GAMBERALE M., ADDABBO V., SHARMA V.K., *Effect of Different Parameters and Variables on the Cost of Hydrogen Produced from Biomass Using Gasification Plants of Low to Medium Thermal Capacity*, *Int. Energy Journal from Asian Institute of Technology*, Bangkok (Thailand), 2006, in press.
7. SIMBECK D., CHANG E., *Hydrogen Supply: Cost Estimate for Hydrogen Pathways – Scoping Analysis*, NREL Report NREL/SR-540-32525, July 2002.
8. BROWN L.C., BESENBRUCH G.E., LENTSCH R.D., SCHULTZ K.R., FUNK J.F., PICKARD P.S., MARSHALL A.C., SHOWALTER S.K., *High Efficiency Generation of Hydrogen Fuels Using Nuclear Power*, General Atomic Project 30047, June 2003.
9. STEINFELD A., *Solar hydrogen production via a two-step water-splitting thermochemical cycle based on Zn/ZnO redox reactions*, *Int. J. Hydrogen Energy*. 2002, vol.27, p.611-619.
10. GIACONIA A., GRENA R., LANCHI M., LIBERATORE R., TARQUINI P., *H₂/Methanol Production by Sulfur-Iodine Thermochemical Cycle Powered by Combined Solar/Fossil Energy*, 2005 AIChE Spring National Meeting, Atlanta (Georgia, USA), 10-14 Aprile 2005.

Fattori di suscettibilità nello sviluppo dei tumori cutanei murini

MARIATERESA MANCUSO
SIMONA LEONARDI
ANNA SARAN

ENEA
UTS Biotecnologie,
Protezione della Salute e degli Ecosistemi

studi & ricerche

Il carcinoma a cellule basali (BCC) è il più comune tumore maligno umano e con 750.000 nuovi casi diagnosticati ogni anno in Europa rappresenta un problema sanitario rilevante. I principali fattori di rischio identificati nello sviluppo del BCC sono l'esposizione solare, alcuni cancerogeni chimici e le radiazioni ionizzanti.

L'ENEA ha una tradizione consolidata nel campo della radiobiologia, ed ha tra i suoi obiettivi quello di studiare i meccanismi molecolari dell'oncogenesi da radiazioni ionizzanti

Susceptibility factors in the development of murine skin tumours

Abstract

Basal cell carcinoma (BCC) is the most common malignant human tumour, and accounts for around 75% of all skin tumours. Although BCC tends not to metastasize and the mortality level associated with it is very low, it is invasive at the local level. With 750.000 new cases diagnosed every year in Europe, BCC is a significant health problem. The major risk factors identified in its development are exposure to the sun (UVB rays), certain chemical carcinogens, and ionising radiation. ENEA has a long tradition in the field of radiobiology, and one of its tasks is to study the molecular mechanisms of oncogenesis caused by ionising radiation. This study represents the contribution that ENEA can make towards an understanding of the mechanisms involved in the onset of a class of tumours and towards the development of targeted therapeutic strategies

Il carcinoma a cellule basali (*Basal Cell Carcinoma*, BCC) è il più comune tumore maligno umano e rappresenta circa il 75% di tutti i tumori della pelle. I principali fattori di rischio associati allo sviluppo del BCC sono l'esposizione ai raggi UVB, le radiazioni ionizzanti e i cancerogeni chimici. Questo tumore infiltra rapidamente il tessuto epidermico, ma possiede una ridotta capacità metastatica, per cui la mortalità ad esso attribuibile è molto bassa¹. Secondo l'ipotesi più accreditata il BCC, o basalioma, deriva dalle cellule staminali del compartimento epidermico². Sebbene la maggior parte dei BCC sia di natura sporadica, circa lo 0,5% di questi tumori è attribuibile alla Sindrome del Carcinoma Nevoide a Cellule Basali (BCNS) o sindrome di Gorlin, una rara malattia genetica dovuta ad una mutazione germinale in eterozigosi a carico del gene *Patched* (*Ptc1*)^{3,4}. Il gene *Ptc1* agisce come antagonista della proteina Sonic hedgehog (Shh), "a monte" di uno dei *pathway* più importanti nella regolazione dello sviluppo embrionale e post-embriionale⁵. Lo studio sperimentale del basalioma è stato finora ostacolato dalla resistenza intrinseca del topo allo sviluppo di questo tumore in seguito ad esposizione a diversi tipi di cancerogeni. Soltanto recentemente si è ovviato a questo problema mediante lo sviluppo di modelli murini *knockout* per il gene *Ptc1*.

In questo studio abbiamo analizzato i meccanismi cellulari e molecolari dello sviluppo del BCC in seguito ad esposizione del topo a radiazioni ionizzanti. Sono stati utilizzati topi *knockout* ottenuti mediante sostituzione degli esoni 6 e 7 del gene *Ptc1* con una cassetta di resistenza alla neomicina in cellule embrionali provenienti dalla linea 129/Sv, successivamente impiantate e mantenute su background genetico CD1⁶.

I topi eterozigoti *knockout* per il gene *Ptc1* rappresentano una copia fenotipica

della sindrome di Gorlin, di cui ricapitolano tutti i sintomi tipici, tra cui la predisposizione allo sviluppo di tumori e l'ipersensibilità alle radiazioni ionizzanti.

Proliferazione follicolare e suscettibilità all'induzione del basalioma

Studi recenti nel topo hanno evidenziato che il processo di sviluppo del basalioma può essere fortemente influenzato dalla crescita dei follicoli piliferi, veri e propri organi in miniatura annessi all'epidermide. Nella vita postnatale dei mammiferi la follicologenesi pilifera segue un andamento ciclico ed è suddivisa in tre fasi: una fase di rapida proliferazione detta "anagena", una fase di regressione mediata da un meccanismo apoptotico detta "catagena" ed una fase di quiescenza detta "telogena" (figura 1).

La fase anagena di tale ciclo è caratterizzata dalla progressione di diversi stadi di maturazione del follicolo pilifero (anagena I-VI), che sono stati classificati in relazione ai cambiamenti morfologici del follicolo stesso durante la sua crescita, fino al raggiungimento della massima estensione nel periodo terminale di maturazione.

Questi sei stadi differiscono fortemente tra loro soprattutto in relazione all'attività mitotica delle cellule dell'epidermide, e possono essere identificati sia morfologicamente, sia perché associati a variazioni nello spessore totale della cute. Raggiunta la massima estensione (anagena VI), il follicolo entra in catagena; durante questo stadio l'apoptosi determina la regressione del follicolo, che entra in fase telogena fino ad un nuovo ciclo di crescita. Queste fasi si alternano in maniera altamente sincronizzata nel topo giovane e sono state ben caratterizzate dallo stadio embrionale all'età adulta⁷.

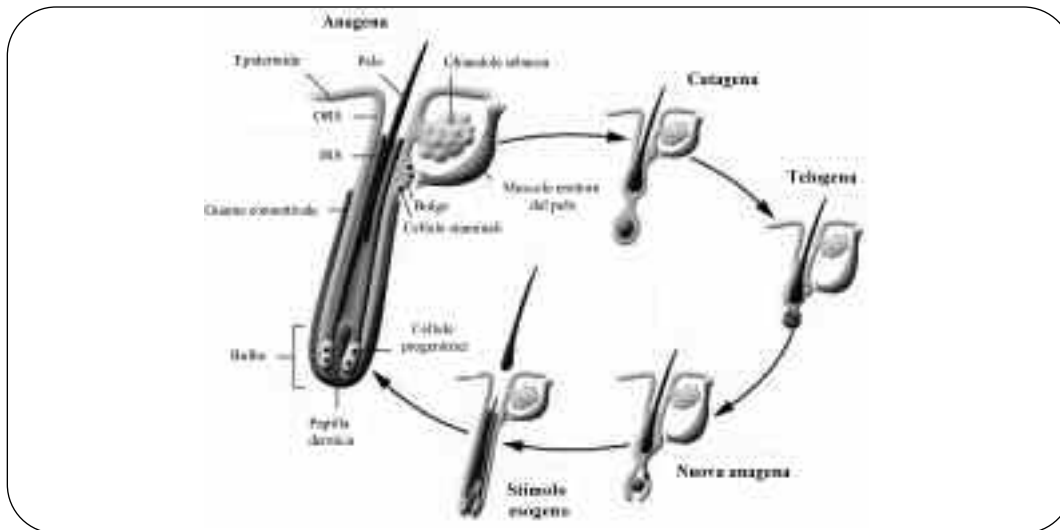


Figura 1
Rappresentazione schematica del ciclo di crescita del pelo nei mammiferi. Il follicolo pilifero durante le diverse fasi di maturazione va incontro a cambiamenti morfologici che si accompagnano a variazioni nella lunghezza e nello spessore
Fonte: Mancuso et al

Negli stadi iniziali di ogni ciclo di crescita, segnali provenienti dalla papilla dermica favoriscono la proliferazione transitoria delle cellule staminali del compartimento epidermico, che risiedono principalmente nel *bulge*, un'area specializzata della guaina esterna della radice del follicolo pilifero (*Outer root sheath, ORS*), e vanno incontro a fasi di quiescenza e di attiva proliferazione in relazione alle diverse fasi del ciclo di crescita del follicolo pilifero⁸. È ipotizzabile che in fase anageno l'attiva proliferazione

renda tali cellule più suscettibili al danno indotto dalle radiazioni.

Per valutare la suscettibilità delle cellule staminali dell'epidermide alla trasformazione tumorale in funzione del loro stato proliferativo, topi eterozigoti per il gene *Ptc1* sono stati irraggiati con una singola dose di 3 Gy di raggi X a diverse età (3, 35 e 60 giorni) corrispondenti a diverse fasi di crescita del follicolo pilifero, cioè prima e seconda anageno (A1 e A2) e seconda telogeno (T2).

