

# Energia, Ambiente e Innovazione

2/2010



*Solare termodinamico: dalla  
ricerca alla commercializzazione*

*Il progetto solare termodinamico  
dell'ENEA*

*Ricerca sui coating spettralmente  
selettivi per tubi ricevitori*

*Storia del vapore e dell'elettricità  
dal calore del sole*

*Per una politica convinta  
sull'efficienza energetica*

*Land grabbing: la caccia alle terre  
è iniziata!*

*La scelta nucleare*

*Nucleare: ricordi di una stagione  
di contestazioni*

*I rifiuti radioattivi: per una  
valutazione razionale*



mostra-convegno internazionale

# terrafutura

buone pratiche di vita, di governo e d'impresa  
verso un futuro equo e sostenibile



**abitare**

**firenze - fortezza da basso  
28-30 maggio 2010**

VII edizione ingresso libero



**produrre**

- appuntamenti culturali
- aree espositive • laboratori
- animazioni e spettacoli



**coltivare**

**agire**



**governare**

*Terra Futura 2010 è promossa e organizzata da Fondazione Culturale Responsabilità Etica Onlus per il sistema Banca Etica, Regione Toscana e Adescoop-Agenzia dell'Economia Sociale.*

*È realizzata in partnership con Acli, Arci, Caritas Italiana, Cisl, Fiera delle Utopie Concrete, Legambiente.*

*In collaborazione e con il patrocinio di Provincia di Firenze, Comune di Firenze, Firenze Fiera SpA e numerose altre realtà nazionali e internazionali.*

Relazioni istituzionali e Programmazione culturale  
Fondazione Culturale Responsabilità Etica Onlus  
via Tommaseo, 7 - 35131 Padova  
tel. +39 049 7399726 fax +39 049 7394050  
email [fondazione@bancaetica.org](mailto:fondazione@bancaetica.org)

Organizzazione evento  
Adescoop-Agenzia dell'Economia Sociale s.c.  
via Boscovich, 12 - 35136 Padova  
tel. +39 049 8726599 fax +39 049 8726568  
email [info@terrafutura.it](mailto:info@terrafutura.it)

**[www.terrafutura.it](http://www.terrafutura.it)**



**N**ove anni fa l'ENEA lanciava il progetto del solare a concentrazione ad alta temperatura (termodinamico), che utilizza sali fusi sia per il sistema di accumulo di calore, che come fluido termovettore. Questa tecnologia consente temperature di esercizio più elevate (550 °C) rispetto alle soluzioni esistenti, garantendo in questo modo un miglioramento delle prestazioni. Entro quest'anno entrerà in funzione, presso il sito ENEL di Priolo Gargallo, in Sicilia, l'impianto di elettrogenazione dimostrativo "Archimede", da 5 MWe, basato sulla tecnologia del solare termodinamico. Archimede incorpora componenti e sistemi innovativi prodotti dall'industria su brevetti e licenze ENEA, e provati in prototipi realizzati e sperimentati da ENEA nei propri laboratori a partire dal 2004. Come sottolineano Vignolini e Simbolotti nel primo articolo dedicato all'argomento, il successo di questa tecnologia dipenderà da fattori industriali e di mercato, ma anche dalla capacità del Paese di "fare sistema". In ogni caso, si tratta di un esempio positivo di trasferimento dei risultati dalla ricerca pubblica al settore produttivo.

Il progetto Archimede fornisce anche interessanti conferme sull'utilità di impegnare risorse nella ricerca per produzioni ad alto contenuto tecnologico e sulla necessità di innovare modelli manageriali, sia nel settore pubblico, che in quello privato.

Sugli aspetti dell'innovazione tecnologica e sul coinvolgimento dell'industria nel progetto del solare termodinamico si sofferma l'articolo degli stessi autori con Fontanella, mentre il terzo contributo, di Antonaia, Esposito e Guglielmo, si concentra sull'innovativa tecnologia utilizzata per i tubi ricevitori. Cesare Silvi presenta una panoramica storica dell'impegno dei ricercatori italiani, negli ultimi due secoli, per produrre calore ed elettricità dal sole, attraverso specchi piani o quasi piani. Si può in questo modo constatare come molti degli impianti solari termodinamici oggi sviluppati nel mondo si basino su invenzioni di studiosi italiani, in particolare di Giovanni Francia, negli anni 60 del secolo scorso.

Il rinnovato interesse per il nucleare ha stimolato un dibattito di cui anche la nostra Rivista si è fatta portatrice già in vari numeri passati. Anche in questo ospitiamo tre articoli su questo tema. Nel primo, Ugo Spezia analizza le strategie necessarie nell'industria, negli accordi internazionali, nella ricerca e nell'acquisizione del consenso della popolazione, che il rilancio dell'opzione nucleare comporta.

Giovanni Gentile ripercorre la storia del dibattito sul nucleare nel nostro Paese negli ultimi trenta anni, esprimendo un giudizio fortemente negativo sui provvedimenti giuridici adottati, che hanno impedito le attività in campo nucleare fino ad oggi, ma anche un dibattito serio e informato. L'articolo di Alberto Taglioni presenta un quadro approfondito della questione dei rifiuti radioattivi, molto sentita dall'opinione pubblica. Le moderne tecnologie di smaltimento di questi rifiuti offrono tali garanzie di sicurezza da far preferire, a parità di fattori quali ad esempio l'economicità, l'inserimento territoriale, gli aspetti distributivi, l'energia nucleare, rispetto ad altre fonti energetiche. Il tema, dice l'autore, va dunque affrontato senza pregiudizi o avversioni puramente ideologiche. Sul tema dell'efficienza energetica la nostra Rivista è tornata più volte, anche alla luce delle competenze istituzionali assegnate all'ENEA. In questo numero ospitiamo un articolo di Andrea Molocchi, il quale sottolinea la necessità di un maggiore impegno in questa direzione, che favorirebbe anche l'industria nazionale, la quale vanta posizioni di rilievo in questo campo in ambito internazionale. Occorre però anche un maggiore impegno delle Regioni che, in tema di trasporti e di edilizia, detengono competenze decisive. In questo quadro gli strumenti di incentivazione assumono un ruolo fondamentale di stimolo.

Un problema a carattere planetario è quello trattato nell'articolo di Paola Perfetti. Stiamo assistendo, ormai da parecchi anni, a un processo di acquisizione di terreni coltivabili nei paesi più poveri del mondo da parte di governi o multinazionali dei paesi più sviluppati, ai fini della produzione di cibo o della conversione di colture in biocombustibili. Si tratta di un fenomeno che presenta forti rischi di penalizzazione per i paesi più poveri e sul quale la FAO ha di recente richiamato l'attenzione.

Il Direttore Responsabile  
**Flavio Giovanni Conti**

## primo piano

6

### **SOLARE TERMODINAMICO: DALLA RICERCA ALLA COMMERCIALIZZAZIONE (LA RICERCA COME STRUMENTO DI RILANCIO ECONOMICO)**

SOLAR THERMODYNAMIC ENERGY: FROM RESEARCH TO MARKETING. RESEARCH AS A TOOL FOR ECONOMIC RELAUNCH

Mauro Vignolini, Giorgio Simbolotti

11

### **IL PROGETTO SOLARE TERMODINAMICO DELL'ENEA: UN IMPORTANTE RISULTATO SCIENTIFICO E UNA OPPORTUNITÀ PER L'ECONOMIA ITALIANA**

THE ENEA SOLAR THERMODYNAMIC PROJECT. AN IMPORTANT SCIENTIFIC RESULT AND AN OPPORTUNITY FOR ITALY'S ECONOMY

Mauro Vignolini, Giorgio Simbolotti, Alfredo Fontanella

28

### **ATTIVITÀ DI RICERCA SUI COATING SPETTRALMENTE SELETTIVI PER TUBI RICEVITORI**

RESEARCH ON SPECTRALLY SELECTIVE COATINGS FOR THE RECEIVER TUBES

Alessandro Antonaia, Salvatore Esposito, Antonio Guglielmo

34

### **STORIA DEL VAPORE E DELL'ELETTRICITÀ DAL CALORE DEL SOLE CON SPECCHI PIANI O QUASI PIANI: POSSIBILITÀ ESPLORETE DAGLI SCIENZIATI ITALIANI SIN DALL'OTTOCENTO**

HISTORY OF STEAM AND ELECTRICITY GENERATION FROM SOLAR HEAT BY USING FLAT OR ALMOST FLAT MIRRORS: RESEARCH BY ITALIAN SCIENTISTS SINCE THE 1800S

Cesare Silvi



## riflettore su

48

### **DALLE PAROLE AI FATTI: PER UNA POLITICA CONVINTA SULL'EFFICIENZA ENERGETICA**

FROM WORDS TO FACTS: FOR A FIRM ENERGY-EFFICIENCY POLICY

Andrea Molocchi

58

### **ESPLODE IL RISIKO DEL NUOVO MILLENNIO: LA CACCIA ALLE TERRE È INIZIATA!**

THE NEW MILLENNIUM RISK GAME EXPLODES:  
THE CAPTURE OF TERRITORIES HAS JUST STARTED!

Paola Perfetti

66

### **LA SCELTA NUCLEARE**

THE NUCLEAR OPTION

Ugo Spezia

74

### **NUCLEARE SÌ, NUCLEARE NO. RICORDI DI UNA PASSATA STAGIONE DI CONTESTAZIONI**

NUCLEAR YES, NUCLEAR NO. REMEMBERING PAST DISPUTES

Giovanni G. Gentile

80

### **I RIFIUTI RADIOATTIVI: DA UN APPROCCIO EMOTIVO AD UNA VALUTAZIONE RAZIONALE**

RADIOACTIVE WASTES: FROM AN EMOTIONAL APPROACH TO A RATIONAL EVALUATION

Alberto Taglioni

94

### **APPROFONDIMENTI SUL FLUIDO TERMOVETTORE**

a cura di Mauro Vignolini e Alfredo Fontanella

## appunti di

Bimestrale dell'ENEA  
Anno 56, marzo-aprile 2010

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

**Direttore responsabile**

Flavio Giovanni Conti

**Comitato tecnico-scientifico**

Oswaldo Aronica, Paola Batistoni, Vincenzo Di Majo,  
Stefano Giammartini, Massimo Maffucci, Emilio Santoro

**Responsabile editoriale**

Diana Savelli

**Coordinamento redazionale**

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

**Collaboratori**

Giuliano Ghisu

**Promozione**

Paola Crocianielli

**Traduzioni**

Carla Costigliola

**Progetto grafico**

Bruno Giovannetti



**Lo staff della rivista**

Da sinistra: Stefano Giammartini, Paola Molinas, Oswaldo Aronica, Paola Crocianielli, Massimo Maffucci, Giuliano Ghisu, Vincenzo Di Majo, Diana Savelli, Flavio Giovanni Conti, Paola Batistoni, Emilio Santoro, Bruno Giovannetti (foto di Roberta Francescone)

**In copertina**

Collettori parabolici dell'impianto solare "Archimede" di Priolo Gargallo, realizzato dall'ENEL su tecnologia ENEA (Archivio ENEA)

**Stampa**

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

**Registrazione**

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

**Pubblicità**

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

**Abbonamento annuale**

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

Finito di stampare nel mese di maggio 2010

[www.enea.it](http://www.enea.it)



Prodotto realizzato impiegando carta Symbol Freelifce certificata FSC



**Alessandro Antonaia**

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici

*pag. 28*



**Paola Perfetti**

Stagiaire ENEA, Unità Relazioni Internazionali

*pag. 58*



**Alfredo Fontanella**

ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

*pag. 11, 94*



**Giorgio Simbolotti**

ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

*pag. 6, 11*



**Giovanni G. Gentile**

Avvocato in Roma  
Già professore di Diritto dell'energia presso  
l'Università LUISS Guido Carli

*pag. 74*



**Cesare Silvi**

Gruppo per la storia dell'energia solare (GSES)  
e Comitato Nazionale "La Storia dell'Energia  
Solare" (CONASES)

*pag. 34*



**Antonio Guglielmo**

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici

*pag. 28*



**Ugo Spezia**

Segretario Generale dell'Associazione Italiana  
Nucleare

*pag. 66*



**Andrea Molocchi**

Responsabile Ufficio Studi Amici della Terra

*pag. 48*



**Alberto Taglioni**

ENEA, Unità Tecnica Metodi per la Sicurezza  
dei Reattori e del Ciclo del Combustibile

*pag. 80*



**Mauro Vignolini**

ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

*pag. 6, 11, 94*

## Solare Termodinamico: dalla ricerca alla commercializzazione (La ricerca come strumento di rilancio economico)

Mauro Vignolini  
Giorgio Simbolotti

ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

*Per superare l'attuale fase di crisi e mantenere il Paese tra le economie avanzate occorre destinare risorse alla ricerca e orientare l'industria verso produzioni innovative a elevato contenuto tecnologico. In quest'ottica il progetto Solare Termodinamico dell'ENEA può offrire spunti su come conseguire tali obiettivi, rinnovando da un lato i modelli manageriali e organizzativi della ricerca pubblica e, dall'altro, la mentalità e le strategie del management aziendale*

## Solar Thermodynamic Energy: from Research to Marketing. Research as a Tool for Economic Relaunch

*The current crisis can be overcome and our Country be still ranking among the most advanced economies only if research is assigned resources and industry oriented towards high-tech innovation solutions. From such perspective the ENEA Thermodynamic Solar Project can provide ways to achieve the target by renewing the management and organization models of public research as well as the mentality and strategies of corporate management*

Se è vero che per superare l'attuale fase di crisi e mantenere il Paese tra le economie avanzate occorre destinare risorse alla ricerca e orientare l'industria verso produzioni innovative a elevato contenuto tecnologico, allora il progetto Solare Termodinamico dell'ENEA può offrire qualche suggerimento utile su come conseguire tali obiettivi, rinnovando da un lato i modelli manageriali e organizzativi della ricerca pubblica e, dall'altro, la mentalità e le strategie del management aziendale.