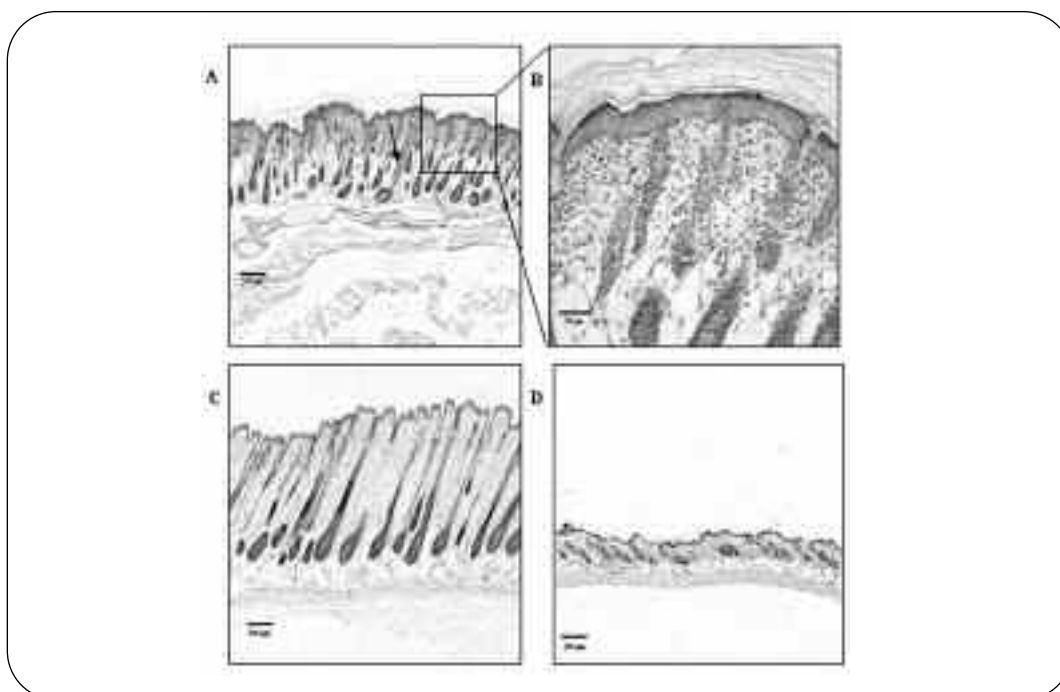


Figura 2
Valutazione dello stadio del ciclo del pelo nel topo. Esame istologico della cute dorsale a 3 (A e B), 35 (C) e 60 (D) giorni di età.
Fonte: Mancuso et al

Figura 3

Frequenza tumorale.

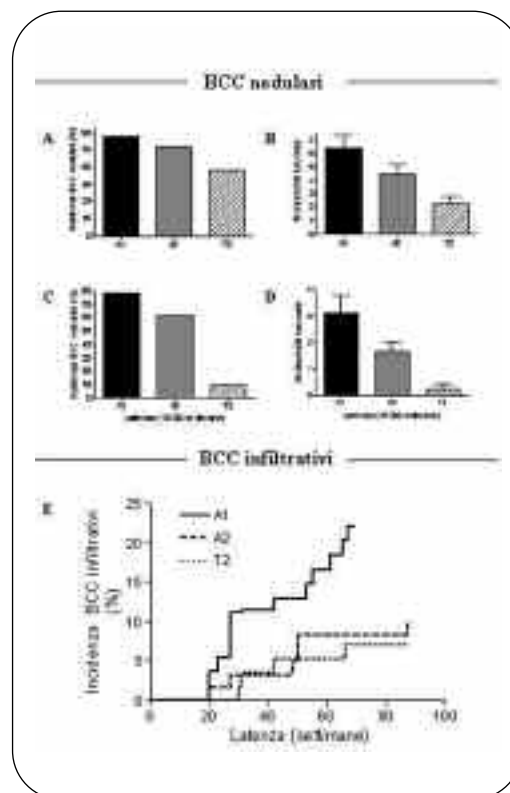
A e B) Incidenza e molteplicità tumorale delle lesioni preneoplastiche di basalioma (BCC nodulari) ottenute nei gruppi A1, A2 e T2 a fine esperimento; C e D) incidenza e molteplicità tumorale dei BCC nodulari relative a un intervallo precoce di latenza (15-30 settimane); E) cinetica di induzione dei BCC macroscopici ottenute nei gruppi A1, A2 e T2 a fine esperimento

Fonte: Mancuso et al

Per confermare il diverso stadio di maturazione del follicolo pilifero al momento dell'irraggiamento, la cute di topi eterozigoti per *Ptc1* di entrambi i sessi è stata esaminata istologicamente alle tre diverse età (figura 2). La pelle degli animali di 3 giorni di età mostra caratteristiche istologiche tipiche di uno stadio precoce della fase anagena, in cui soltanto il 10% dei follicoli ha raggiunto la massima maturazione, mentre i rimanenti follicoli mostrano uno sviluppo incompleto (figura 2, A e B). A 35 giorni la cute mostra l'architettura tipica di una fase anagena matura, in cui tutti i follicoli piliferi hanno raggiunto la massima lunghezza (figura 2C). La pelle degli animali di 60 giorni di età ha caratteristiche tipiche dello stadio di quiescenza (telogena) (figura 2D). Questi risultati mostrano che l'irraggiamento effettuato in A1, A2 e T2 agisce sulla cute in corrispondenza di stadi diversi di maturazione del follicolo pilifero, ciò si riflette sul diverso numero di cellule bersaglio (le cellule staminali proliferanti e la loro progenie) ampliate nel processo di tumorigenesi.

Nei topi eterozigoti per il gene *Ptc1* l'irraggiamento induce lo sviluppo del basalioma attraverso un processo a più stadi, la cui fase iniziale è rappresentata da aree di iperproliferazione di cellule basali che successivamente evolvono in BCC microscopici (nodulari), e infine in BCC infiltrativi attraverso l'accumulo di alterazioni genetiche⁹. È stato inizialmente valutato il numero di BCC nodulari in funzione dell'età all'irraggiamento mediante analisi retrospettiva della pelle dei topi irraggiati alle diverse età. L'incidenza di BCC nodulari osservata è significativamente più alta nei topi irraggiati in fase A1 (87%) e A2 (78%), rispetto ai topi irraggiati in fase T2 (58%) (figura 3A). La molteplicità tumorale, un altro importante parametro nella valutazione della suscettibilità, è inoltre significativamente più alta nei gruppi A1 e A2 rispetto al gruppo T2 (figura 3B). Inoltre, restringendo questa analisi ai topi con

sopravvivenza più breve dopo l'irraggiamento (15-30 settimane), è stato possibile mettere in evidenza una comparsa più precoce dei BCC nodulari nei topi irraggiati in fase anagena. In particolare, in questo intervallo di latenza il 79% del gruppo A1 e il 63% del gruppo A2 ha sviluppato BCC nodulari, contro il 10% del gruppo T2 (figura 3C). Infine, la



molteplicità tumorale calcolata nello stesso intervallo di tempo è significativamente maggiore nel gruppo A1 ($3,0 \pm 0,6$) e A2 ($1,63 \pm 0,38$) rispetto al gruppo T2 ($0,2 \pm 0,2$) (figura 3D). Questi risultati indicano che lo sviluppo delle lesioni precoci del BCC è fortemente facilitato quando il danno genetico avviene nella fase di attiva proliferazione follicolare. La correlazione tra lo sviluppo del basalioma e la follicologenesi pilifera appare maggiormente evidente valutando la frequenza dei BCC infiltrativi nei diversi gruppi sperimentali (figura 3E). L'incidenza totale di BCC è stata infatti del 22% nel gruppo A1, contro il

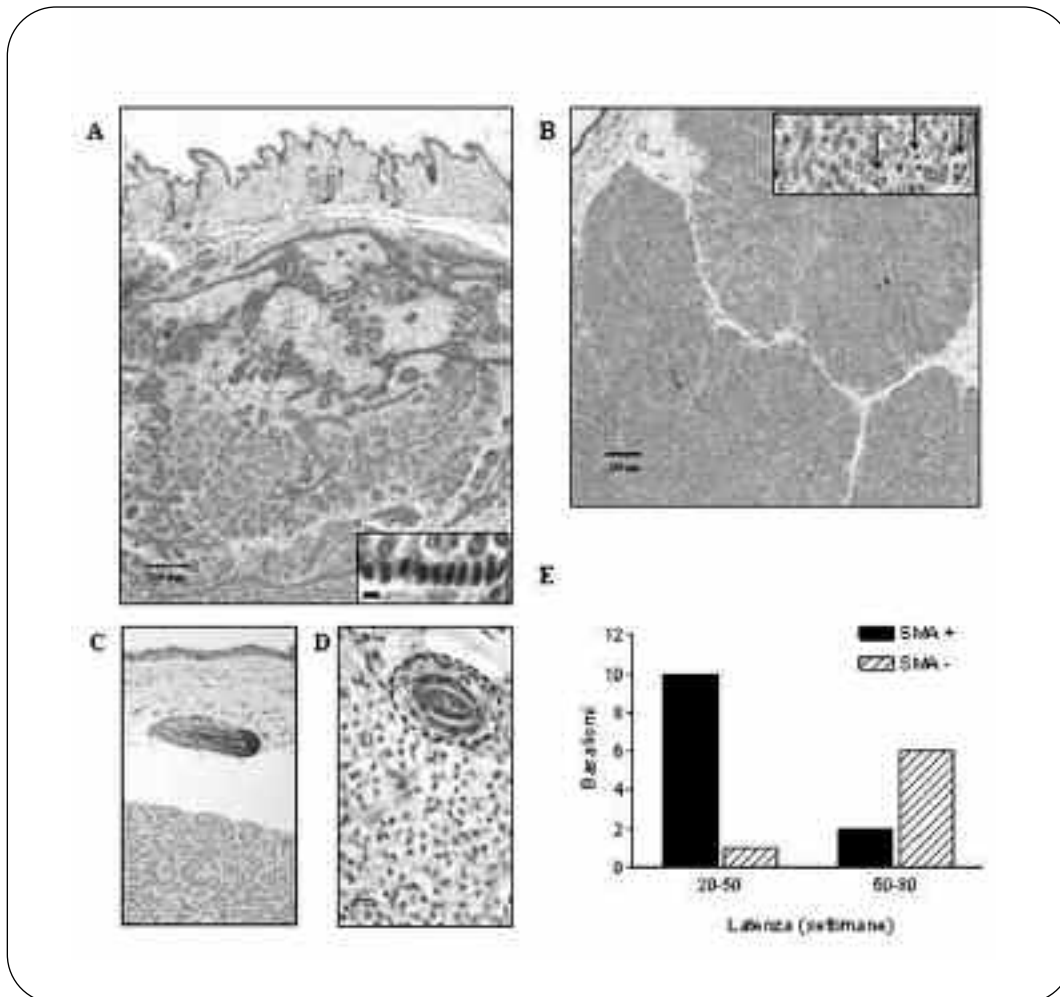


Figura 4
Esame istologico dei tumori cutanei.
A) Basalioma tipico caratterizzato dalla disposizione a palizzata delle cellule (inserto); B) Variante istologica di basalioma caratterizzata da un alto indice mitotico (inserto); C e D) la variante tumorale mostra caratteristiche morfologiche simili a quelle dell'ORS; E) L'immunoreattività per SMA ha permesso di classificare la variante tumorale come basalioma con differenziamento mioepiteliale (SMA⁺); questi tumori si sviluppano con una minore latenza rispetto al BCC classico (SMA⁻)
Fonte: Mancuso et al

10% del gruppo A2 ed il 7% del gruppo T2. I basaliomi macroscopici sono inoltre comparsi più precocemente negli animali irraggiati in fase anagena, con una latenza di circa 20 settimane dall'irraggiamento, rispetto al gruppo T2 in cui la latenza è stata di 30 settimane. Soltanto nel gruppo irraggiato nella fase A1, infine, è stata riscontrata la presenza di basaliomi multipli.