Fra pochi mesi, presso il sito ENEL di Priolo Gargallo (Sicilia) entrerà in funzione l'impianto di elettrogenazione Archimede basato sulla tecnologia solare a concentrazione ad alta temperatura (solare termodinamico) sviluppata da ENEA nel decennio 2001-2010. L'impianto è il primo al mondo ad utilizzare sali fusi sia per il sistema di accumulo del calore solare, che come fluido termovettore. Tale innovazione consente di elevare sensibilmente la temperatura di esercizio (550 °C) rispetto alle soluzioni esistenti. Ciò garantisce un miglioramento significativo delle prestazioni, della capacità di accumulo termico e del fattore di utilizzazione dell'impianto a valori ben al di sopra di quelli tipici delle fonti rinnovabili intermittenti, oltre ad una perfetta integrazione con impianti di elettrogenazione convenzionali, con ovvi benefici in termini operativi ed economici.

L'impianto di Priolo (5 MWe) è un dimostrativo industriale che consentirà di mettere a punto e

dimostrare funzionalità e durata dei componenti e dei sistemi innovativi prodotti dall'industria sulla base di brevetti e licenze ENEA e di prototipi realizzati e provati in laboratori e in impianti sperimentali ENEA a partire dal 2004. Il progetto Solare Termodinamico ha permesso, nell'arco di 10 anni, di portare una tecnologia innovativa dalla fase di concezione alla fase di dimostrazione industriale, con un rilevante coinvolgimento dell'industria nazionale e interessanti opportunità di sviluppo commerciale.

A tale proposito, va ricordato che vari paesi del Nord Africa e del Medio Oriente (tra cui Libia, Egitto, Kuwait, Emirati Arabi) hanno manifestato interesse per questa nuova tecnologia e per ospitare impianti dimostrativi; che la multinazionale Siemens ha rilevato nel 2009 il 28% della società Archimede Solar Energy che commercializza il componente più innovativo dell'impianto; che ENEL Green Power ha recentemente indicato tale tecnologia come un contributo di rilievo che ENEL apporterà come nuovo membro nel consorzio internazionale Desertec<sup>1</sup>; e che nell'iniziativa internazionale Mediterranean Solar Plan<sup>2</sup> più del 50% degli impianti proposti sono basati sulla tecnologia del solare termico a concentrazione.

Naturalmente il destino industriale e commerciale di questa tecnologia dipenderà ora non solo dalle scelte tecniche operate nella fase di ricerca, ma anche da fattori industriali e di mercato e dalla cosiddetta "capacità del Paese di fa-

1. Desertec Industrial Initiative è una joint venture internazionale di origine industriale che si propone di soddisfare entro il 2050 una parte sostanziale del fabbisogno energetico del Nord Africa e del Medio Oriente attraverso lo sfruttamento di fonti rinnovabili e di trasferire in Europa parte della elettricità prodotta. Desertec si compone attualmente di 17 membri tra cui Abb, Deutsche Bank, E.ON, Rwe, Siemens, ENEL.
2. Mediterranean Solar Plan è una iniziativa governativa di origine franco-tedesca che, di concerto con altri paesi europei e della sponda Sud del Mediterraneo, si propone di realizzare in questi, entro il 2020, impianti di elettrogenazione basati su fonti rinnovabili (solare termico a concentrazione, fotovoltaico, eolico), per una capacità di 20 GW.

re sistema". Tuttavia questa esperienza costituisce comunque un caso di ricerca applicata di successo con rilevante trasferimento di *know-how* al settore produttivo. Da essa sembra utile enucleare alcune "evidenze sperimentali" sulla relazione tra ricerca e industria, sul processo che porta un'idea innovativa dai laboratori alla commercializzazione e su come la ricerca possa contribuire a migliorare la competitività delle imprese e del Paese.

### L'importanza dell'innovazione di prodotto

Come è noto le aziende italiane, principalmente piccole e medie imprese, tendono ad accrescere la propria competitività preferendo quella che viene definita *l'innovazione di processo* alla cosiddetta *innovazione di prodotto*. In generale, infatti, la prima consente un rapido abbattimento dei costi di produzione, un miglioramento dei prodotti e tempi di ritorno degli investimenti piuttosto brevi. Sembra improbabile tuttavia che le aziende possano uscire dall'attuale fase economica e prosperare riducendo semplicemente i costi operativi attraverso la sola *innovazione di processo*. È infatti *l'innovazione di prodotto* che consente di accrescere molto di più la competitività internazionale nel lungo termine e di fondare il fulcro delle attività sulla concentrazione di conoscenze, tipica dei sistemi evoluti, piuttosto che sulla concentrazione di manodopera. Essa richiede tuttavia maggiori investimenti, tempi di ritorno più lunghi e soluzioni creative basate su competenze (spesso multidisciplinari) non sempre reperibili in azienda, specialmente in piccole e medie imprese. Questo è il contributo e il valore aggiunto che la ricerca, in particolare la ricerca pubblica applicata, può fornire al mondo produttivo. La sopravvivenza delle nostre imprese sembra legata alla capacità individuale e di sistema di ricerca e industria di produrre nuove idee e trasformarle in nuovi prodotti, che spesso richiedono anche nuovi processi produttivi.

Le tendenze in atto, ivi compreso il trasferimento di molte attività produttive, anche innovative, in regioni con minor costo del lavoro, non sempre favoriscono tale processo e possono mettere in discussione la capacità stessa delle economie avanzate di continuare a innovare ai ritmi precedenti. Gli esperti e i talenti si riversano infatti ove si offrono opportunità di lavoro qualificato e reti di conoscenza, e le aziende si concentrano dove è possibile attingere a un bacino di talenti e di idee ed è più facile stare al passo con l'innovazione, essere vicini a fornitori, consumatori e potenziali partner. È il meccanismo che ha prodotto in diverse epoche e paesi, fasi di rilevante crescita economica e che caratterizza oggi le economie emergenti.

La globalizzazione inoltre, insieme a indubbi benefici, ha indotto le imprese a perseguire riduzioni dei costi attraverso strategie di *outsourcing*, delegando all'esterno molte attività a basso ed alto valore aggiunto, anche specialistiche, non direttamente funzionali al *core business* e al conseguimento di profitti a breve termine. Ciò ha prodotto un graduale depauperamento di competenze interne di tipo ingegneristico, tecnologico e manifatturiero, come pure di personale qualificato e di infrastrutture logistiche, elementi importanti per la messa a punto di prodotti d'avanguardia ad alto contenuto tecnologico. Ritenendo che tali processi siano reversibili, spesso si sottovaluta il danno duraturo da essi prodotto non soltanto alle singole aziende, ma anche a livello di settore.

L'attuale situazione economica mette in discussione concetti che in anni recenti sembravano consolidati. Tra questi, la convinzione che un'economia post-industriale abbia necessità di minore capacità manifatturiera a causa della dominanza dei servizi e del processo di dematerializzazione di larghe fasce di beni di consumo. Ciò è vero per alcuni aspetti sul piano quantitativo, non su quello qualitativo. La telefonia mobile ha rapidamente affiancato e tende a sostituire le infrastrutture fisiche della telefo-

nia fissa, così come i piccoli lettori mp3 sostituiscono voluminosi impianti *hifi* e scaffali di cd/dvd e probabilmente ne soppianderanno la produzione. Entrambi tuttavia richiedono innovazione tecnologica e nuova capacità manifatturiera. Considerazioni analoghe valgono in settori quali l'energia, i materiali, la chimica, le biotecnologie. In realtà in tutti i settori *high-tech* una capacità manifatturiera di qualità è fondamentale per lo sviluppo di nuovi prodotti e la sua mancanza pone le basi per un rapido declino.

Un processo in certo modo analogo, forse più accentuato, ha interessato negli ultimi due decenni la ricerca, ove un'errata tendenza verso attività e studi immateriali, insieme alla carenza di risorse finanziarie, ha prodotto la progressiva perdita di laboratori e apparecchiature, di tecnici in grado di operarli e di capacità manifatturiere spesso artigianali ma indispensabili per realizzare componenti e prototipi ad alto contenuto di innovazione per intenti sperimentali. A ciò si aggiungono altri fattori più specifici del nostro Paese quali la mancanza di motivazioni e incentivi economici alla ricerca sia sul piano individuale che su quello delle istituzioni preposte, e il progressivo invecchiamento dei ricercatori. In altre parole, tra gli addetti ai lavori e non solo si è andata consolidando negli anni una percezione di declino della ricerca e della sua funzione sociale.

È inevitabile chiedersi come mai il Paese sia progressivamente uscito o sia poco presente a livello internazionale in molti settori strategici e innovativi della produzione industriale. D'altra parte, anche sul piano internazionale, il modello sociale dei camici bianchi dei grandi laboratori di ricerca americani, che fino agli anni 70 aveva spinto anche in Italia generazioni di giovani verso facoltà tecnico-scientifiche e verso la ricerca, è stato sostituito dalla metà degli anni 80 da altri modelli che valorizzano quasi esclusivamente i ruoli manageriali, finanziari e di comunicazione.

## La ricerca in aiuto della competitività delle imprese

Una strategia di rilancio della ricerca da un lato e dell'innovazione nella produzione industriale dall'altro deve quindi inevitabilmente invertire le tendenze in atto e non può prescindere, pur nella specificità dei diversi ruoli di ricerca e industria, dal recupero e dalla valorizzazione delle vere competenze intellettuali, tecnologiche e manifatturiere. Si tratta di un processo che deve investire risorse umane individuali e collettive e naturalmente le infrastrutture. Ricerca e industria devono poter interagire direttamente in poli scientifici e distretti industriali senza strutture di intermediazione e promozione della ricerca, spesso apportatrici di scarso valore aggiunto.

Ciò naturalmente non basta. Occorrono anche sostanziali cambiamenti nella ricerca pubblica in termini organizzativi, nella mentalità e nelle strategie del management. A fronte di nuove idee e soluzioni innovative sviluppate autonomamente o sulla base della domanda proveniente dai settori produttivi, la ricerca pubblica, in particolare quella applicata, deve poter lavorare per progetti con finalità e obiettivi temporali definiti. Deve inoltre essere in grado di recepire e interiorizzare le esigenze della produzione industriale e del mercato fin dalle prime fasi di sviluppo dei progetti stessi e disporre di competenze e infrastrutture per curare lo sviluppo di componenti e sistemi fino alla fase di pre-commercializzazione.

Deve poter fornire servizi e consulenze di progettazione e prototipazione all'industria nella fase di dimostrazione industriale ed essere dotata di infrastrutture per la qualificazione e la certificazione dei componenti sviluppati dall'industria sulla base dei prototipi di laboratorio.

Deve partecipare alle azioni di promozione dei prodotti innovativi. Infatti le idee, i brevetti, la qualificazione dei componenti e il ruolo della ricerca pubblica italiana sembrano (ancora) costituire una garanzia ed un asset di rilievo per le

aziende italiane nella fase di proposizione di nuovi prodotti sui mercati emergenti.

È anche fondamentale una corretta gestione del diritto alla proprietà intellettuale. Questo non è soltanto uno strumento di protezione, ma costituisce un'opportunità per creare valore attraverso strategie di attrazione e fidelizzazione dei partner industriali, dalle fasi iniziali dei progetti di ricerca fino all'introduzione di nuovi prodotti nel mercato, quando gli investimenti richiesti sono spesso superiori a quelli necessari nella fase di ricerca e sviluppo. È quindi importante adattare le strategie di marketing delle proprietà intellettuali alle esigenze dell'industria, trasferendo brevetti e conoscenze a costi contenuti attraverso *royalty* sulla produzione industriale.

Le aziende a loro volta devono essere culturalmente in grado di *credere e investire* nell'innovazione, *cofinanziando* la ricerca pubblica e lo sviluppo di idee innovative selezionate in base a precise prospettive di commercializzazione, apportando il proprio contributo di conoscenza dei processi di produzione industriale e del mercato. È necessario rendersi conto che nel settore pubblico è già disponibile una parte sostanziale

le delle risorse (logistica, infrastrutture, personale e competenze) e degli investimenti necessari per la ricerca. Occorre soltanto fornire le risorse per far funzionare il sistema e una maggiore focalizzazione sugli obiettivi.

Instaurare quindi una giusta sinergia tra ricerca e impresa non implica necessariamente ingenti investimenti aggiuntivi, né pubblici né privati, ma piuttosto un'azione di recupero di efficienza e di valorizzazione di quanto è già disponibile, una maggiore attenzione al merito e alla dignità del ruolo, un precoce coinvolgimento dell'industria fin dalle prime fasi dei progetti di ricerca e nella stessa selezione delle linee da sviluppare, un salto di qualità culturale nel management della ricerca e delle aziende e una sorta di reciproca fidelizzazione tra industria e ricerca attraverso *joint ventures* orientate alla commercializzazione e alla esportazione dell'innovazione.

Questi sono gli ingredienti che hanno consentito, pur tra difficoltà operative ed organizzative, di percorrere in circa 10 anni il cammino che ha condotto da un'idea del Premio Nobel Carlo Rubbia allo sviluppo di una tecnologia in fase pre-commerciale.

## Il Progetto Solare Termodinamico dell'ENEA: un importante risultato scientifico e una opportunità per l'economia italiana

Mauro Vignolini  
Giorgio Simbolotti  
Alfredo Fontanella

con il contributo specialistico di:

Euro Cogliani, Tommaso Crescenzi, Antonio De Luca, Fabrizio Fabrizi, Walter Gaggioli, Giuseppe Giannuzzi, Domenico Mazzei, Adio Miliozzi, Enzo Metelli, Marco Montecchi, Giuseppe Napoli e Pietro Tarquini

ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

*Il Progetto Solare Termodinamico dell'ENEA è iniziato nel 2001 con l'obiettivo di sviluppare una soluzione innovativa di impianto solare termico a concentrazione. Esso è un esempio di ricerca applicata, con ricadute e benefici che vanno dall'introduzione di innovazione nel settore dell'energia, alla realizzazione di impianti dimostrativi industriali con il coinvolgimento dell'industria nazionale*

## The ENEA Solar Thermodynamic Project. An Important Scientific Result and an Opportunity for Italy's Economy

*The ENEA Solar Thermodynamic Project began in 2001 with a view to develop an innovative concentrating solar power facility. It is an example of applied research whose spin-offs and benefits include innovative solutions in the energy sector, and the setting-up of demonstration industrial plants involving national industries*

Il Progetto Solare Termodinamico dell'ENEA è iniziato nel 2001 con l'obiettivo di sviluppare un concetto innovativo di impianto solare termico a concentrazione per la generazione di energia elettrica e di portarlo in tempi brevi alla fase di dimostrazione industriale. Nell'anno in corso (2010), a Priolo Gargallo, in Sicilia, entrerà in servizio l'impianto Archimede (5 MW), realizzato da ENEL in collaborazione con ENEA e con la partecipazione dell'industria italiana. Si entra quindi nella fase conclusiva del progetto in cui la nuova tecnologia sarà collaudata in un impianto dimostrativo di tipo industriale. Tale fase è determinante per la validazione dei processi di produzione industriale dei componenti, per acquisire esperienza nell'esercizio di impianti di questo tipo e per una valutazione complessiva della fattibilità tecnico-economica della tecnologia.

In vista di tale fase conclusiva sembra utile una riflessione su ciò che questa esperienza ha già comportato e può ancora comportare per l'ENEA e per la ricerca italiana in termini di crescita culturale e opportunità commerciali.

Di seguito vengono anche illustrati i vantaggi tecnico-economici che la nuova tecnologia offre rispetto a soluzioni già disponibili sul mercato, i nuovi componenti e i relativi impianti sperimentali progettati e realizzati da ENEA, il coinvolgimento dell'industria italiana, gli sviluppi della tecnologia, l'impe-

gno profuso dai ricercatori ENEA, spesso tra difficoltà organizzative ed economiche, in circa 10 anni – un tempo limitato in relazione all'obiettivo del progetto.

I risultati e il *know-how* conseguiti da ENEA costituiscono oggi una fonte significativa di autofinanziamento che si fonda sull'uso commerciale dei brevetti, sulla progettazione di impianti dimostrativi in paesi emergenti, sulla qualificazione dei componenti industriali, sui servizi di consulenza, nonché sugli sviluppi che tale tecnologia può offrire in settori quali la cogenerazione, la dissalazione dell'acqua, l'estrazione di risorse petrolifere non convenzionali. Un'opportuna considerazione merita il processo di valorizzazione della proprietà intellettuale.

### L'innovazione introdotta da ENEA e il Progetto Archimede

L'ENEA ha introdotto una soluzione innovativa negli impianti solari a concentrazione a collettori parabolici lineari. Tale tecnologia si basa sulla concentrazione (mediante specchi) della radiazione solare su un tubo ricevitore (*figura 1*) al cui interno scorre un fluido termovettore che si riscalda fino a temperatura tale da produrre vapore ad alta pressione. Il vapore viene poi utilizzato in gruppi turbogeneratori per la produzione di elettricità come nelle tradizionali centrali termoelettriche. Si tratta di una tecnolo-



**Figura 1**  
Impianto solare a concentrazione a collettori parabolici lineari (*parabolic trough*)  
Fonte: foto ENEA



**Figura 2**  
Schema di insieme e fase realizzativa dell'impianto Archimede  
Fonte: elaborazione grafica ENEL-ENEA

Fonte: foto ENEA

primo piano

gia ben nota che sta ora affrontando la fase di sviluppo industriale in paesi quali Stati Uniti e Spagna e trova interesse in paesi in via di sviluppo, in particolare in aree desertiche con rilevante insolazione diretta. Negli impianti attualmente in esercizio o in costruzione il fluido termovettore è costituito da olio diatermico che opera alla temperatura massima di 390 °C. In alcuni impianti il fluido cede calore non solo all'acqua (per generare vapore) ma anche a dei sali fusi che hanno lo scopo di creare un sistema di accumulo termico per alimentare l'impianto nelle ore di ridotta insolazione. L'accumulo termico riveste notevole importanza in quanto consente di aumentare in modo significativo il fattore di utilizzazione dell'impianto dai valori tipici delle fonti rinnovabili intermittenti (15-30%) a valori più vicini a quelli degli impianti di elettrogenazione adibiti al servizio di base (oltre il 70%). Ciò naturalmente ha un impatto favorevole sul costo dell'elettricità e sulla operatività dell'impianto.

L'innovazione introdotta da ENEA nella tecnologia solare termodinamica consiste nell'utilizzo di sali fusi non solo per il sistema di accumulo termico ma anche come fluido termovettore. Ciò consente di superare i limiti imposti dall'olio diatermico e di elevare la temperatura di esercizio dell'impianto ed il salto termico del fluido termovettore ottenendo una serie di benefici. In particolare, un maggiore rendimento e la riduzione dei volumi richiesti per l'accumulo termico a parità di fattore di utilizzazione o, in alternativa, l'aumento del fattore di utilizzazione a parità di volume di accumulo. Un ulteriore van-

taggio è costituito dal fatto che, nella tecnologia ENEA, temperature e pressioni di esercizio del vapore prodotto sono uguali a quelle degli impianti termoelettrici tradizionali. Ciò consente di utilizzare per il ciclo vapore componenti tradizionali e di integrare meglio l'impianto solare all'interno di un impianto convenzionale.

Naturalmente l'incremento delle temperature e l'uso di sali fusi ha comportato la necessità di sviluppare una serie di componenti innovativi che riguardano il sistema di captazione dell'energia solare (il tubo ricevitore), il sistema di concentrazione (specchi), il sistema di accumulo termico, il sistema di circolazione dei sali fusi, il generatore di vapore alimentato dai sali fusi. I sali impiegati sono costituiti da una miscela di nitrato di sodio e nitrato di potassio, che si caratterizza per la stabilità allo stato liquido nell'intervallo di temperatura 230-600 °C, per la compatibilità con i materiali metallici dell'impianto e per la piena sostenibilità ambientale (gli stessi sali sono comunemente utilizzati in agricoltura come fertilizzanti). Anche la miscela di sali fusi costituisce oggetto di ricerca da parte dell'ENEA, con l'intento di individuare soluzioni con temperature di fusione più basse e migliorare le prestazioni dell'impianto.

L'ENEA ha sviluppato e qualificato in via sperimentale soluzioni originali per tutti gli aspetti innovativi della tecnologia. Tali soluzioni, trasferite successivamente ad aziende italiane per il relativo sviluppo industriale, trovano applicazione nell'impianto dimostrativo Archimede (figura 2), il primo a livello mondiale che utilizza sali fusi sia come fluido termovet-

tore che per l'accumulo termico, e che è in grado quindi di raggiungere temperature di esercizio di 550 °C. I principali dati tecnici dell'impianto Archimede sono riportati in *tabella 1*.

Nell'impianto Archimede confluiscono le competenze e i brevetti dell'ENEA e l'esperienza maturata in questi anni dall'industria italiana nella produzione industriale dei componenti innovativi. La collocazione geografica dell'impianto è stata scelta per i requisiti di insolazione del sito, per consentire l'integrazione del campo solare all'interno di un impianto a ciclo combinato ENEL del quale viene utilizzato il ciclo a vapore, ed in vista di applicazioni in paesi della sponda Sud del Mediterraneo, del Nord Africa e del Medio Oriente, anche nell'ambito di iniziative internazionali quali Desertec. L'impianto, la cui entrata in servizio è attesa per la metà del 2010, consentirà nella prima fase di acquisire esperienza con l'esercizio di circuiti a sali fusi di dimensioni industriali e di mettere a punto i componenti più innovativi ed i relativi processi. Nella seconda fase, l'impianto entrerà in produzione con l'obiettivo di dimostrare la fattibilità industriale della tecnologia.