Istopatologia dei tumori cutanei ottenuti nei topi *Ptc1^{neo6-7/+}*

L'aspetto macroscopico dei tumori cutanei è quello di una papula spesso ulcerata e dai margini irregolari che non di rado presenta fenomeni emorragici e

necrotici. Questi tumori hanno un diametro compreso tra 4 e 15 mm e compaiono solitamente sul tronco dell'animale in posizione dorsale o ventrale. I tumori sono circoscritti nel tessuto cutaneo e non infiltrano i tessuti sottostanti.

L'esame istologico effettuato sui tumori cutanei ottenuti nei diversi gruppi sperimentali ha rivelato l'esistenza di due diversi istotipi tumorali che, sebbene macroscopicamente simili, presentano differenti caratteristiche morfologiche ed una differenza significativa in termini di latenza. Tutti i tumori provenienti dai gruppi A2 (6/6) e T2 (4/4) e una parte di quelli provenienti dal gruppo A1 (7/19) sono stati classificati come BCC tipici, con morfologia molto simile al BCC umano. Le caratteristiche morfologiche

principali di tali tumori includono l'organizzazione in cordoni di cellule basali ramificati ed interspersi nello stroma tumorale, la disposizione a palizzata delle cellule esterne ed il distacco del tessuto tumorale dal derma sovrastante (figura 4A). Il secondo tipo istologico, osservato esclusivamente nel gruppo A1 in cui rappresenta la maggior parte dei tumori (12/19), mostra invece una organizzazione lobulare, scarso stroma tumorale, alto indice mitotico ed assenza di palizzata esterna (figura 4B); le cellule di questa variante tumorale mostrano caratteristiche morfologiche simili a quelle dell'ORS (nuclei basofili e citoplasma pallido ed abbondante), una struttura follicolare che si sviluppa esclusivamente in fase anagena (figura 4, C e D). Allo scopo di classificare con maggiore accuratezza i tumori in esame, è stata effettuata un'analisi immunocistochimica mediante l'utilizzo di anticorpi diretti contro la citocheratina 14 (CK14), un *marker* di differenziamento delle cellule basali, e contro l'actina della muscolatura liscia (Smooth Muscle Actin, SMA), un *marker* di differenziamento mioepite-

liale. Entrambi gli istotipi hanno mostrato una forte immunoreattività per CK14, confermando la loro comune origine basale; soltanto i tumori con morfologia assimilabile all'ORS mostrano invece positività per SMA. L'analisi immunocistochimica ha permesso quindi di classificare tali tumori come basaliomi con differenziamento mioepiteliale. Questa variante istotipica presenta una latenza inferiore (26 vs 51 settimane) rispetto all'istotipo classico (figura 4E).

Origine dei due sottotipi di BCC

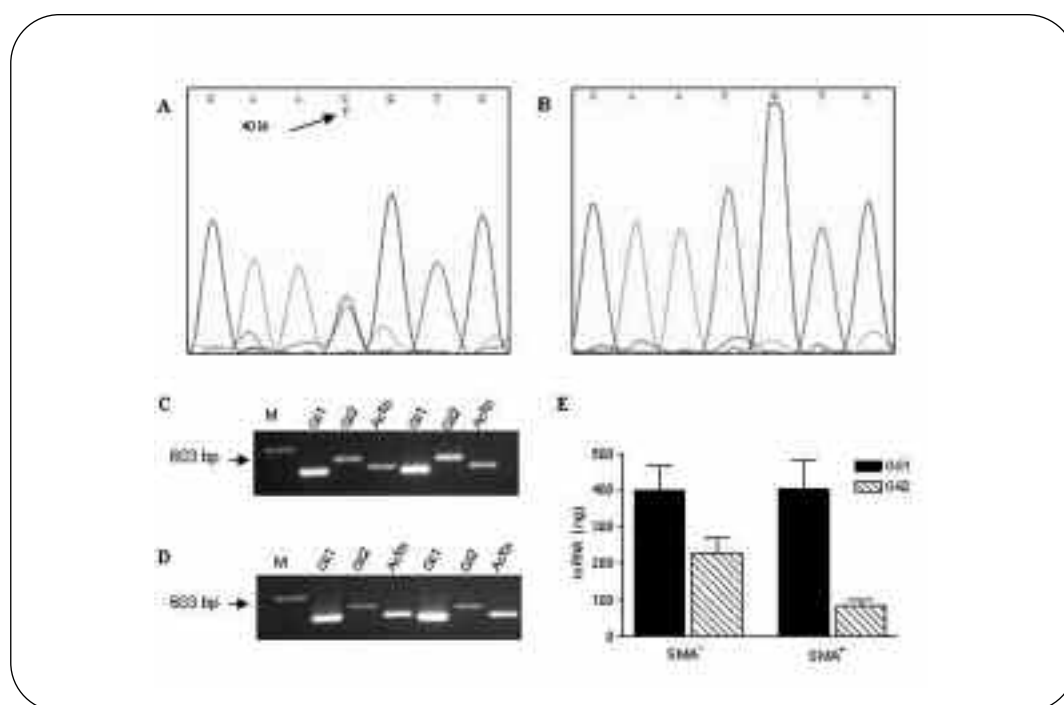
La comparsa di due diversi istotipi di BCC, entrambi simili alla controparte umana per quanto riguarda le caratteristiche istochimiche e morfologiche, suggerisce una diversa natura dei bersagli cellulari da cui originano le due varianti. Le diverse caratteristiche dei due tumori, in particolare la loro diversa latenza e il diverso profilo immunocistochimico indicano infatti che i due tipi istologici possono derivare da diverse popolazioni di cellule progenitrici. Questa ipotesi è rafforzata dall'osserva-

Figura 5

Analisi molecolare al locus Ptc1:

A e B) Elettroferogrammi rappresentativi di DNA estratto da tessuto di controllo (A) e da entrambe le varianti tumorali (B); C e D) Set di cDNA amplificati con primers specifici per Gli1, Gli2 e Actina ottenuti da BCC classico (C) e da BCC mioepiteliale (D); E) Livelli di espressione di Gli1 e Gli2 nel BCC classico (SMA⁻) e nella variante mioepiteliale (SMA⁺)

Fonte: Mancuso et al



zione che, mentre lo sviluppo del BCC classico avviene attraverso un processo a più stadi in cui il BCC nodulare ed il BCC infiltrativo rappresentano fasi diverse di progressione tumorale, nel caso del BCC con differenziamento mioepiteliale non sono mai state riscontrate lesioni preneoplastiche, come confermato dalla negatività per SMA di tutti i BCC nodulari osservati.

Al fine di determinare la localizzazione delle cellule staminali da cui originano i due diversi tumori è stata effettuata una marcatura utilizzando un anticorpo specifico per CK15, un *marker* di differenziamento staminale. I risultati hanno evidenziato la presenza di cellule con caratteristiche staminali sia nel *bulge* che in corrispondenza dell'epidermide interfollicolare; queste cellule corrispondono alle *keratinocyte stem cells* (KSC) osservate in studi precedenti nella pelle del topo adulto, come singole cellule o in piccoli raggruppamenti cellulari¹⁰. Occorre però sottolineare che CK15 è considerato un *marker* sia delle cellule staminali che della loro progenie costituita dalle cellule TA (*Transit-Amplifying cells*), caratterizzate da un ridotto potenziale proliferativo. È pertanto impossibile discriminare tra le cellule KSC dell'epidermide e le cellule TA che dal *bulge* vanno a ripopolare l'epidermide utilizzando questo *marker*. La presenza di due popolazioni di cellule con caratteristiche staminali nel compartimento epidermico, le cellule del *bulge* e le KSC, rafforza l'ipotesi dell'esistenza di due differenti bersagli cellulari da cui originano i due istotipi di BCC. La stretta associazione dei BCC nodulari, precursori del BCC classico, con l'epidermide interfollicolare suggerisce un ruolo critico di quest'ultima nella formazione del basalioma, il cui sviluppo potrebbe iniziare in risposta ad un danno a carico delle KSC. D'altro canto, la forte reattività per SMA riscontrata in corrispondenza

della regione del *bulge* e nell'ORS suggerisce una stretta correlazione tra il BCC mioepiteliale e le cellule dell'ORS, che si trovano in uno stadio di massima proliferazione durante la fase anagena.

Analisi molecolare dei basaliomi

Per verificare se le differenti caratteristiche istopatologiche dei due sottotipi di BCC siano associate a specifiche variazioni in corrispondenza del locus *Ptc1* è stata condotta un'analisi molecolare su entrambe le varianti tumorali mediante sequenziamento di una regione specifica del gene *Ptc1*, contenente un polimorfismo che permette di stabilire la derivazione dell'allele dalle cellule 129/Sv (allele mutato) o dal genoma CD1 (allele *wild type*). I risultati hanno mostrato la perdita dell'allele *wild type* in tutti i basaliomi, sia con istologia classica (3/3) che con differenziamento mioepiteliale (5/5) (figura 5, A e B).

Per approfondire la comprensione dei meccanismi molecolari alla base dello sviluppo dei due diversi istotipi, è stata condotta un'analisi quantitativa mediante RT-PCR dei livelli di mRNA per i fattori di trascrizione Gli1 e Gli2 in entrambe le varianti di basalioma. Lo sviluppo del basalioma è infatti sempre accompagnato da un aumento dei livelli di espressione di Gli1 e Gli2, che si trovano "a valle" del *pathway* di Shh^{11,12}. Mentre la sovraespressione di Gli1 determina nel topo lo sviluppo di tumori cutanei multipli, solo alcuni dei quali classificati come basaliomi, la sovraespressione di Gli2 causa lo sviluppo di basaliomi multipli che insorgono spontaneamente¹⁰⁻¹³.