### I vantaggi economici della tecnologia ENEA

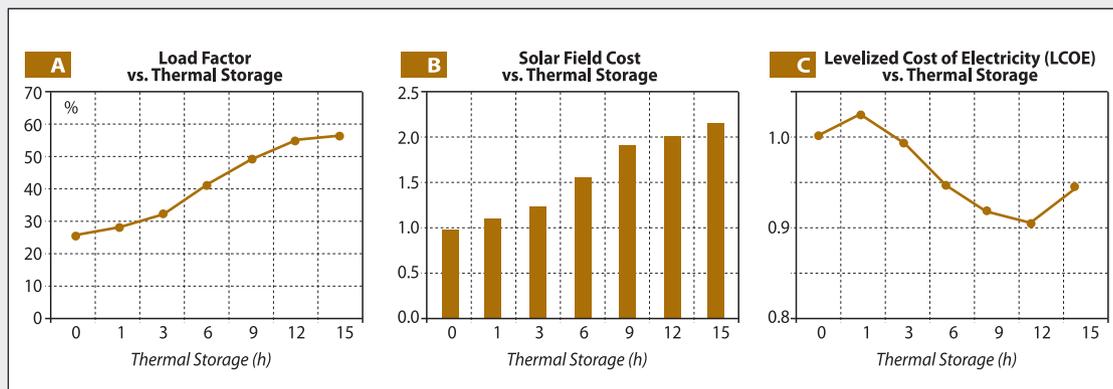
Le analisi economiche evidenziano i vantaggi della innovazione introdotta da ENEA rispetto alle tradizionali tecnologie degli impianti solari a concentrazione basate sull'uso di olio diatermico come fluido termovettore a temperature massime di eser-

cizio di 390 °C, con o senza accumulo termico. Naturalmente, l'obiettivo è la minimizzazione dei costi di generazione, tenendo conto dei costi di investimento, di esercizio, e delle modalità di funzionamento in relazione alla domanda. I costi di generazione sono stati valutati con procedure appositamente sviluppate che tengono conto della specificità dell'impianto e del sistema di accumulo termico. Una maggiore capacità del sistema di accumulo aumenta l'energia solare annua utilizzabile e il fattore di utilizzazione dell'impianto riducendo il costo medio di generazione e l'esigenza di fonti di energia integrative di *backup*. Tuttavia la capacità di accumulo incide significativamente sui costi di investimento che si riflettono a loro volta sui costi di elettro-generazione. È necessario quindi individuare un punto di ottimizzazione. Le analisi mostrano che in linea generale (*figura 3*) il punto di ottimizzazione si colloca intorno a valori di accumulo termico molto elevati (9-12 ore di accumulo) con fattori di utilizzazione significativamente superiori al 50%. In realtà, l'ottimizzazione economica è influenzata da vari fattori tra cui la taglia dell'impianto e la temperatura di esercizio e di accumulo. A titolo di esempio, la *figura 4* riporta il costo di produzione dell'energia elettrica in funzione della capacità di accumulo e della temperatura di esercizio per un impianto da 40 MWe. Per tale potenza, le valutazioni indicano che ad alta temperatura (550 °C), nonostante l'aggravio dei costi di investimento, un sistema di accumulo con capacità di 8-12 ore determina costi di generazio-

Tabella 1 – Parametri principali dell'impianto Archimede

Radiazione solare disponibile (DNI), kWh / (m <sup>2</sup> anno)	1.936
Superficie totale dei collettori, m <sup>2</sup>	30.580
Temperatura di funzionamento, °C	290-550
Capacità di accumulo termico, MWh	80
Potenza termica, MW	12
Potenza elettrica, MW	4,72
Rendimento netto globale, %	15,6
Produzione elettrica annuale, GWh/anno	9,2
Risparmio di energia primaria, tep	2.029
Emissioni CO <sub>2</sub> evitate, t	6.337

Fonte: ENEA, progetto preliminare Impianto Archimede

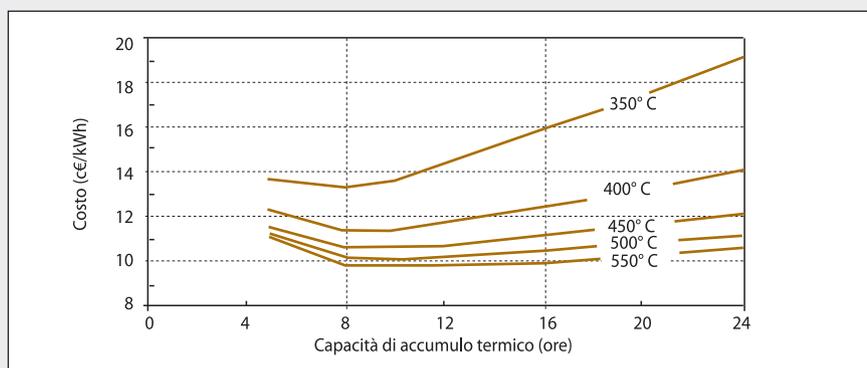


**Figura 3**  
Relazione indicativa dell'operatività dell'impianto (A), del costo del campo solare (B) e del costo di produzione dell'energia elettrica (C) al variare dell'accumulo termico  
Fonte: elaborazione ENEA

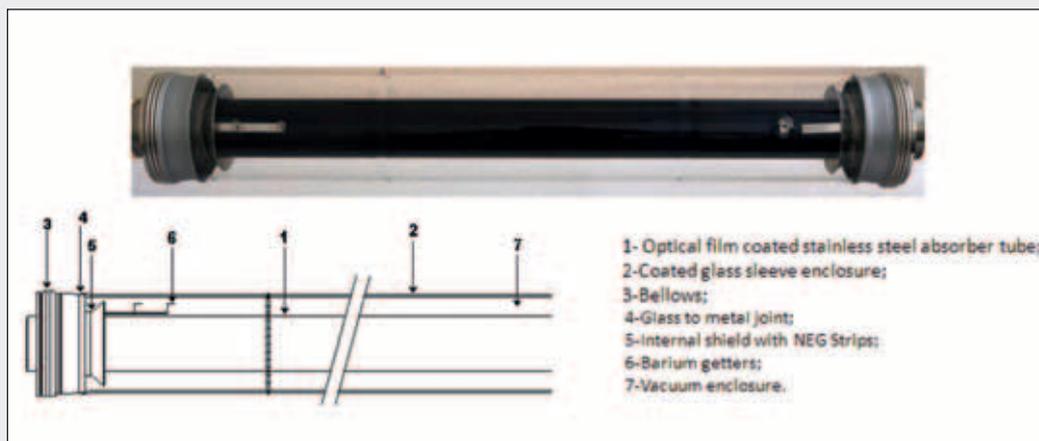
primo piano

ne ottimali in virtù del maggior numero di ore di esercizio dell'impianto e della maggiore energia prodotta. A bassa temperatura invece (350 °C) i vantaggi economici dell'accumulo termico sono piuttosto ridotti. Ciò evidenzia in termini quantitativi il vantaggio economico derivante dall'innovazione introdotta da ENEA. La metodologia di calcolo consente di valutare anche l'influenza di altri fattori, quali le caratteristiche di componenti speciali e i loro parametri di esercizio, l'integrazione con altre tecnologie energetiche, gli effetti economici della co-generazione, l'impatto di meccanismi di incentivazione sulla competitività della tecnologia. È in fase di sviluppo una versione commerciale della metodologia di analisi economica.

Naturalmente, l'analisi economica evidenzia anche che, allo stato attuale ed in termini assoluti, la tecnologia del solare termodinamico non risulta ancora commercialmente competitiva a causa dei costi di investimento piuttosto elevati e soprattutto valutati sulla base di costi di prototipo. La competitività economica va valutata sia rispetto agli attuali impianti solari a concentrazione (a olio diatermico, con o senza accumulo termico) sia, più in generale, rispetto ai tradizionali impianti di elettrogenazione. È chiaro che il raggiungimento della competitività economica rispetto ai primi è affidata a rapidi processi di *technology e industrial learning* nella fabbricazione su larga scala dei componenti innovativi richiesti nella tecnolo-



**Figura 4**  
Costo di generazione in funzione di accumulo e temperatura in un impianto da 40 MWe  
Fonte: elaborazione ENEA



**Figura 5**  
Tubo ricevitore, giunzione vetro metallo e giunto di compensazione termica  
Fonte: foto ENEA

gia ENEA. Il potenziale di abbattimento dei costi di tali componenti è elevato dal momento che il costo finale di elettrogenazione risulta determinato per circa il 15% dai costi di esercizio, per il 27% dai costi di investimento della parte convenzionale dell'impianto e per circa il 58% dal costo di investimento del campo solare. Rispetto agli impianti di elettrogenazione tradizionali, il raggiungimento della competitività è invece per ora affidato ai meccanismi di incentivazione delle fonti rinnovabili (ad es., *feed-in tariff*, certificati verdi, contributi sul costo di investimento). Assumendo strumenti di incentivazione pari a quelli attualmente in essere ed una remunerazione del capitale del 9%, analisi preliminari indicano tempi di ritorno dell'investimento intorno ai sette anni confrontabili con quelli di altre tecnologie rinnovabili e solari.

### Componenti e sottosistemi

Di seguito vengono illustrati brevemente i componenti innovativi dell'impianto sviluppati da ENEA in collaborazione con partner industriali. Successivamente vengono illustrati alcuni aspetti specifici di progettazione e gli impianti sperimentali realizzati per la prova e la qualificazione di componenti e sistemi.

### Tube ricevitore

Il tubo ricevitore (*figura 5*) è uno dei componenti fondamentali della tecnologia sviluppata da ENEA. È costituito da un tubo assorbitore d'acciaio coassiale ad un involucro esterno di vetro, all'interno del quale viene realizzato il vuoto ( $10^{-4}$  mbar). Un rivestimento di materiale cermet spettralmente selettivo, deposto mediante *sputtering* sulla superficie esterna del tubo d'acciaio, assicura il massimo assorbimento della radiazione solare (circa 95%) e la minima emissione di energia termica per irraggiamento (emissività 10% a 400 °C, 14% a 550 °C), consentendo così di raggiungere una temperatura massima della miscela di sali all'interno del tubo di 550 °C. Il *coating in cermet* ha una elevata stabilità chimico-fisica fino a temperature di esercizio del tubo d'acciaio di 580 °C.

Il tubo esterno in vetro ha la funzione di proteggere il cermet dal contatto con l'aria, di minimizzare lo scambio termico e massimizzare l'assorbimento di energia solare. Il collegamento tra il tubo d'acciaio e quello di vetro è realizzato con apposite giunzioni vetro-metallo a tenuta di vuoto e soffiotti per la compensazione delle dilatazioni termiche differenziali tra acciaio e vetro. Sebbene il processo di fabbricazione del tubo ricevitore sia già sviluppato a livello di produzione industriale, una continua ricerca

su materiali e tecnologie è volta a migliorare ulteriormente l'efficienza dell'assorbimento di calore (ottimizzazione del *coating* dell'acciaio e dei trattamenti antiriflesso del vetro) e l'affidabilità strutturale (miglioramento della giunzione vetro-metallo e del sistema di compensazione delle dilatazioni), e a ridurre i costi di produzione attraverso l'automazione dei processi e dei controlli, la qualificazione di laboratorio e sperimentale e l'elaborazione di specifiche per la produzione industriale. La *tabella 2* riassume le caratteristiche del tubo ricevitore ENEA. Rispetto ai *competitors* internazionali il tubo ha mostrato in tutte le prove finora effettuate prestazioni superiori a temperature di esercizio sensibilmen-

**Tabella 2 – Caratteristiche del tubo ricevitore ENEA**

Lunghezza	4.060 mm
Diametro tubo acciaio	70 mm
Diametro tubo vetro	125 mm
Trasmittanza vetro	96%
Assorbanza <i>cermet</i>	95%
Emissanza <i>cermet</i>	8% a 300 °C 10% a 400 °C 14% a 550 °C
Max temperatura fluido	550 °C
Vita media attesa	25 anni

Fonte: ENEA, progetto preliminare Impianto Archimede



**Figura 6**  
Montaggio e regolazione del concentratore parabolico lineare e del sistema oleodinamico di movimentazione  
Fonte: foto ENEA

te più alte di quelle della concorrenza. La tecnologia italiana si candida quindi a posizioni di *leadership* in ambito internazionale.

### Concentratore solare

Il concentratore solare ha la funzione di concentrare la radiazione solare diretta sul tubo ricevitore. Esso gioca un ruolo fondamentale nell'economia dell'impianto sia per l'incidenza sui costi che per le prestazioni. Il progetto sviluppato ten-

de a ridurre i costi attraverso la riduzione del numero di pezzi e dei pesi, la semplificazione dell'assemblaggio e delle regolazioni. Esso si basa su un *tubo di torsione* che si accoppia ad un sistema di precisione di centine e correnti per il posizionamento ed il supporto delle superfici riflettenti (specchi, *figura 6*). Le sue caratteristiche sono riassunte in *tabella 3*.

Per le superfici riflettenti, è stato sviluppato un nuovo concetto di "specchio sottile" (spessore <1 mm) su un supporto che conferisce rigidità-

**Tabella 3 – Principali caratteristiche del concentratore ENEA**

Efficienza di concentrazione <sup>1</sup>	> 80%
Errore di inseguimento <sup>2</sup>	< 7 mrad
Velocità massima del vento	37 m/s
Vita tecnica attesa	25 anni

1. Diametro 70 mm
2. Con vento di 7 m/s

Fonte: ENEA, progetto preliminare Impianto Archimede

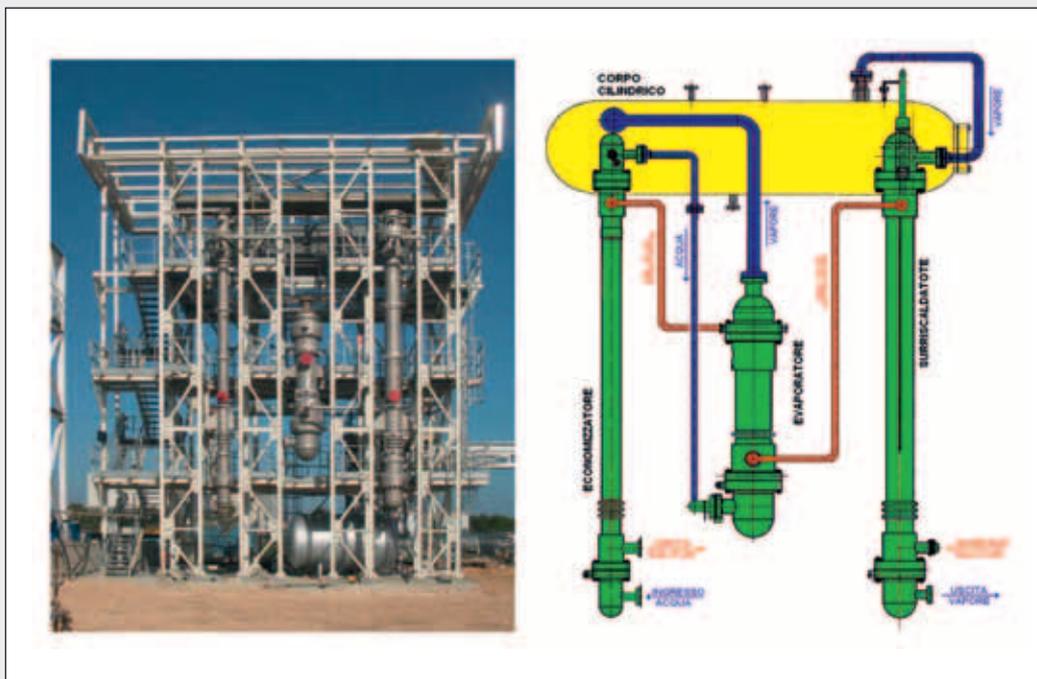
za e protezione. Tale concetto offre flessibilità ed elevata riflettanza (96%), superiore ai prodotti in commercio e fa uso di materiali avanzati con elevata stabilità dimensionale quali i compositi sandwich in vetroresina, oppure fogli stampabili SMC (*Sheet Moulding Compound*).

Un sistema di movimentazione oleodinamico orienta costantemente il collettore solare verso la posizione del sole. Esso permette una rotazione

di 240 °C, sia in fase di inseguimento solare a bassa velocità, sia per il posizionamento rapido di sicurezza.

### *Circuito a sali fusi, generatore di vapore e sistema di accumulo termico*

Miscele di sali fusi vengono utilizzate industrialmente come bagni statici per trattamenti metallurgici. L'impiego dei sali come fluido termovettore in un circuito di raffreddamento di elevata estensione (decine di chilometri) è una applicazione innovativa che ha richiesto lo sviluppo di opportuni componenti e sistemi, nonché procedure operative in grado di garantire la fluidità della miscela a fronte di dispersioni di calore. I sali infatti solidificano al di sotto di 230 °C. Le soluzioni sviluppate possono trovare applicazioni anche in altri settori quali la refrigerazione di reattori nucleari di nuova generazione.



**Figura 7**  
Generatore di vapore dell'impianto Archimede  
Fonte: foto ed elaborazione grafica ENEA

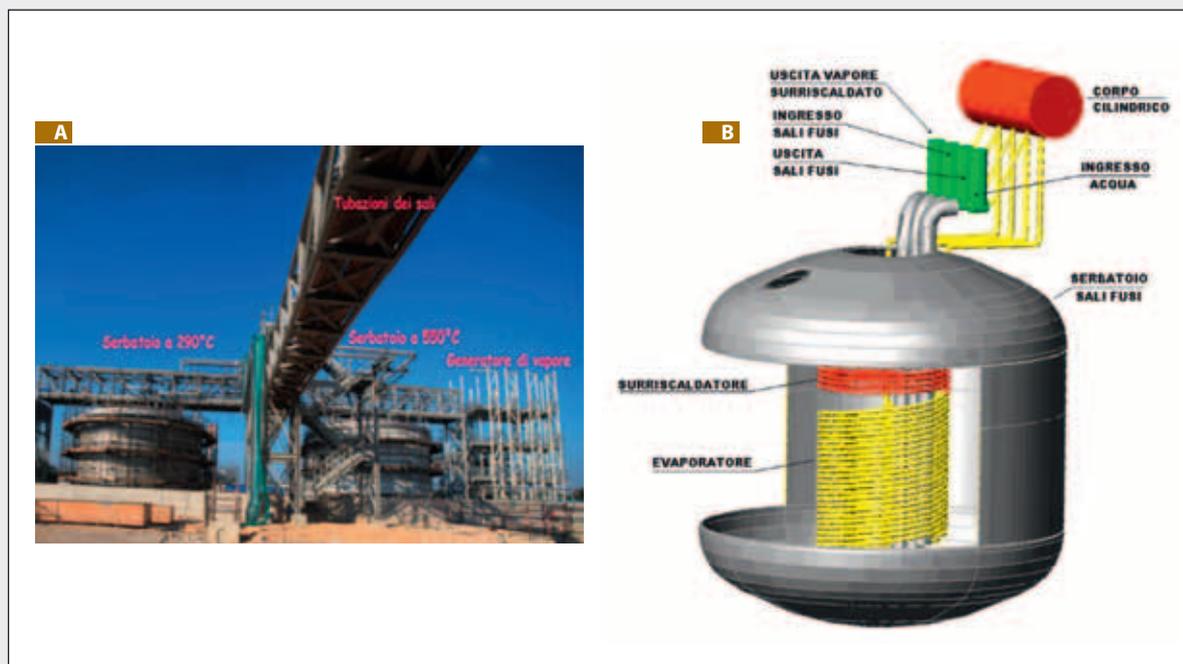
Tra i vari componenti, il generatore di vapore a sali fusi, in grado di produrre vapore surriscaldato a 110 bar, 540 °C, ed il sistema di accumulo termico sono quelli di maggior rilievo che presentano gli aspetti più innovativi. Sviluppato nell'ambito di una collaborazione tra ENEA ed ENEL, il generatore di vapore (figura 7) è costituito da tre sezioni separate (economizzatore, evaporatore e surriscaldatore) ed è dotato di riscaldatori ausiliari e relativi sistemi di controllo per evitare la solidificazione dei sali in fase di avviamento o fermata dell'impianto. La disposizione verticale favorisce il drenaggio dei sali nelle operazioni di fermata (manutenzione, fuori servizio).

Il sistema di accumulo termico ha importanza strategica e ha richiesto specifiche analisi di ottimizzazione. Oltre alla soluzione tradizionale adottata nell'impianto Archimede (figura 8a) e basata su due serbatoi cilindrici a diverse temperature, ENEA ha sviluppato soluzioni alternative nel tentativo di ridurre volumi e costi. Una di queste, attual-

mente in fase sperimentale, è basata su un unico serbatoio con generatore di vapore integrato (figura 8b). Essa consente una sostanziale riduzione del numero di componenti e di volumi dell'impianto, delle dispersioni termiche, con evidenti vantaggi in termini di costi di investimento, affidabilità ed economia di esercizio. Una seconda soluzione allo studio prevede serbatoi conici seminterrati in calcestruzzo ad alte prestazioni. Tale soluzione offre sicurezza strutturale, minori costi e la possibilità di usare un sistema di raffreddamento passivo.

### Il coinvolgimento dell'industria

L'industria italiana è stata coinvolta sin dalle prime fasi del progetto. Ciò ha permesso, insieme al trasferimento dei brevetti, un reciproco proficuo scambio di competenze tra ricerca e settore produttivo. La tabella 4 illustra il coinvolgimento industriale nello sviluppo dei vari componenti e sistemi.



**Figura 8**  
Serbatoi di accumulo termico dell'impianto Archimede (a) e soluzione progettuale alternativa con serbatoio unico e generatore di vapore integrato (b)  
Fonte: foto ed elaborazione grafica ENEA

**Tabella 4 – Partner dell'ENEA nello sviluppo dei vari componenti**

<b>Tubo ricevitore</b>	Angelantoni Industrie, Archimede Solar Energy, POLO, ITIV, Steroglass.
<b>Concentratore</b>	Ronda High Tech, Reflex, Menzolit, Polynt, FastGlass, Diplomatic, SIFA, DD S.r.l, Comes, BHT, Donati Group, Faini Telecommunication Systems, SIFA.
<b>Circuito a sali</b>	Astom Power.
<b>Generatore di vapore</b>	Ansaldo.
<b>Sistema di accumulo</b>	Italcementi S.p.A.
<b>Ingegneria</b>	Consorzio CSP, ENEL, Techint, Tolo Energia, Tecnimont.

Fonte: ENEA, Position Paper e aggiornamenti

### La partecipazione dell'industria: Archimede Solar Energy

Archimede Solar Energy (ASE) è una società del gruppo Angelantoni Industrie che dal 1932 sviluppa know-how e produce componenti e sistemi innovativi in settori che vanno dalla refrigerazione, ai simulatori spaziali per il collaudo dei satelliti, alla tecnologia dei coating e dei film sottili, alla tecnologia del solare a concentrazione. Il Gruppo è presente in 5 paesi (Italia, Francia, Germania, Cina, India) con 8 unità produttive, 750 dipendenti e un fatturato annuo di circa 140 milioni di euro.

Recentemente il Gruppo, attraverso la controllata ASE, ha assunto un ruolo di rilievo nella produzione, su brevetto ENEA, di tubi ricevitori per impianti solari a concentrazione per generazione di calore ed energia elettrica. Per l'importanza strategica di tale componente, nel 2009 la multinazionale Siemens ha acquisito il 28% di ASE.

I tubi ricevitori prodotti da ASE sono costituiti da tubi d'acciaio rivestiti esternamente in cermet, un materiale ad alto assorbimento della radiazione solare. Il tubo in acciaio è alloggiato all'interno di un tubo in vetro borosilicato sotto vuoto per minimizzare gli scambi termici e le dispersioni di calore. I due tubi (in acciaio e vetro) sono dotati di giunti di tenuta e di dilatazione per compensare le dilatazioni termiche differenziali dei due materiali alla temperatura di esercizio (550 °C).

Sviluppata nei laboratori dell'ENEA in collaborazione con industrie nazionali tra cui il gruppo Angelantoni, la tecnologia è giunta in circa 10 anni nella fase di dimostrazione industriale con il completamento dell'impianto Archimede, con potenza elettrica di 5 MW, presso la centrale ENEL di Priolo Gargallo (Siracusa). La tecnologia solare a concentrazione si candida a ricoprire un ruolo importante nella produzione energetica mondiale da fonti rinnovabili esenti da emissioni con costi di produzione che potranno in breve tempo essere competitivi con quelli delle fonti fossili.

Secondo proiezioni di Greenpeace, del consorzio industriale Estela e dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (Global CSP Outlook 2009), nelle condizioni più favorevoli il solare termodinamico potrebbe soddisfare il 7% della domanda di energia mondiale nel 2030 e il 25% nel 2050, assicurando nel 2050 oltre due milioni di posti di lavoro.