I risultati di questo studio mostrano che Gli1 è espresso a livelli comparabili nei due istotipi tumorali, mentre l'espressione di Gli2 è 2,7 volte più alta nel basalioma classico rispetto alla variante mioepiteliale, suggerendo

che l'aumento di espressione di Gli2 sia un requisito importante per lo sviluppo del BCC di tipo classico (figura 5, C-E). Rimane tuttavia da stabilire se queste differenze riflettano un diverso livello di espressione dei due fattori di trascrizione nelle due differenti cellule bersaglio implicate nel processo tumorale, o se esista una dipendenza del fenotipo tumorale dal livello di attività del *pathway* di Shh. È però verosimile, anche in base a risultati pubblicati da altri Autori¹⁴ sull'elevata espressione di Gli2 nell'epidermide interfollicolare normale, che il diverso livello di espressione di Gli2 nei due sottotipi rifletta nel topo l'espansione di cellule bersaglio diverse o di cellule progenitrici con un diverso grado di differenziamento.

Conclusioni

Il carcinoma a cellule basali (BCC) è il tumore cutaneo più comune nell'uomo. Avvalendosi di un modello murino sperimentale, gli studi effettuati presso l'ENEA nell'ambito della ricerca in campo biomedico, hanno messo in luce la presenza di periodi di suscettibilità allo sviluppo del BCC nel topo, e l'associazione di tali periodi con la rapida espansione di particolari popolazioni cellulari situate nei follicoli piliferi. Questi ultimi costituiscono dei veri e propri organi in miniatura annessi all'epidermide, e mostrano una sorprendente complessità di funzioni, oltre al ruolo più ovvio nella formazione dei peli che ricoprono la cute dei mammiferi. In particolare, è nei follicoli piliferi che risiede la popolazione principale di cellule staminali che presiede alla rigenerazione della cute. Proprio a causa della loro localizzazione, tali cellule sono esposte a una varietà di agenti nocivi

ambientali, comprese le radiazioni. I nostri risultati suggeriscono che alterazioni a loro carico possono portare alla formazione di tumori cutanei diversi a seconda della sottopopolazione cellulare colpita e del suo stadio di differenziamento. D'altro canto, la possibilità di indurre con alta frequenza un processo tumorale permette di disporre di un sistema ideale per testare nuove strategie terapeutiche, oltre ad individuare nuovi criteri utilizzabili a scopo preventivo.

I modelli murini rappresentano, quindi, un importante strumento per la comprensione di funzioni geniche e per lo studio dei meccanismi coinvolti nella cancerogenesi umana.

Per ulteriori informazioni:

mariateresa.mancuso@casaccia.enea.it

Questo studio è stato parzialmente finanziato dall'Unione Europea, contratto FI6R-CT-2003-508842, RISC-RAD.

Glossario

BCC: carcinoma a cellule basali o basalioma.

Locus: sito del cromosoma in cui risiede un gene.

Patched: vedi il sito specifico all'indirizzo seguente <http://www.genecards.org/cgi-bin/carddisp.pl?gene=PTCH>.

Ptc1^{neo6-7/+}: modello murino knockout per il gene *Patched*.

ORS: guaina esterna della radice del pelo.

RT-PCR: reazione a catena della polimerasi mediante retrotrascrizione.

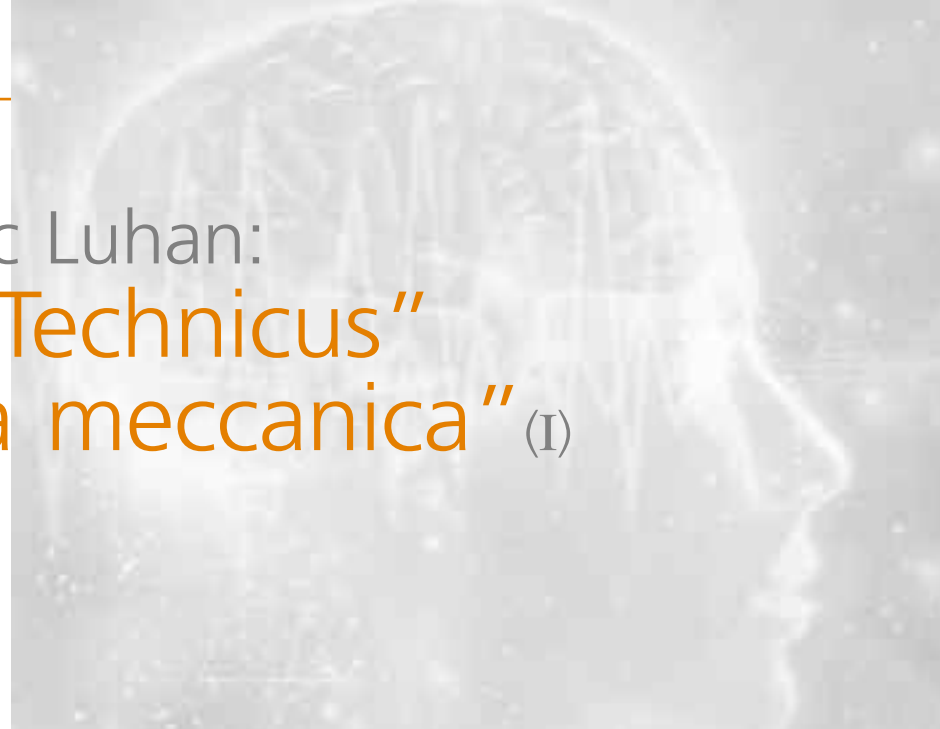
SMA: actina della muscolatura liscia.

Bibliografia

1. MILLER S.J. *Biology of basal cell carcinoma (part I)*. J Am Acad Dermatol, 24: 1-18, 1991.
2. JIH D.M., LYLE S., ELENITISAS R., et al. *Cytokeratin 15 expression in trichoepiteliomas and a subset of basal cell carcinomas suggests they originate from hair follicle stem cells*. J Cutan Pathol, 26: 113-118, 1999.
3. HAHN H., WICKING C., ZAPHIROPOULOUS P.G., et al. *Mutation of the human homologue of Drosophila patched in the nevoid basal cell carcinoma syndrome*. Cell, 85: 841-851, 1996.
4. JOHNSON R.L., ROTHMAN A.L., XIE J., et al. *Human homolog of patched, a candidate gene for the basal cell nevus syndrome*. Science, 272: 1668-1671, 1996.
5. HAMMERSCHMIDT M., BROOK A., McMAHON A.P. *The world according to hedgehog*. Trends Genet, 13: 14-21, 1997.
6. HAHN H., WOJNOWSKI L., ZIMMER A.M., et al. *Rhabdomyosarcomas and radiation hypersensitivity in a mouse model of Gorlin syndrome*. Nat Med, 4: 619-622, 1998.
7. MULLER-ROVER S., HANDJISKI B., VAN DER VEEN C., et al. *A comprehensive guide for the accurate classification of murine hair follicles in distinct hair cycle stages*. J Invest Dermatol, 117: 3-15, 2001.
8. COTSARELIS G., SUN T.T., LAVKER R.M. *Label-retaining cells reside in the bulge area of pilosebaceous unit: implications for follicular stem cells, hair cycle, and skin carcinogenesis*. Cell, 61:1329-1337, 1990.
9. MANCUSO M., PAZZAGLIA S., TANORI M., et al. *Basal cell carcinoma and its development: insights from radiation induced tumors in Ptc1 deficient mice*. Cancer Res, 64: 934-941, 2004.
10. LI L., MIGNONE J., YANG M., et al. *Nestin expression in hair follicle sheath progenitor cells*. Proc Natl Acad Sci USA, 100: 9958-9961, 2003.
11. NILSSON M., UNDEN A.B., KRAUSE D., et al. *Induction of basal cell carcinomas and trichoepiteliomas in mice overexpressing GLI-1*. Proc Natl Acad Sci USA, 97: 3438-3443, 2000.
12. GRACHTCHOUK M., MO R., YU S., et al. *Basal cell carcinomas in mice overexpressing Gli2 in skin*. Nat Genet, 24: 216-217, 2000.
13. SHENG H., GOICH S., WANG A., et al. *Dissecting the oncogenic potential of Gli2: deletion of an NH(2)-terminal fragment alters skin tumor phenotype*. Cancer Res, 62: 5308-5316, 2002.
14. IKRAM M.S., NEILL G.W., REGL G., et al. *Gli2 is expressed in normal human epidermis and BCC and induces Gli1 expression by binding to its promoter*. J Invest Dermatol, 122: 1503-1509, 2004.

Kapp e Mc Luhan: "Homo Technicus" e "Sposa meccanica" (I)

A cura di
FAUSTO BORRELLI



scienza, tecnica,
storia & società

Dalla tecnica di Ernst Kapp come "proiezione esterna" degli organi somatici ai "media" di Marshall Mc Luhan come estensioni del corpo umano, passando un attimo da Marx

Kapp and Mc Luhan: "Homo Technicus" and "The Mechanical Bride"

From Ernst Kapp's technics as an "external projection" of our bodily organs to Marshall McLuhan's media as extensions of the human body, stopping for a look at Marx

Attualità di McLuhan: la sposa meccanica

“Sono molto gelosa della nostra nuova automobile, mio marito dedica più attenzioni a lei di quante ne dedica a me; la lava, la lucida, la spolvera fuori e dentro, e passa ore e ore con lei nel garage con la saracinesca abbassata.” Ai primi di marzo del 2006, si esprimeva all'incirca così una giovane signora nel corso di una divertente e nota trasmissione radiofonica che va in onda al mattino cinque volte la settimana (“Il ruggito del coniglio” di Presta e Dose).

Questa ironica testimonianza ci riporta immediatamente al 1951, alla sposa “sposa meccanica” – primo volume della “Trilogia” di Marshall McLuhan (1911-1980). Trilogia costituita da: “Motorcar. The Mechanical Bride” (1951) (Automobile, La sposa meccanica); “The Gutenberg Galaxy. The Making of Typographical Man” (1962) (La galassia Gutenberg. La nascita dell'uomo tipografico); e “Understanding Media. The extensions of man” (1964) (Comprendere i media. Le estensioni dell'uomo).

Nel 1951 McLuhan – che aveva davanti agli occhi il forte sviluppo della società nordamericana della fine degli anni '40 – si rese conto che l'automobile non era soltanto uno “status symbol” della famiglia, ma stava diventando – per l'uomo – una “estensione tecnologica” del corpo femminile. L'automobile diventava cioè una compagna bella, fedele, ubbidiente e laboriosa, una compagna in cui si entra dentro, si guida stringendole il volante e si accudisce con amore – ma che, col tempo, si può anche cambiare, legittimamente, con un'altra più giovane e più carina. Ma la testimonianza radiofonica di marzo 2006, ci rimanda anche assai più lontana. Ci rimanda al 1877, anno in cui il primo filosofo della tecnica, Ernst Kapp (1808-1896), espose la sua teoria della tecnica come “proiezione esterna” degli

organi del corpo umano.

Lasciamo allora, per il momento, “la sposa meccanica” di Mac Luhan correre sulle autostrade d'America montata dal suo “cavaliere armato” e andiamo da Ernst Kapp nella Germania imperiale di fine Ottocento in piena rivoluzione industriale.

Ernst Kapp: lineamenti di filosofia della tecnica (1877)

1) L'utensile come “proiezione esterna” del corpo umano

Chi è stato Ernst Kapp lo si può leggere nella breve “bibliografia” alla fine della seconda parte di questo articolo. Qui ci limitiamo soltanto a ciò che in particolare ci interessa, le sue riflessioni sulla tecnica del 1877, ricordando che Kapp fu il primo ad usare l'espressione “filosofia della tecnica”.

Nel suo libro: “Lineamenti fondamentali di una filosofia della tecnica. Per la storia delle origini della Cultura da un nuovo punto di vista” (“Grundlinien einer Philosophie der Technik. Zur Entstehungsgeschichte der Cultur aus neuen Gesichtspunkten”, Braunschweig 1877), Ernst



Figura 1
Foto di Ernst Kapp

Kapp (1808-1896) sviluppa l'idea che ogni utensile primitivo è una "proiezione esterna" degli organi del corpo umano. La mano, in tutti i modi pensabili in cui si pone e si muove, ha fornito – secondo Kapp – le "forme organiche originarie" in base alle quali l'uomo ha inconsciamente foggiate i primi attrezzi di cui aveva bisogno. Martello e ascia, scalpello e trapano, forbici e tenaglie sono tutte "proiezioni esterne" della mano. Come palmo, pollice e dita, come mano aperta e chiusa, vuota e allargata, come mano che ruota e afferra – da sola o insieme all'avambraccio teso o flesso – la mano è la madre comune di tutto ciò che prende da essa il suo nome: "Handwerkszeug" (termine tedesco intraducibile composto da mano – opera – strumento). Le singole membra del corpo umano quindi – per Kapp – non soltanto "operano verso l'esterno", ma "producono all'esterno" inconsciamente copie di loro stesse che rispecchiano forme e rapporti del corpo umano in determinati costrutti materiali. Ortega y Gasset (1883-1955) e Leroi Gouhran (1908-1986) sintetizzeranno questa idea di Kapp nell'espressione: "l'uomo secerne la tecnica".

Anche i "media come estensioni dell'uomo" di Mc Luhan, si riallacceranno – in modo più complesso e fantasioso – all'idea di Kapp della tecnica come "proiezione esterna" degli organi del corpo umano.

2) Il corpo umano conosciuto tramite le sue proiezioni esterne. L'occhio

Dopo aver teorizzato l'idea di "proiezione esterna", Kapp sviluppa un secondo aspetto della sua teoria: la conoscenza della fisiologia degli organi del corpo si ottiene per via obliqua, cioè tramite l'osservazione e lo studio della gran quantità di "proiezioni esterne" – quel calco artificiale del corpo "inconsciamente" co-

stituito dal mondo degli artefatti.

Uno degli esempi di Kapp a riprova di questa tesi è quello dell'occhio.

L'occhio e all'origine di tutti i congegni ottici; ma attenzione – mette in guardia Kapp – solo quando l'organo della vista si era proiettato, "inconsciamente", in una grande quantità di attrezzature meccaniche ottiche, accadde che queste attrezzature venissero a loro volta, "consciamente", riferite alla struttura anatomica dell'occhio, e poté essere così risolto il mistero fisiologico della vista.

Non è un caso – sottolinea Kapp – che proprio il nome dello strumento ottico costruito per vedere – la "lente cristallina" – sia stato trasferito soltanto dopo al vero luogo in cui i raggi di luce si rifrangono nell'occhio, cioè alla "lente cristallina" naturale.

Heidegger (1889-1976) asserì, nel 1949, che la "tecnica di se stessa non sa neanche dove sta di casa" – intuizione di sapore "kappiano" che sta alla radice delle successive fondamentali meditazioni heideggeriane sull'essenza della tecnica moderna.

3) Kapp e il movimento romantico tedesco

Prima di ritornare a Mc Luhan, è opportuno dire ancora qualche parola sulla "visione del mondo" di Ernst Kapp, visione a cui si ispira la sua pionieristica filosofia della tecnica.

Kapp, fin da giovane, era vissuto nel clima del movimento romantico tedesco, quel movimento che – prima sulle orme soprattutto di Goethe (1749-1832) poi di Schelling (1775-1854) e Schopenhauer (1788-1860) – reagiva, contro le fredde spiegazioni dei fenomeni naturali date dal razionalismo illuminista e contro l'abuso della matematica.

I naturalisti tedeschi che aderivano al movimento romantico privilegiavano soprattutto le spiegazioni "organiche" dei feno-

meni naturali, ispirandosi alla “Teoria della Natura” di Goethe (Boringhieri 1958). I settori di studio preferiti da molti scienziati e naturalisti tedeschi a metà Ottocento erano soprattutto: la biologia, il galvanismo, il magnetismo, l'elettricità e l'ottica.

4) Kapp e la posizione dell'uomo nell'Universo tardo romantico

Il tardo movimento romantico – ispirato anche all'opera di Eduard von Hartmann (1842-1906): “Philosophie des Unbewusstsein” (Berlino 1869) (Filosofia dell'inconscio) – postula l'esistenza di una realtà animata da forze inconscie in continuo movimento, forze come quelle che viviamo nel sogno, negli istinti, nelle passioni e nell'immaginazione.

Pur nell'immensa differenza scalare, il microcosmo è strutturato come il macrocosmo e ogni cosa è interdipendente con le altre e con il tutto.

Questo universo immanente “esclude da sé” ogni trascendenza – come il panteismo spinoziano – e può essere letto come un libro in cui sono nascosti tutti i segreti. Anche l'uomo è un impasto di queste oscure forze vitali di cui è fatto l'Universo, ma nell'uomo – cosa unica – queste forze raggiungono la loro forma più trasparente nella consapevolezza della mente (o, come direbbe Hegel, nella autocoscienza spirituale).

A questo tardo movimento romantico ha contribuito anche Ernst Kapp con la sua teoria della tecnica come “proiezione esterna” degli organi del corpo umano, di cui abbiamo parlato in precedenza.

5) L'Homo Technicus e l'iperottimismo tecnologico di Kapp

Nelle sue opere, Ernst Kapp rappresentò l'irruzione della rivoluzione industriale in Germania. Nei suoi lavori geopolitici (1845 e 1868), Kapp si era particolarmente

interessato agli sviluppi tecnici e industriali, tramite i quali l'umanità occidentale si era impadronita del mondo.

Nel suo modo di vedere, l'umanità occidentale era al centro della storia e della cultura, perché usava la tecnica per sottomettere il mondo in un processo di autoconsapevolezza.

Nella sua opera tardo-romantica di cui abbiamo parlato (Lineamenti fondamentali di una filosofia della tecnica, 1877) questo modo di vedere assume una forza ancora maggiore.

Quando Kapp argomentava che ogni cosa che l'uomo produce (come risultato della “proiezione esterna” dei suoi organi somatici) deve essere interpretata come tecnica, allora l'unica via all'autoconsapevolezza passa attraverso la tecnica. Per di più, l'unica cosa che l'umanità può imparare su se stessa è che l'umanità è una “specie tecnica”.

Ogni cosa fatta dall'uomo, per Kapp, è tecnica.

E se l'unico modo di conoscere se stessi è tramite la tecnica, che altro si potrebbe concludere se non che questo uomo è un “Homo Technicus”?

Tutto questo portò Kapp ad abbracciare senza riserve una posizione di “iperottimismo tecnologico”.

6) Marx: l'emancipazione dal limite organico

Scrive Cassirer nel 1930 (“Forma e tecnica” in “Tre studi sulla forma formans” a cura di Giovanni Matteucci, Clueb 2003, pag. 78-81, passim): “Per quanto si possa cercare di interpretare, con Kapp, i primi utensili umani ancora come semplici prolungamenti degli organi del corpo; per quanto si possa ritrovare nella figura del martello e dell'ascia, dello scalpello e del trapano, delle forbici e delle tenaglie nient'altro che la struttura della mano, questa analogia fallisce subito se si prosegue entrando nella sfera dell'attivi-

tà tecnica moderna. Infatti, questa sfera è dominata da quella che Karl Marx (1818-1883) ha chiamato principio “dell’emancipazione dal limite organico” (Il Capitale, Libro I, ed. it. a cura di Delio Cantimori, Editori Riuniti 1974, p. 416).

A dividere gli strumenti della tecnica pienamente compiuta dagli utensili primitivi, continua Cassirer, è il fatto che essi hanno abbandonato il modello che la natura era in grado di fornire...

Come principio fondamentale che domina l’evoluzione delle macchine, si indica la circostanza per cui la macchina non cerca più di imitare il lavoro manuale o addirittura la natura, ma tende a risolvere il suo compito con mezzi suoi propri, spesso completamente diversi da quelli naturali...

Si instaura così un nuovo ordine non più basato sulla natura, ma contrapposto consapevolmente ad essa.

Soltanto con il principio enunciato da Marx dell’emancipazione dal limite organico – in contrasto frontale con Kapp – la tecnica moderna ha conquistato la sua autentica emancipazione.

Il nuovo strumento, la macchina, rappresenta una rivoluzione del “modo” di operare impiegato fino ad allora. Questo passaggio non si compirà senza battaglie, senza lotte e senza contrasti.

Ma questo è l’avvio di tutta un’altra storia oggi ancora agli inizi, i cui percorsi appaiono sempre più imprevedibili ed imperscrutabili.

La cosa migliore, a questo punto, è quella di tornare a cercare la “sposa meccanica” che corre ancora per le autostrade nordamericane montata dal suo cavaliere armato, cioè tornare a Mc Luhan.

(Fine della prima parte)

Figura 2

Lapide di Ernst Kapp
Ernst Christian Kapp
(1808-1896). Nel
1978, l’importanza
di Ernst Kapp per il
suo contributo alla
Filosofia della tecnica
è stata riconosciuta
con una lapide in
memoria sulla sua
antica casa di
Düsseldorf



dal **MONDO****Vent'anni fa Chernobyl****Il programma energetico cinese****Per combattere il cambiamento climatico**

go' di 400 mila tonnellate di calcestruzzo. Per sei mesi centinaia di migliaia di militari russi furono impiegati per la raccolta di sostanze radioattive: esposti a rischi altissimi, potevano lavorare solo un minuto al giorno per gettare i detriti nucleari dentro il sarcofago. Non ci si accorse subito, però, che il reattore, sprofondato di quattro metri, continuava a contaminare il sottosuolo. Il bilancio è stato pesantissimo: oltre le vittime della prima ora, si sono ammalate negli anni successivi tutte le persone investite dalla radioattività. E gli effetti sono destinati a continuare forse per generazioni, mentre ancora si cerca di capire come archiviare definitivamente in sicurezza per il futuro la centrale di Chernobyl, andata definitivamente fuori produzione nel 2000. Nel prossimo numero della rivista verrà pubblicato un dossier su Chernobyl.