Archimede Solar Energy dal 2007 è leader nella produzione di tubi ricevitori ad alta temperatura (550 °C). La maggiore temperatura di esercizio della tecnologia ENEA consente di raggiungere prestazioni più elevate dell'impianto e contraddistingue il tubo ricevitore di ASE rispetto ai prodotti concorrenti che raggiungono-

Il percorso tipico di coinvolgimento industriale inizia con un bando pubblico attraverso cui l'ENEA chiede alla aziende nazionali di manifestare il proprio interesse a collaborare nei diversi settori tecnologici. Sulla base delle risposte ricevute, l'ENEA seleziona le imprese con maggiori capacità tecniche e maggiormente motivate ad investire in innovazione. Il rapporto di collaborazione inizia in forma di commessa da parte ENEA per la realizzazione di pezzi speciali o di lavora-

zioni particolari su proprie specifiche e nei casi di successo prosegue attraverso proposte progettuali da parte delle aziende, riguardanti il miglioramento del prodotto e la sua fabbricazione su scala industriale. Questa è la fase più delicata in cui si pongono le basi per lo sfruttamento commerciale dell'idea brevettuale, i cui proventi consentiranno all'ENEA di proseguire i suoi sviluppi scientifici e tecnologici e alle aziende di operare sui mercati in modo adeguato.

no temperatura non superiori a 400 °C. Tale vantaggio competitivo è dovuto all'impiego del coating in cermet attraverso sputtering con macchine a tecnologia a film sottile tipo Kenosistec.

Attualmente in fase di forte espansione, Archimede Solar Energy prevede la costruzione di un nuovo stabilimento e di una nuova sede nel polo dell'Energia Rinnovabile di Villa San Faustino (Perugia) (figura A). La prima pietra del nuovo stabilimento è stata simbolicamente posta dal Premio Nobel Carlo Rubbia nel gennaio 2010. Lo stabilimento sarà operativo nel 2011 con una capacità produttiva iniziale di 75.000 tubi ricevitori all'anno, fino a raggiungere i 140.000 tubi entro il 2012. Il polo di Villa San Faustino ospiterà in un edificio a emissioni zero (progetto Verducci - studio Maryfil Perugia, ingegnerizzazione Arup) anche la nuova sede di Archimede Solar Energy.

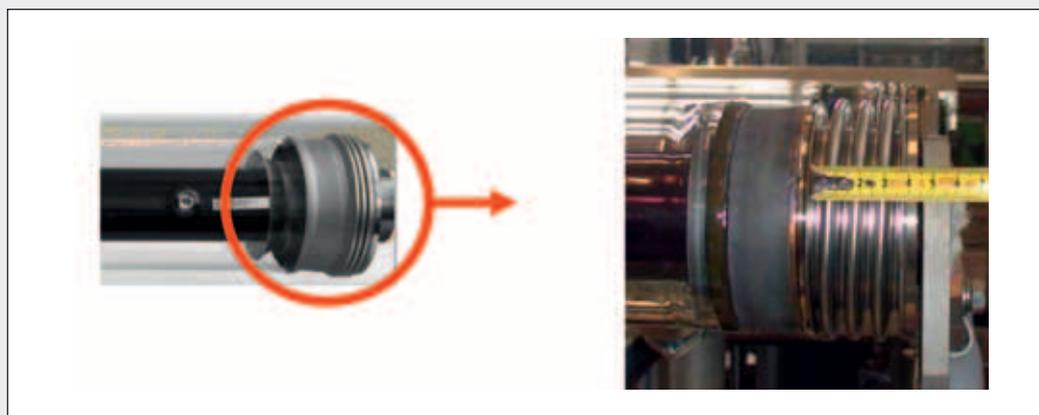


**Figura A**  
Sede di Archimede Solar Energy nel polo di Villa San Faustino  
Fonte: Archimede Solar Energy

## Aspetti di progettazione avanzata

Per la progettazione dei componenti e dell'impianto, l'ENEA ha costituito uno specifico laboratorio in cui sono disponibili competenze tecnico-scientifiche, strumenti di calcolo e metodi di progettazione avanzati, collegato ai laboratori e alle attrezzature per le verifiche sperimentali. Il team utilizza strumenti di progettazione commerciali (FLUENT, ANSYS, PRO-E) e avanzati (CAST3M), e partecipa allo sviluppo internazionale di tali strumenti nel caso di aspetti di progettazione particolari e innovativi. Il laboratorio esegue progettazione anche in altri settori che richiedono analogia complessità di analisi (tecnologie nucleari) e svolge un ruolo di formazione per specialisti in collaborazione con diverse università. Di seguito, per soddisfare l'interesse degli specialisti, vengono sinteticamente illustrate alcune delle problematiche affrontate nella progettazione e nella verifica dei componenti.

tempo ad alta temperatura. Affidabilità e prestazioni del tubo dipendono dall'integrità dell'involucro in vetro e del *coating* in *cermet*, e dalla tenuta del vuoto, elementi che possono essere compromessi dalle dilatazioni termiche differenziali tra materiali diversi. La progettazione delle giunzioni vetro acciaio e dei giunti di compensazione riveste quindi un ruolo determinante. La giunzione vetro-metallo con tenuta a vuoto è realizzata per compressione del vetro fuso su uno strato di ossidi misti (prevalentemente Cr e Fe) sulla superficie di un anello metallico con coefficiente di dilatazione termica prossimo a quello del vetro. L'utilizzo di materiali con coefficienti di dilatazione simili riduce le tensioni eliminando eventuali plasticizzazioni del metallo in fase di raffreddamento. Ciò permette anche di aumentare lo spessore dell'anello metallico, migliorandone la resistenza a corrosione. La *figura 10* mostra la riduzione delle tensioni residue nella zona di giunzione, nel caso della giun-



**Figura 9**  
Il tubo ricevitore, la giunzione vetro metallo e il giunto di compensazione termica  
Fonte: foto ENEA

Il tubo ricevitore (*figura 9*) è esposto asimmetricamente alla radiazione solare con un fattore di concentrazione pari a circa 84. Ciò comporta temperatura, deformazioni e sollecitazioni non uniformi con stati tensionali complessi all'interno di strutture che devono operare per lungo

tempo. La progettazione del tubo ricevitore deve anche assicurare che il tubo in esercizio non si discosti eccessivamente dalla posizione focale per garantire l'assorbimento del calore. Ciò è ottenuto mediante sistemi di posizio-

namento sensibili alle deformazioni termiche. Attualmente è in fase di sviluppo un processo di fabbricazione industriale del componente che automatizza tutti i controlli.

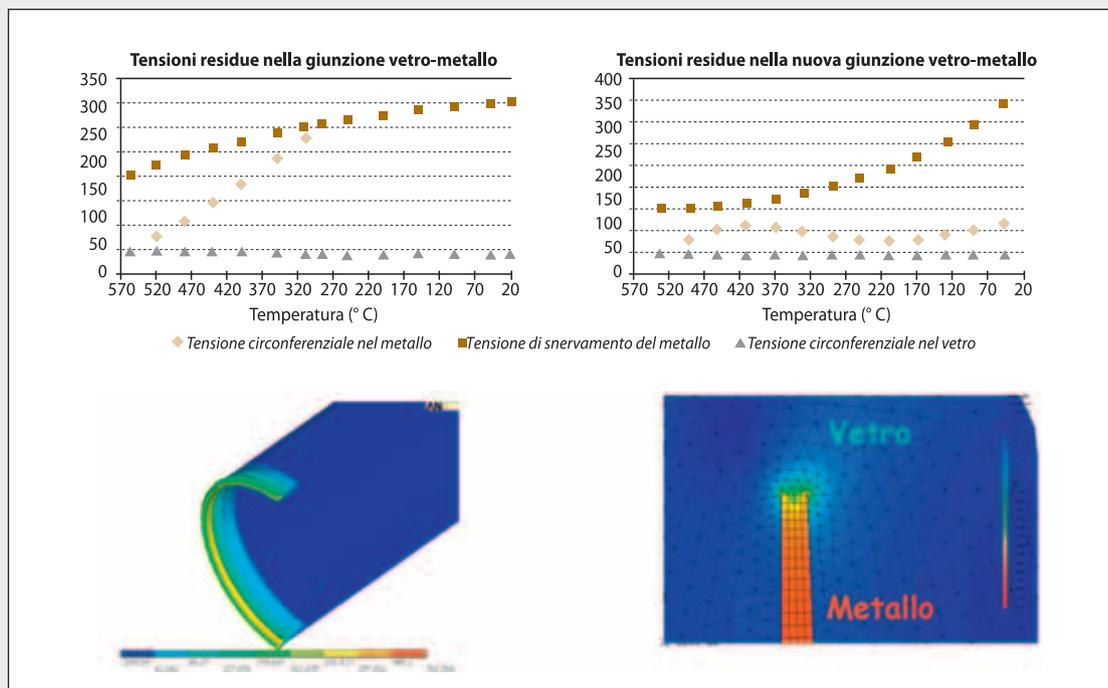
La progettazione avanzata ha consentito di individuare soluzioni realizzative a costo contenuto anche per i componenti e il *piping* del circuito a sali fusi, entrambi progettati a norma (Code Case N47, ASME, e ASME B31) e per i quali ENEA ha sviluppato apposite procedure in CAST3M. Analogamente, le superfici riflettenti esposte alle sollecitazioni del vento, in assenza di normativa italiana ed Eurocodici, hanno richiesto l'uso di simulazione fluidodinamica (FLUENT, ANSYS) per il calcolo dei coefficienti aerodinamici in associazione a verifiche sperimentali in galleria del vento su modelli in scala ridotta (figura 11). Analoghe tecniche sono state utilizzate per valutare la stabilità geometrica dei pannelli riflettenti rispetto ai carichi e ai rischi di deformazione in fase di fabbricazione.

In vista della produzione industriale del collettore la progettazione ha condotto all'integrazione della normativa nazionale e degli Eurocodici in base ad un metodo semiprobabilistico agli stati limite che risulta più flessibile e realistico rispetto al tradizionale metodo delle tensioni ammissibili.

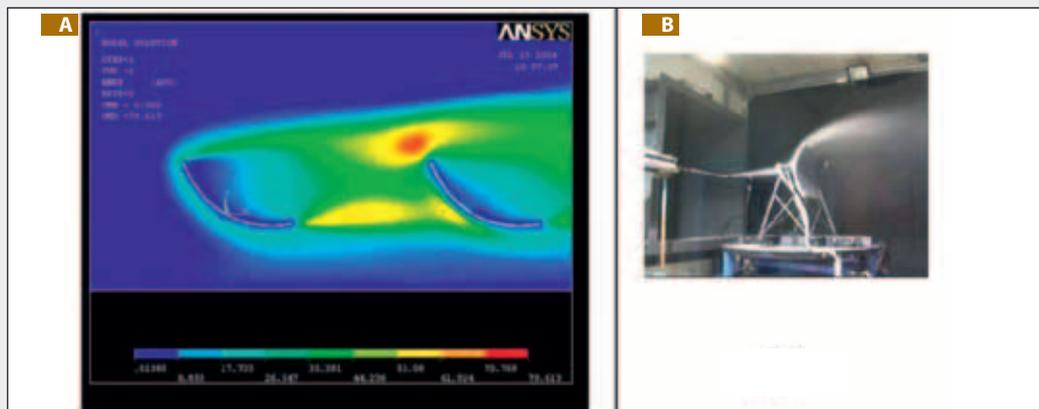
### Impianti sperimentali

Per lo sviluppo della tecnologia solare termodinamica l'ENEA ha realizzato diversi impianti sperimentali, di cui i principali sono il PCS e il MOSE. L'impianto PCS (figura 12), in esercizio dal 2004 presso i laboratori ENEA della Casaccia, è in grado di testare in condizioni reali di esercizio prototipi di collettore solare di lunghezza compresa fra 50 e 100 m.

L'impianto è composto da un circuito a sali fusi chiuso a circolazione continua con serbatoio di accumulo, caldaia elettrica, sezione di prova e



**Figura 10**  
Tensioni residue nella giunzione vetro-metallo prima e dopo gli interventi di miglioramento  
Fonte: elaborazione ENEA



**Figura 11**  
 Simulazioni dell'azione del vento sui collettori (A) e prove in galleria del vento (B)  
 Fonte: elaborazione ENEA



**Figura 12**  
 Impianto sperimentale PCS  
 Fonte: foto ENEA

aeroterma. La caldaia elettrica consente un rapido riscaldamento dei sali. La sezione di prova può ospitare due o più collettori in serie. Il calore solare assorbito dai sali viene smaltito attraverso un aeroterma, in quanto l'impianto di prova non prevede la conversione in energia elettrica. Lo schema di funzionamento dell'impianto è illustrato in *figura 13*.