IL PROGRAMMA ENERGETICO CINESE

Nella riunione annuale del Parlamento Cinese, il governo ha annunciato l'intenzione di ridurre le emissioni inquinanti del 10% entro il 2010, come obiettivo di una società basata sul rispetto dell'ambiente. Nei prossimi 5 anni sono previsti investimenti per 100 miliardi di dollari nello sviluppo di tecnologie per la distribuzione e la tutela delle risorse idriche, riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti, smaltimento e riciclaggio dei rifiuti, ricerca di fonti energetiche rinnovabili, bonifica delle aree contaminate. La strategia in termini energetici è quella di svincolarsi sempre più dalla dipendenza dal petrolio sia per ragioni politiche ed economiche sia per ragioni strategiche a lungo termine, in modo da rendere la Cina capace di approvvigionarsi di energia attraverso fonti proprie. L'attenzione cinese sui temi del risparmio energetico, tutela dell'ambiente e sviluppo sostenibile risulterà determinante anche per l'economia energetica globale, considerando che nel 2004 le importazioni cinesi di petrolio

sono cresciute del 35% rispetto all'anno precedente, e per l'anno in corso sono previste in crescita sul 2005 dell' 8%.

Il modello disegnato dal governo cinese è un mix di interventi basato su piccole centrali idroelettriche, impianti eolici, centrali nucleari, impianti a biomasse e a carbone pulito. Sul fronte della ricerca la CINA punta molto sull'idrogeno e procede a ritmo serrato nella sperimentazione con l'obiettivo, in occasione dell'Expo 2010 di Shanghai, di realizzare un efficiente generatore elettrico a idrogeno.

PER COMBATTERE IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il 16 maggio a Bonn (Germania), delegati provenienti da 163 paesi (sui 189 che fanno parte della Convenzione ONU sui Cambiamenti Climatici) hanno discusso di come rafforzare ulteriormente la cooperazione internazionale volta a ridurre le emissioni di gas serra e rispondere agli impatti del cambiamento climatico.

L'ampia rosa di approcci possibili presentati in questa occasione includeva incentivi per indurre i PVS a mitigare i cambiamenti climatici, assicurando loro collaborazione sulla R&S e sul trasferimento di tecnologie più pulite. I delegati hanno inoltre espresso un forte sostegno al ruolo del commercio delle emissioni ed hanno convenuto sulla necessità di trovare nuovi modi per coinvolgere il settore privato nella protezione del clima.

Il dibattito svolto sotto forma di un "Dialogo su azioni collaborative a lungo termine per affrontare il cambiamento climatico mediante una migliore attuazione della Convenzione" è stato il primo di una serie di quattro convegni che coinvolgevano tutte le 189 Parti Contraenti della Convenzione Quadro dell'ONU sul Cambiamento Climatico (UNFCCC). La serie si concluderà alla fine del 2007. Il prossimo convegno avrà luogo nel novembre 2006 a Nairobi (Kenya).

VENT'ANNI FA CHERNOBYL

Vent'anni fa in Bielorussia, alle ore 1,24 del 26 aprile, accadeva il più grave incidente della storia civile contemporanea. Esplose il reattore nucleare n.4 della centrale atomica di Chernobyl e la nube radioattiva che ne scaturiva si dirigeva disastrosa verso nord, investendo città e villaggi nel raggio di centinaia di km. La notizia venne tenuta nascosta dalle autorità sovietiche per due giorni e intanto la nube radioattiva raggiungeva prima i Paesi scandinavi e poi l'Europa centrale, fino all'Italia. Per cercare di far fronte al disastro, la radioattività sviluppata fu pari a 200 volte quella delle bombe atomiche sul Giappone del 1945, si lottò settimane per seppellire il nocciolo radioattivo, contenente 135 mila tonnellate di uranio, sotto un 'sarcofa-

dall'UNIONE EUROPEA

**Siglato a Bruxelles
l'accordo ITER**

**Inquinamento
atmosferico urbano**

**Riutilizzo di acque
reflue per PMI tessili**

SIGLATO A BRUXELLES L'ACCORDO ITER

I Ministri dell'Unione Europea, Cina, India, Giappone, Corea del Sud, Federazione Russa e USA, rappresentanti delle sette parti partecipanti al progetto di ricerca ITER, si sono incontrati il 24 maggio a Bruxelles per la sigla dell'*Agreement* per l'importante collaborazione scientifica internazionale sull'energia da fusione. Il sito prescelto dove sorgerà la macchina ITER è quello francese di Cadarache; l'obiettivo del progetto è quello di dimostrare la fattibilità scientifica e tecnologica dell'energia da fusione. Con la sigla dell'accordo, si apre la via all'autorizzazione e sottoscrizione da parte dei relativi governi che dovrebbe concludersi entro la fine del 2006. E' già avvenuta la designazione

del Direttore Generale, il giapponese Kaname Ikeda, e del suo vice, Norbert Holtkamp: una squadra considerata molto forte per spingere questo progetto nel futuro.

Il completamento del lungo negoziato principalmente centrato sulla scelta del sito darà vita alla più importante cooperazione scientifica che il mondo abbia mai visto finora. Quella energetica è una questione che riguarda tutti, e tutti sperano che, quel che una volta sembrava un traguardo lontanissimo, cioè la fusione quale fonte energetica inesauribile, sia ora un passo più vicino a diventare realtà.

L'ENEA, con l'Unità Tecnico-Scientifica Fusione, partecipa a ITER attraverso EFDA (European Fusion Development Agreement) dando sostanziali contributi nei campi della superconduttività, dei componenti interfacciati al plasma, della neutronica, della sicurezza, del *remote handling* e della fisica.

INQUINAMENTO ATMOSFERICO URBANO

Il progetto INTEGAIRE (Integrated Urban Governance and Air Quality Management in Europe), interamente finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del V PQ di R&S, è stato finalizzato alla fornitura di raccomandazioni per la *best practice* (soluzione migliore) nel campo degli interventi e delle metodologie per il miglioramento della qualità dell'aria nelle città, nonché all'approfondimento delle questioni di governo urbano integrato e di applicazione delle normative comunitarie di settore.

Il progetto ha permesso di creare una piattaforma a livello europeo a cui possono fare riferimento i responsabili della gestione della qualità dell'aria delle amministrazioni comunali.

INTERGAIRE, infatti, ha evidenziato che le città europee hanno problemi comuni pur se differenziati e per questo chi è interes-

sato può iscriversi alla EPAP (European Platform of Air Pollution) e scambiare informazioni con esperti di altre città europee. Tra le città partecipanti ci sono Atene, Birmingham, Dusseldorf, Göteborg, Mailoe, Siviglia e Venezia. Il risultato principale del progetto INTEGAIRE è uno strumento di supporto alle decisioni (Best Practice Database disponibile sul sito www.integaire.org) che analizza in modo sistematico gli interventi possibili nei settori dei trasporti, dell'industria e del residenziale, fornendo altresì un ampio ventaglio di esempi applicativi forniti da numerose città europee.

Un seminario, organizzato dall'ENEA a Roma il 3 e 4 aprile, ha avuto il duplice obiettivo di discutere tale database, il suo possibile sviluppo col supporto primario degli utenti del prodotto (le amministrazioni urbane) e più in generale le recenti esperienze di gestione della qualità dell'aria nelle città italiane.

RIUTILIZZO DI ACQUE REFLUE PER PMI TESSILI

Il settore tessile è tradizionalmente caratterizzato da un forte consumo di acqua che è considerato un rifiuto da depurare prima di essere smaltito nelle reti fognarie secondo una direttiva UE che non riguarda però le PMI più piccole. Il progetto BATTLE (*Best Available Technique for water reuse in TextiLE*), finanziato dal programma europeo LIFE e coordinato dall'ENEA, si prefigge di fornire le linee guida per l'applicabilità delle migliori tecnologie disponibili nel trattamento e riutilizzo delle acque reflue all'interno dei cicli produttivi tessili anche presso le PMI del settore. La trattabilità delle acque reflue da lavorazioni tessili attraverso tecnologie a membrane per il loro riutilizzo è già stata ampiamente dimostrata, ma l'estrema variabilità degli effluenti derivanti dai processi produttivi ne frena l'applicazione.

dall'**ITALIA****In vigore
il Codice Ambientale****Pirelli ed ENEA per
energia e sviluppo
sostenibile****ENEL:
nuovo impianto eolico
in Sicilia****IN VIGORE
IL CODICE AMBIENTALE**

È stato pubblicato sulla *GU* n. 88 del 14.4.2006 il decreto legislativo 152/06 e, quindi, dal 29 aprile sono entrate in vigore le nuove norme in materia ambientale raccolte nel testo unico emanato in attuazione della legge delega 308/2004 (vedi *Energia, Ambiente e Innovazione*, n.6/05, pag. 90).

Vengono pertanto abrogate le principali norme ambientali precedentemente in vigore, ed in particolare il Dlgs. 22/1997 sui rifiuti e bonifiche, il Dlgs. 152/1998 sulle acque e il DPR 203/1988 in materia di inquinamento atmosferico. E sempre dal 29 aprile è scattato l'obbligo di iscrizione all'Albo nazionale dei gestori ambientali, da parte di chi trasporta rifiuti propri non pe-

ricolosi, come attività ordinaria e regolare, e pericolosi, sotto i 30 chili/litri al giorno. Con deliberazione del 26.4.2006 il Comitato nazionale di gestione all'albo ha approvato i modelli per effettuare l'iscrizione in attuazione dell'art. 212 del Dlgs. 152/2006. Il provvedimento supera le 700 pagine ed è composto da 318 articoli e 45 allegati; il disegno di legge di delega aveva iniziato il suo iter nel 2001 e il testo definitivo è stato approvato nel gennaio 2006. I temi disciplinati dalla norma riguardano le valutazioni ambientali (VIA, VAS, IPPC), la difesa del suolo, la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque, i rifiuti e le bonifiche, le emissioni in atmosfera, il risarcimento del danno.

Il nuovo codice ambientale ha sollevato critiche soprattutto dal mondo delle associazioni ambientaliste, che lo giudicano lacunoso e di minor tutela rispetto al passato.

**PIRELLI ED ENEA PER ENER-
GIA E SVILUPPO SOSTENIBILE**

Pirelli Labs, il polo di eccellenza tecnologica del Gruppo Pirelli, ed ENEA hanno avviato tre progetti di ricerca avanzata nel campo delle fonti d'energia rinnovabile e dello sviluppo sostenibile, nell'ambito di un apposito accordo quadro di durata quinquennale.

Questi primi progetti di ricerca riguardano: il fotovoltaico a concentrazione, una nuova generazione di sensori per il monitoraggio ambientale ed infine studi di base nel campo della fusione fredda. La tecnologia dei pannelli fotovoltaici a concentrazione rappresenta una soluzione promettente nell'ambito dei sistemi fotovoltaici in quanto può consentire una significativa riduzione dei costi di investimento e di conseguenza una maggiore diffusione di tali sistemi.

Lo studio di una nuova generazione di sensori a controllo remoto, intelligenti, a basso consu-

mo e in grado di fornire dati in tempo reale tramite connessioni *wireless*, permetterà il monitoraggio dell'inquinamento ambientale anche su territori estesi con costi di gestione contenuti. Per quanto riguarda l'attività di ricerca nel campo della fusione fredda, ENEA e Pirelli Labs, grazie alle reciproche competenze rispettivamente nei materiali e nel settore dell'ottica quantistica, intendono contribuire a chiarire aspetti controversi per lo sviluppo di soluzioni mirate alla possibile futura produzione di energia.

**ENEL: NUOVO IMPIANTO
EOLICO IN SICILIA**

Il programma di investimento di ENEL nelle energie rinnovabili porta in Sicilia un nuovo impianto eolico da 15,3 MW elettrici in grado di soddisfare il fabbisogno energetico di oltre diecimila famiglie evitando l'immissione in atmosfera di oltre 25 mila tonnellate annue di CO². La struttura, inaugurata il 5 maggio, è situata sui monti delle Madonie fra i Comuni di Montemaggiore Belsito e Sclafani Bagni in provincia di Palermo; i diciotto aerogeneratori sono disposti in modo da risultare il più possibile omogenei in altezza e i terreni circostanti, adibiti a colture tipiche dell'entroterra siciliano, saranno ancora utilizzati per le stesse attività. La distribuzione degli aerogeneratori è stata progettata in modo da ottimizzare la produzione, in funzione dei venti prevalenti: un sistema di controllo consente di adeguare la velocità di rotazione delle pale alla velocità del vento e decide l'avviamento e l'arresto delle macchine.

Da qui al 2009, ENEL investirà altri 100 milioni di euro per potenziare la produzione di energia da fonti rinnovabili nell'isola, dove la Società, attualmente, ha in esercizio 29 impianti di questo genere: 17 idroelettrici, 9 eolici e 3 fotovoltaici, per una potenza complessiva di circa 839,3 MW.

cronache



COLLABORAZIONE SCIENTIFICA CON LA CINA

Una delegazione di alto livello del Ministero della Scienza e Tecnologia della Repubblica Popolare Cinese ha fatto visita il 30 maggio ai laboratori del Centro ENEA della Casaccia mostrando un elevato interesse per le attività sperimentali condotte nel solare termodinamico e nelle celle a combustibile.

Nell'ambito della visita, è stato firmato un Accordo Quadro per rafforzare la cooperazione tecnico-scientifica tra le due istituzioni nel settore delle energie rinnovabili, con particolare riferimento al solare termodinamico e all'utilizzo delle biomasse, nonché delle biotecnologie, dell'idrogeno e delle celle a combustibile.

Da parte cinese è stato anche auspicato che a valle dell'Accor-

do siano messi in opera specifici protocolli per la realizzazione di progetti innovativi in Cina. In particolare, l'ENEA è stato invitato a costruire, in occasione dei Giochi Olimpici del 2008, almeno un impianto dimostrativo basato sulla tecnologia del solare termodinamico.

TELEFONATE VIA INTERNET PER LA PA

Come è ormai noto, far viaggiare la voce sul protocollo Internet permette di ottimizzare e razionalizzare i flussi comunicativi, velocizzando lo scambio di informazioni complesse e aprendo le porte a una serie di utili applicazioni, come la *video conference*, il *mobile office*, la *web collaboration*.

Nel corso del workshop "Il contributo della ricerca all'innovazione della PA: i vantaggi del VoIP", che l'ENEA ha organizzato a Roma il 3 maggio, sono stati illustrati i vantaggi che la *Voice over Internet Protocol* (le telefonate in voce via Internet) è in grado di assicurare alla Pubblica Amministrazione.

In particolare, l'ENEA ha presentato il proprio innovativo sistema telefonico interno che ha visto il coinvolgimento di tutti i propri Centri di Ricerca, distribuiti sull'intero territorio nazionale. Il progetto ha realizzato il trasporto della voce sulla rete dati, abbandonando le connessioni tradizionali telefoniche, e sfruttando un'unica rete di dati, con vantaggi economici e organizzativi, come, ad esempio, l'ottimizzazione dei costi di gestione e l'apertura verso la multimedialità, con la convergenza di dati, voce ed immagini.

Altre iniziative sono in corso di sviluppo presso l'ENEA in modo da estendere l'utilizzo della stessa rete alla trasmissione formale di atti con valore legale. Durante il workshop si è evidenziato come i vantaggi pratici di questo sistema sono facilmente estendibili a tutta la Pubblica Amministrazione: punto di riferimento sono state le linee guida in materia di digitalizzazione del-

la PA nelle quali l'adozione della tecnologia VoIP è stata inserita tra le iniziative per la razionalizzazione e il risparmio.

Durante il workshop, hanno illustrato i propri contributi allo sviluppo della tecnologia VoIP presso la Pubblica Amministrazione, anche il Consortium GARR, che gestisce la rete delle Università e della Ricerca Scientifica Italiana e il CNIPA (Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione).

PROGETTI INTERNAZIONALI PER PMI

Un accordo triennale per avviare interventi promozionali di partnership diretti all'internazionalizzazione delle piccole e medie imprese è stato sottoscritto in marzo tra Ministero delle Attività Produttive (MAP) ed ENEA. Si tratta di un protocollo strategico per elaborare e realizzare progetti integrati, anche attraverso attività di formazione professionale, prevalentemente mirati agli scambi, all'acquisizione di sistemi e tecnologie innovative, nonché alla realizzazione di joint-venture su mercati esteri di particolare interesse.

Ci si rivolge, soprattutto, ai paesi dell'area balcanica, a quelli di nuova adesione all'Unione Europea e a quelli che si affacciano sul Bacino Mediterraneo.

Con questo Accordo l'ENEA mette a disposizione del MAP e del sistema produttivo italiano le sue competenze tecnico-scientifiche, energetiche, ambientali e di trasferimento tecnologico e l'esperienza maturata nella gestione di progetti complessi per iniziative in grado di favorire le imprese nazionali, con l'obiettivo di rafforzare la competitività promuovendo scambi di conoscenze, di innovazione e di tecnologia con istituzioni di ricerca e industrie degli altri paesi.

INCONTRI

Ricerca e impresa
per rilanciare la
competitività

Sviluppo
socio-economico e
tutela dell'ambiente

RICERCA E IMPRESA PER RILANCIARE LA COMPETITIVITÀ

Ricerca, Impresa e Università devono raccordarsi sul territorio per ottenere risultati utili in un mondo in cui si investe sempre più in tecnologie e innovazione; e l'apertura dei laboratori degli enti di ricerca a imprese ed università è un modo per realizzare sinergie. È la proposta emersa dal Workshop: "L'ENEA per la tecnologia, il sistema produttivo e il territorio", organizzato a Roma il 17 maggio presso la sede dell'Ente, nel quale è stato anche ribadito che in queste iniziative non sono necessari ingenti investimenti statali né macchinosi processi di valutazione o scelte di politica industriale di settore. Serve soltanto un meccanismo di collaborazione stretta tra il mondo della ricerca e quello dell'industria

attraverso il quale, ciascuno, mantenendo la propria responsabilità e il proprio ruolo, contribuisca a determinare processi virtuosi di innovazione e crescita.

Una politica di valorizzazione delle risorse del territorio richiede un forte impulso alla diffusione di tecnologie di efficienza energetica, nell'ambito di nuovi modelli territoriali basati sull'integrazione tra le attività di produzione industriale e la disponibilità di energia a livello locale.

È necessario investire, perciò, su nuove tecnologie che permettano di incrementare l'efficienza dei sistemi di produzione industriale e su modalità più efficienti di utilizzo delle nuove fonti di energia, la cui valenza è tanto più strategica quanto più si colloca in settori a elevato tasso di innovazione tecnologica. E ciò può rappresentare per l'Italia un'occasione di crescita industriale, come accade già in altri paesi europei, con ricadute su competitività, prospettive economiche e occupazionali.

In quest'ottica assume carattere strategico la predisposizione di un piano di investimenti per la ricerca e la sperimentazione in grado di accelerare lo sviluppo delle tecnologie e di abbreviare i tempi necessari all'introduzione di sistemi innovativi sul mercato.

L'ENEA può contribuire al rilancio della competitività del sistema Italia mettendo le sue competenze a disposizione degli Amministratori Locali e del sistema produttivo, con particolare riferimento a quello costituito dalle imprese di piccole e medie dimensioni, per supportarle nella scelta delle leve di competizione da utilizzare, anche nell'ambito delle opportunità offerte dall'Unione Europea.

SVILUPPO SOCIO-ECONOMICO E TUTELA DELL'AMBIENTE

Il 20 aprile, a Roma è stato consegnato il premio Ambiente è Sviluppo, iniziativa del Ministero dell'Ambiente rivolta a persone, istituzioni e realtà economiche che abbiano

realizzato progetti innovativi e originali in tema di valorizzazione e di tutela ambientale, con risultati di sviluppo socio-economico.

I premi riguardavano sette categorie: imprese pubbliche e private; scuole medie inferiori e superiori; tesi di laurea e di dottorato di ricerca; amministrazione pubbliche; organizzazioni di imballaggio e di riciclo; operatori della comunicazione su carta o multimediale; persone in regime di detenzione.

Le opere partecipanti sono state realizzate in Italia tra 2001 e 2005 e sono state valutate per la capacità di produrre sviluppo salvaguardando l'ambiente, per l'originalità della tecnologia, per la validità tecnico-economica e per l'attitudine ad essere riprodotte o applicate in altri contesti.

Tra i 33 premiati, nella sezione "prodotti, sistemi, processi, realizzati da imprese pubbliche e private", ci sono: L'auto a idrogeno già da domani, interamente realizzato da ENEA; e PNEUMA (Pneumatic Uninterruptible Machine).