L'impianto PCS ha consentito di eseguire gran parte delle prove e delle verifiche sperimentali sui tutti i componenti dell'impianto solare termodinamico e di acquisire un *know-how* esclusivo. Nel luglio 2009, i collettori solari hanno raggiunto la temperatura di esercizio di 550 °C

che costituisce un primato assoluto per questa tecnologia. Attualmente sono in corso test sperimentali di termo-fluidodinamica dei sali fusi. Viene anche provata una nuova configurazione dei collettori solari e viene caratterizzato un nuovo generatore di vapore e altri componenti dell'impianto.

L'impianto sperimentale MOSE (*figura 14*) è stato realizzato per la caratterizzazione chimico-fisica delle miscele di sali fusi. Esso consente di eseguire prove di corrosione dinamica di lunga durata sui materiali strutturali esposti ai sali fusi ad alta temperatura come pure prove statiche di corrosione e di fatica oligociclica. Recente-

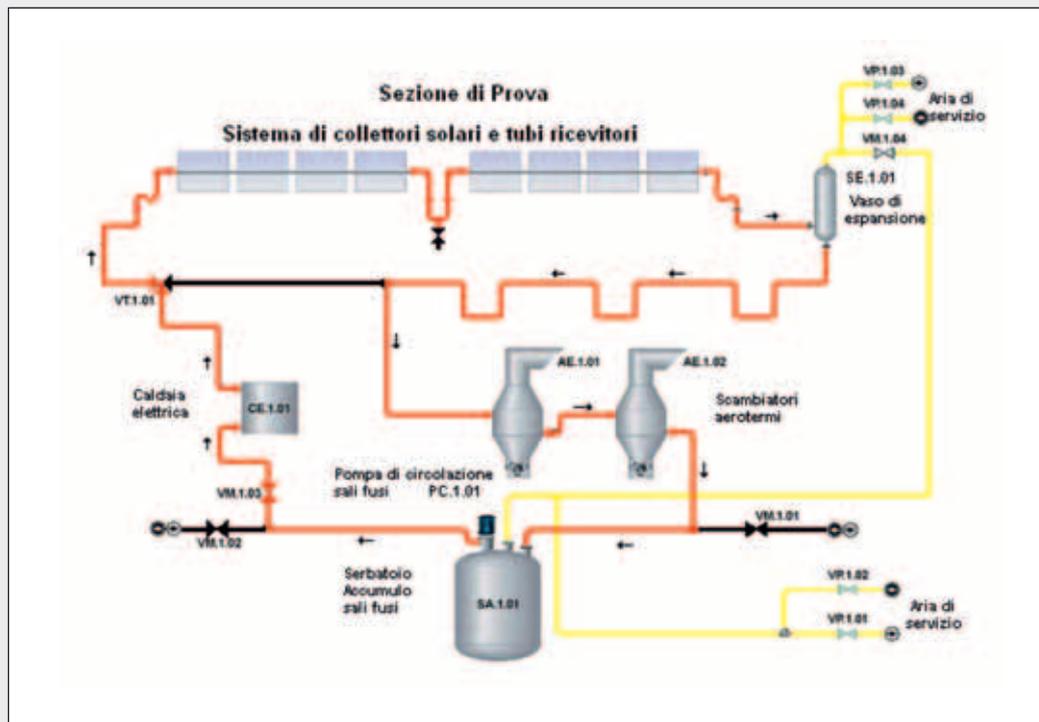


Figura 13  
Schema dell'impianto sperimentale PCS  
Fonte: elaborazione grafica ENEA



Figura 14  
Impianto MOSE  
Fonte: foto ed elaborazione grafica ENEA

mente sono state concluse prove di corrosione di lunga durata (8.000 ore). A breve l'impianto sarà dotato di una linea sperimentale per caratterizzare prototipi di reattori di *reforming* del gas metano alimentati con sali fusi alla temperatura di 550 °C.

Gli impianti PCS e MOSE sono prototipi originali interamente concepiti e ideati in ENEA. Oltre a permettere lo sviluppo di conoscenze nel settore del solare termodinamico, hanno consentito la creazione di un centro di formazione di ingegneria sperimentale nel settore delle alte temperature e dei sali fusi che ha avuto riconoscimenti in ambito nazionale e internazionale.

### Aspetti di ottica applicata ai concentratori solari

Gli aspetti di ottica dei concentratori solari sono stati curati dal laboratorio di ottica applicata dell'ENEA. Il laboratorio svolge, anche su commesse esterne, un servizio di caratterizzazione e controllo di qualità di concentratori solari attraverso due metodi innovativi e con strumenti originali sviluppati da ENEA: il profilometro ottico e il sistema di ispezione visiva. Il laboratorio offre inoltre consulenza per l'installazione e l'utilizzo di tali attrezzature negli stabilimenti di produzione. La tecnologia del profilometro ottico è stata applicata ai pannelli riflettenti dell'impianto Archimede. Attualmente sono in fase di ultimazione due nuovi strumenti per il controllo dell'allineamento del campo di specchi. Il primo sistema (*Visual Inspection System Field, sviluppato in collaborazione con l'azienda Marposs*) consente di verificare il mutuo allineamento ricevitore-parabola attraverso un sistema di ripresa video e di analisi delle immagini. Il secondo sistema (in collaborazione con Elettronica Giani) prevede l'ispezione aerea del campo specchi, mediante drone con telecamera e termocamera a bordo. Esso permette il controllo in esercizio del mutuo allineamento ricevitore-parabola, della tenuta a vuoto dei tubi ricevitori e altre verifiche di *routine* a costi contenuti. Entrambi i sistemi saran-

no impiegati per le verifiche dell'impianto Archimede e successivamente commercializzati. Ulteriori sviluppi in campo ottico riguardano la realizzazione di un profilometro ottico veloce (in collaborazione con Marposs) per la caratterizzazione ottica accurata dei pannelli riflettenti. Il lavoro di ricerca svolto dal laboratorio di ottica dell'ENEA ha consentito l'adozione in ambito industriale (Ronda High Tech) di vetri innovativi in grado di innalzare la riflettanza solare dello specchio dal 93,4% al 96,1%.

### Aspetti di Meteorologia

Il laboratorio di Meteorologia Applicata dell'ENEA è stato coinvolto nello sviluppo di sistemi di ottimizzazione della gestione dell'impianto solare termodinamico. L'accumulo termico infatti consente una produzione di energia stabile anche a fronte di insolazione variabile ma l'esigenza economica di limitare le dimensioni del sistema di accumulo richiede una gestione oculata dell'energia accumulata. La previsione delle condizioni meteorologiche consente quindi di ottimizzare la produzione e le attività di manutenzione che richiedono fermate dell'impianto. In questo ambito ENEA ha sviluppato un nuovo modello matematico per il calcolo della radiazione solare al suolo (Solarmet), il cui aspetto innovativo consiste nella produzione di mappe orarie della radiazione solare diretta. Solarmet rappresenta l'evoluzione del modello Heliosat, già derivato dagli studi francesi dell'Ecole des Mines. Il laboratorio dispone inoltre di una rete di centraline per la misura della radiazione solare in località di interesse per l'installazione di impianti solari (Casaccia, Montalto di Castro, Priolo Gargallo, Specchia e Trisaia). Le previsioni giornaliere della radiazione solare diretta a cura del laboratorio sono disponibili presso il sito <http://www.solaritaly.enea.it/Previsioni/previsioni.php>.

Il sistema di previsioni a breve farà parte degli algoritmi di controllo della centrale di Priolo ed è prevista successivamente la sua diffusione commerciale. Nella prospettiva di applicazione della

tecnologia solare termodinamica in zone desertiche del Nord Africa (es.: progetto DESERTEC) un aspetto di rilievo degli strumenti di previsione meteo è anche la tempestiva previsione delle tempeste di sabbia e le relative misure di salvaguardia degli impianti.

### Sviluppi tecnologici collegati alla tecnologia del solare termodinamico

Il sistema di accumulo e la disponibilità di sali fusi ad alta temperatura (550 °C) che caratterizzano gli impianti solari termodinamici di concezione ENEA permettono una serie di applicazioni dell'energia termica di origine solare in processi di cogenerazione e in vari processi industriali. Tra questi sono in fase di analisi, progettazione e/o prova impianti di dissalazione dell'acqua di mare da associare alla produzione di energia in zone desertiche, sistemi di condizionamento e refrigerazione, sistemi di *reforming* catalitico del gas naturale a temperatura intermedia per la produzione di idrogeno o di miscele idrogeno/metano, processi termochimici di *splitting* dell'acqua con produzione di idrogeno, processi di *recycling* di anidride solforosa da processi di combustione o industriali, come pure l'impiego di sali fusi ad alta capacità termica nell'estrazione di risorse petrolifere non convenzionali (*extra-heavy oil*, sabbie bituminose).

Ad esempio, l'associazione tra impianti solari di cogenerazione (elettricità e calore), impianti di condizionamento e dissalatori di acqua marina risulta di particolare interesse in paesi del Medio Oriente e della sponda Sud del Mediterraneo, ove concorrono condizioni di forte irraggiamento solare diretto (particolarmente favorevoli alla tecnologia del solare termodinamico) e notevole domanda di dissalazione cui attualmente viene fatto fronte mediante uso di fossili. Analogamente, il *reforming* del gas naturale – la tecnologia più diffusa di produzione di idrogeno per la raffinazione – richiede calore che viene attualmente fornito dalla combustione di circa 1/3 del gas naturale di processo. L'uso di

un processo catalitico brevettato da ENEA basato sull'uso di sali fusi a 550 °C consentirebbe di abbattere i consumi di gas metano con un equilibrio economico che si colloca intorno a valori corrispondenti a prezzi petroliferi dell'ordine di 120 \$ per barile.

### Conclusioni

Il progetto Solare Termodinamico dell'ENEA è un esempio di ricerca applicata con ricadute e benefici che vanno dall'introduzione di innovazione tecnologica nel settore strategico dell'energia, alla realizzazione in tempi brevi di impianti dimostrativi industriali con il coinvolgimento dell'industria nazionale attraverso il trasferimento di tecnologie e brevetti. Accanto ai risultati della ricerca si prefigurano significative opportunità economiche per l'industria. È appena il caso di ricordare l'interesse espresso da vari paesi del Nord Africa e del Medio Oriente, tra cui Egitto, Libia e Kuwait per la costruzione di impianti dimostrativi, così come vale la pena ricordare che la multinazionale Siemens è entrata recentemente nel capitale della società Archimede Solar Energy (Gruppo Angelantoni Industrie) che produce e commercializza il tubo ricevitore ad alta temperatura su brevetto e licenza ENEA, e che varie aziende quali Ronda High Tech, Reflex, Xeliox e Biosolar, hanno avviato attività produttive in questo settore, come pure importati società di ingegneria, tra cui Techint e Tecnimont, stanno sviluppando progetti applicativi. La prossima inaugurazione dell'impianto di Priolo Gargallo costituirà il banco di prova per la messa a punto industriale dei componenti e della tecnologia e un polo di attrazione per le aziende italiane che hanno partecipato al progetto. Il progetto Solare Termodinamico costituisce quindi un esempio di come la ricerca possa contribuire fattivamente e in tempi brevi al rilancio economico del Paese. Naturalmente, una maggiore attenzione alle necessità della ricerca ed un maggiore supporto da parte del decisore politico consentirebbero di replicare più facilmente e rendere sistematica tale positiva esperienza.