Il primo, realizzato da Pier Paolo Prosini, e altri ricercatori dell'ENEA, propone un modello sostenibile nel campo dei trasporti, garantendo lo sviluppo di tecnologie innovative. Il secondo, realizzato da Antonio Canova della Società Magnetek, che sostituisce pile a piombo acido con un sistema ad aria compressa, è stato messo a punto con ENEA e Università di Firenze.

Nella sezione "tesi di laurea e di dottorato di ricerca", Vincenzo Larocca, Ingegneria Chimica della Sapienza, con una tesi, svolta presso il Centro ENEA della Trisaia, si è classificato secondo per l'attenta ed approfondita disamina degli aspetti qualitativi e quantitativi relativi ai rifiuti costituiti da biomasse. (Mariella Bitonti)

ENEA per l'agroindustria e i biocombustibili

Il problema della sicurezza e diversificazione delle fonti di approvvigionamento energetico, insieme alla consapevolezza degli effetti ambientali dell'uso delle fonti fossili di energia, spinge oggi le istituzioni e le industrie ad affrontare con rinnovato impegno la "questione energetica". In questa prospettiva i biocombustibili, ottenuti dalla trasformazione di prodotti e residui delle attività agricole, forestali e agroindustriali (biomasse), possono costituire una risposta promettente alla richiesta di alternative ecologicamente sostenibili ai combustibili fossili. La politica energetica ed ambientale dell'Unione Europea ha assegnato un ruolo significativo ai biocombustibili liquidi, o biocarburanti, per il settore dei trasporti con l'emanazione della Direttiva Europea n. 2003/30/CE dell'8 maggio 2003, che prevede il raggiungimento per ogni Stato membro di obiettivi indicativi di sostituzione dei carburanti derivanti dal petrolio con biocarburanti, per una quota pari al 2% nel 2005 e fino al 5,75% nel 2010.

L'Italia si è impegnata a raggiungere tali obiettivi con la legge 11 marzo 2006, n. 81, che obbliga i distributori di carburante - a partire dal 1° luglio 2006 - a immettere sul mercato benzina e gasolio contenenti percentuali crescenti di biocarburanti, fino al 5% nel 2010.

Secondo Luigi Paganetto, Commissario Straordinario ENEA, in occasione del convegno dedicato al tema dell'agroindustria e dei biocombustibili, il 25 maggio 2006 presso la Sede dell'Ente in Roma: "La scelta dell'Unione Europa in materia di biocarburanti rappresenta un'opportunità che va colta sia per i benefici ambientali che essa comporta che per le possibilità che essa offre al nostro sistema agroindustriale. Occorre peraltro - ha proseguito Paganetto - affrontare alcuni problemi a cui serve dare risposte adeguate. Il primo è quello del costo delle materie prime, che oggi sono quasi tutte importate per ragioni di prezzo. Il secondo è quello della realizzazione di una filiera produttiva in cui siano opportunamente integrate tutte le fasi del processo di produzione. E' necessario infine investire di più nell'attività di ricerca su biocarburanti e biocombustibili, attività in cui ENEA è presente ed attiva perché ci sono importanti evoluzioni tecnologiche su cui occorre essere presenti e capaci di inserirsi fin da oggi".

Vito Pignatelli, nel presentare il dossier ENEA, ha richiamato l'attenzione sui paesi del Nord Europa come esempio di paesi industrializzati che già soddisfano una parte consistente dei propri consumi energetici con le bioenergie. (vedi: *Energia, Ambiente e Innovazione*, N. 2/06, pagg 32-43). Nel quadro europeo dell'utilizzo energetico delle biomasse l'Italia, con il 2,5% del proprio fabbisogno coperto da questa fonte energetica rinno-

vabile, è al di sotto della media europea e si pone in una condizione di scarso sviluppo, nonostante l'elevato potenziale di cui dispone, che risulta non inferiore ai 27 Mtep. Le difficoltà che si frappongono ad un maggiore sviluppo della bioenergia nel contesto europeo e nazionale derivano dall'ampiezza e dall'articolazione dei problemi facenti capo alle varie "filiera" e riguardano la gestione dei materiali, gli usi finali, le tecnologie, l'impatto socio-economico, l'articolazione dei sistemi, le normative ecc. Occorre intervenire sull'approvvigionamento delle materie prime, poiché le tecnologie di conversione richiedono una qualità costante ed elevata delle biomasse da trasformare in biocarburanti o energia; adottare tecnologie affidabili; puntare alla formazione di distretti agro-energetici.

Il compito della ricerca sarà quindi quello di ridurre i costi di produzione delle materie prime e di sviluppare progressivi piccoli miglioramenti nei processi produttivi sino ad arrivare ad una nuova generazione di biocarburanti e tecnologie per la produzione di bioenergia.

Alla presentazione sono seguiti gli interventi degli operatori del settore, tra cui le Associazioni degli agricoltori, che chiedono un ruolo attivo nello sviluppo del settore agroenergetico. E' importante, ha dichiarato Federico Vecchioni, presidente della Confagricoltura, promuovere l'uso delle bioenergie derivanti da materie prime agro-forestali come un'ulteriore opportunità di reddito per gli imprenditori agricoli.

Vecchioni ha quindi sollecitato la sensibilità di Parlamento e Governo e l'impegno della ricerca. Da questo punto di vista – ha concluso – l'incontro di oggi è fondamentale perché ritengo che l'ENEA possa svolgere un grande compito nelle politiche energetiche del Paese.

Non vogliamo essere dei semplici fornitori di materie prime, ha ribattuto Sergio Marini, vicepresidente della Coldiretti, ma vogliamo essere coinvolti per la realizzazione di tutta la filiera in una forma di autogestione. Per luglio non saremo pronti, anche perché le coltivazioni agricole non possono seguire l'iter legislativo, ma stiamo facendo il possibile per individuare i terreni più idonei alla produzione di girasole da convertire in biodiesel in Italia. Basti pensare che per sostituire, come previsto, l'1% del gasolio occorre ad esempio produrre 280 mila tonnellate di semi oleosi. Nel nostro Paese, è stato ricordato nella tavola rotonda conclusiva, il consumo annuo di carburanti liquidi per autotrazione è pari a circa 15 Mt di benzina e 25 Mt di gasolio. Considerato che 1 t di biodiesel corrisponde a circa 0,9 t di gasolio e che 1 t di etanolo equivale a 0,6 t di benzina, il loro utilizzo in sostituzione dei carburanti fossili porterebbe nel 2010, con una sostituzione pari al 5%, ad un mercato delle dimensioni di circa 1.400.000 t/anno di biodiesel e 1.250.000 t/anno di bioetanolo.

LETTURE

Quale energia?

Kyoto e dintorni



Ma con l'incidente di Chernobyl, nel 1986, il problema energetico diventa anche un problema etico.

Sono questi i percorsi storici seguiti dal presente volume, che nasce come tesi di laurea in fisica di Giuseppe Muliere, relatore Adalberto Piazzoli.

I primi due capitoli sono di carattere scientifico-didattico con accenni matematici e metafisici sulla difficoltà di definire i concetti di energia, entropia e nega-entropia. Seguono, poi, un capitolo sulla definizione, con dettagli storici, del problema energetico e un altro sull'impatto energia-ambiente; mentre l'ultimo capitolo è dedicato alla problematica dell'energia nucleare, sia di fissione che di fusione.

Tre appendici sull'effetto serra, le celle a combustibile e il sistema energetico italiano concludono questa rassegna critica senza pregiudizi, ma con una sola presa di posizione ideologica: non esiste un modo per produrre energia senza sporcare (principio della termodinamica) ed è allora immorale produrre più energia che si può perché, poi, qualcuno la userà!

QUALE ENERGIA?

Giuseppe Muliere,
Adalberto Piazzoli
La Goliardica Pavese,
novembre 2004,
pagine 194, euro 7,20

L'energia è una cosa indispensabile per fare qualunque altra cosa, compreso il pensare, anche se a un taglialegna ne serve molta di più che non ad un filosofo o ad uno scrittore.

Nel 1972 la guerra del Kyppur rende 'popolare' l'energia, ed è in quegli anni settanta che nasce il 'problema energetico' non disgiunto da quello dei 'limiti dello sviluppo'. E nasce anche un ritrovato interesse per le centrali nucleari, che in Francia raggiungeranno risultati imponenti.

KYOTO E DINTORNI

I cambiamenti climatici
come problema globale

A cura di Antonello Pasini
FrancoAngeli, 2006, pagine 214,
euro 18,50

Prendendo spunto dall'iter della negoziazione internazionale sul clima e dalle polemiche su determinati risultati scientifici sui quali il Protocollo di Kyoto si basa, il libro vuole fornire una rassegna sullo stato dell'arte della ricerca climatica contemporanea sia dal punto di vista di quanto si sa sul comportamento osservato e previsto del sistema clima sia relativamente agli impatti recenti e ipotizzati sugli ecosistemi del nostro pianeta.

Vengono, perciò, descritti metodi e risultati della ricerca climatica attraverso saggi complementari e sinergici di alcuni tra i massimi esperti italiani in materia di CNR, ENEA e Università.

Dalla lettura si scopre che anche in Italia il regime delle precipitazioni estive è mutato negli ultimi 30 anni, con diminuzione delle piogge di intensità medio-bassa e aumento di quelle di maggiore intensità, soprattutto nel Centro-Sud.

I risultati dei modelli regionali confermano questa tendenza per il futuro, con alcune zone del Sud che dovranno affrontare problemi di approvvigionamento idrico, desertificazione e dissesto del territorio. L'aumento di temperatura riscontrato a livello globale nell'ultimo secolo si è verificato anche in Italia (oltre 1 °C in più negli ultimi 140 anni, a Roma) e avrà un ulteriore incremento verso fine secolo, con 3-5 °C in più d'estate, come nel famigerato 2003.

A livello europeo, invece, le modificazioni delle correnti oceaniche nell'Atlantico fanno prospettare un raffreddamento delle nazioni nord-occidentali nel prossimo futuro, con il possibile risultato di un'Europa climaticamente spaccata in due.

A livello globale, a causa del riscaldamento atmosferico, il livello medio del mare si innalzerà (da 15 a 90 cm): in particolare, per l'Italia, concomitanti fenomeni geologici di abbassamento delle coste, pur se di pochi millimetri ogni anno, portano a stimare 33 zone costiere a rischio di inondazione nel corso di questo secolo. Per prendere decisioni di interventi scientificamente validi è necessario, sottolinea il curatore, che l'indagine scientifica, ancora giovane, si sviluppi ulteriormente per accrescere la conoscenza sui problemi relativi ai cambiamenti climatici e procedere così, come auspicava il Galileo di Brecht, "ad interventi vantaggiosi per l'umanità".