## Attività di ricerca sui coating spettralmente selettivi per tubi ricevitori

Alessandro Antonaia  
Salvatore Esposito  
Antonio Guglielmo

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici

*La tecnologia solare a concentrazione dell'ENEA prevede l'utilizzo di sali fusi come fluido termovettore, con temperature di esercizio ben più alte rispetto ad impianti operanti con olio diatermico. Tali temperature hanno spinto l'ENEA a sviluppare una tecnologia originale per i tubi ricevitori che, per prestazioni e qualità, sono fra i componenti più innovativi e contribuiscono a migliorare il rendimento dell'intero impianto*

### Research on Spectrally Selective Coatings for the Receiver Tubes

*The ENEA concentrating solar power technology makes use of molten salts as heat transfer fluid, with operating temperatures far higher than those of diathermic oil plants. Such high temperatures induced ENEA to develop an original technology for the receiver tube.*

*Its performance and quality make it the most innovative component allowing to increase the performance of the whole plant*

A partire dal 2001, nell'ambito del Progetto Solare Termodinamico, l'ENEA ha sviluppato le tecnologie per realizzare un impianto solare a concentrazione per elettrogenazione di tipo *parabolic through* con accumulo termico ad alta temperatura. Il progetto infatti prevede l'utilizzo di sali fusi come fluido termovettore, con temperature di esercizio ben più alte rispetto ad impianti operanti con olio diatermico (550 °C contro 400 °C). Le alte temperature hanno spinto l'ENEA a sviluppare una tecnologia originale per i tubi ricevitori, dato che il mercato non offriva prodotti adeguati. Il tubo ricevitore è quindi fra i componenti più innovativi della tecnologia sviluppata da ENEA. Le prestazioni e la qualità di questo componente contribuiscono a migliorare il rendimento dell'impianto.

Un elemento di importanza fondamentale per il tubo ricevitore è costituito dal rivestimento spettralmente selettivo a base di stratificazioni a film sottili di tipo *cermet* (materiali compositi ceramico-metallici nei quali *cluster* metallici sono dispersi in una matrice ceramica) depositato con tecniche di *sputtering*<sup>1</sup> sul tubo assorbitore di acciaio. Da tale *coating* dipendono fortemente prestazioni quali l'efficienza fototermica di conversione della radiazione solare in calore. In altre parole, la qualità del *coating* condiziona il rendimento complessivo dell'impianto solare termodinamico. Al *coating* non si richiede soltanto una elevata efficienza fototermica (alta assorbanza solare e bassa emissivi-

tà nell'infrarosso termico) nell'intervallo di temperatura di funzionamento (300-580 °C) ma stabilità chimica e strutturale nelle condizioni di esercizio.

Per sviluppare *coating* con prestazioni adeguate, un apposito gruppo di lavoro istituito presso il Centro Ricerche ENEA di Portici ha condotto un'intensa attività di ricerca su materiali e processi per rivestimenti spettralmente selettivi a base di *cermet*. Le attività di ricerca hanno dato luogo ad una serie di brevetti riguardanti sia la composizione del *coating* che le tecniche di deposizione, e allo sviluppo di competenze di livello internazionale nel settore dei film sottili e nell'industrializzazione di processi e tecnologie. Il gruppo si avvale di una serie di apparecchiature per la fabbricazione dei materiali a film sottili (sistema di *sputtering* MRC 643 a 3 catodi operanti in DC/DC, impulsivo/DC impulsivo bipolare, RF ed in modalità reattiva controllata, anche in configurazione *co-sputtering*), per i test termici su detti materiali (forni e camere climatiche per prove di *annealing*<sup>2</sup> ad alta temperatura in atmosfera controllata, in vuoto, in aria ed in ambiente umido) e per la relativa caratterizzazione ottica, chimica, strutturale (spettrofotometri UV-VIS-NIR ed infrarosso, RAMAN, ellissometro, profilometro, emissometro per misure ad alta temperatura, SEM, AFM, GDOES, XRD). Per la messa a punto delle stratificazioni, il gruppo si avvale inoltre di programmi di simulazione ottica commerciali (McLeod) o appositamente sviluppati, men-

1. *Sputtering*: tecnica di fabbricazione di materiali in forma di film sottili, realizzata in impianti da vuoto, nella quale si ha emissione di atomi, ioni o frammenti molecolari da un materiale solido detto *target* (bersaglio) bombardato con un fascio di particelle energetiche (generalmente ioni); il materiale espulso dal *target* si deposita su un substrato (oggetto da ricoprire), disposto di fronte al *target*, realizzando il film sottile.
2. *Annealing*: riscaldamento, trattamento termico.

tre per l'ideazione e la progettazione preliminare degli impianti da vuoto, in particolare di tipo *sputtering*, sono utilizzati alcuni fra i più noti software commerciali quali AutoCAD, Inventor e Pro-Engineer. Il personale del gruppo svolge anche attività di formazione di nuove leve di specialisti.

In una prima fase dell'attività di ricerca, i processi di fabbricazione del *coating* si sono basati su tecniche di *co-sputtering* DC/RF. In particolare la componente metallica del *cermet* veniva depositata mediante *sputtering* DC a partire da target metallici, mentre quella ceramica mediante processi condotti in radiofrequenza a partire da target ceramici.

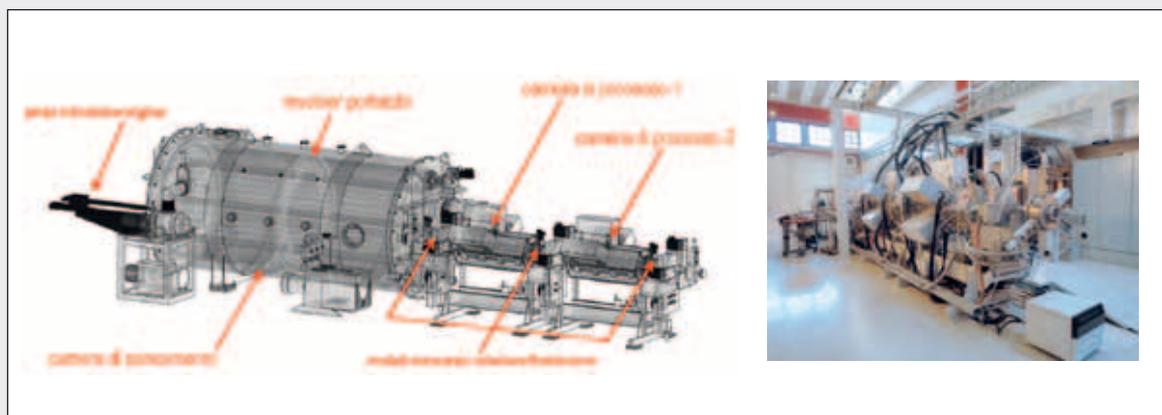
Le stratificazioni selettive innovative messe a punto ed ottimizzate in questa fase prevedevano l'impiego in qualità di riflettore IR (strato inferiore del *coating*) di un metallo che, oltre ad avere alta riflettività nell'IR, risultasse altamente stabile e poco soggetto alla formazione di ossidi volatili ad alta temperatura in presenza di aria (parziale perdita di vuoto nell'intercapedine del tubo ricevitore) rispetto ai materiali già adoperati dai fornitori di tubi ricevitori presenti sul mercato. Per quanto riguarda gli strati assorbitori, questi erano a base di strati

*cermet* di tipo metallo-ossido a contenuto metallico decrescente verso l'esterno. Lo strato superiore era costituito da materiale ceramico antiriflesso.

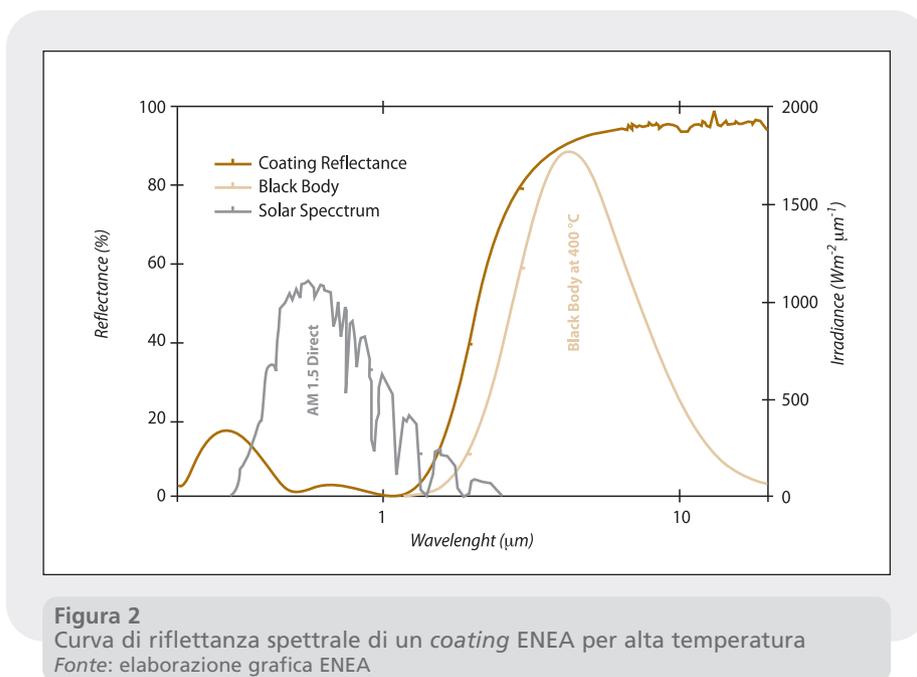
È risultato fin da subito chiaro che lo sviluppo e la messa a punto finale di processi efficaci per la fabbricazione di *coating* solari di alta qualità era strettamente interconnessa alla disponibilità di impianti di deposizione di tipo *sputtering* "dedicati" alla particolare applicazione. Per tale motivo il gruppo di Portici ha maturato non solo le competenze nella messa a punto di stratificazioni innovative ma anche nella progettazione di impianti di *sputtering* ideati ad hoc per il deposito di *coating* di alta qualità su substrati tubolari.

In tale ottica, per testare le soluzioni ideate su substrati di dimensioni reali, è stato progettato e realizzato un impianto pilota di *sputtering* denominato "ENE-1". L'impianto è stato successivamente ceduto (febbraio 2008) alla società Archimede Solar Energy (ASE) del Gruppo Angelantoni Industrie nell'ambito di un "Accordo Quadro" che prevedeva, fra l'altro, l'utilizzo oneroso e non esclusivo dei brevetti ENEA.

ENE-1 è una macchina industriale per *sputte-*



**Figura 1**  
Layout generale ed immagine dell'impianto di *sputtering* ENEA-1  
Fonte: elaborazione grafica e foto ENEA



*ring* di tipo prototipale in grado di depositare film multistrato su tubi di acciaio inossidabile (diam. 70 mm, lunghezza circa 4 m). Si basa su un processo di tipo *cosputtering* DC/RF ad elevata densità di potenza che garantisce un'alta qualità del materiale depositato e permette una produzione industriale di media dimensione che risponde agli standard di qualità richiesti. La *figura 1* mostra uno schema della macchina e l'impianto installato presso il Centro Ricerche di Portici.

Il *coating* dei tubi ricevitori prodotti dalla società Archimede Solar Energy (su brevetto ENEA con l'impianto ENEA-1) presenta valori di assorbanza nello spettro solare superiore al 94%, ed una emissività minore dell'11% a 400 °C e del 15% a 580 °C. Per le sue prestazioni foto-termiche e di stabilità chimico-strutturale sia in aria che in vuoto, esso è considerato il riferimento a livello mondiale per tubi ricevitori operanti a temperature superiori a 500 °C. L'alta stabilità in aria ha aperto nuove prospettive di applicazione per l'industria. In particolare, il tubo ricevitore potrebbe essere adoperato in im-

pianti con concentratori di tipo Fresnel che prevedono l'utilizzo "in aria" di tubi privi dell'involucro in vetro per la generazione diretta di vapore (*Direct Steam Generation, DSG*) a circa 300 °C. Il tubo ENEA risulterebbe l'unico presente sul mercato idoneo per tale uso. In *figura 2* è riportata, a titolo di esempio, la curva di riflettanza spettrale di un *coating* commerciale ENEA ottimizzato per l'alta temperatura.

La validità dei risultati raggiunti e delle soluzioni adottate per il ricevitore ENEA ha spinto la multinazionale Siemens ad acquisire il 28% della società Archimede Solar Energy che commercializza il prodotto su licenza ENEA. Nel gennaio del 2009 tale società, con il supporto dell'ENEA, ha completato la fornitura dei circa 1.300 tubi ricevitori per l'impianto dimostrativo Archimede in costruzione a Priolo Gargallo, di proprietà ENEL. Tale fornitura ha segnato il passaggio ad una produzione di tipo industriale. È chiaro infatti che l'alto livello tecnologico deve coniugarsi con costi di fabbricazione ed efficienza di produzione tali da rendere competitivo il prodotto.

L'interesse industriale ha stimolato i ricercatori del Centro Ricerche di Portici non solo a continuare intensamente l'attività di ricerca su *coating* sempre più performanti ma anche a sviluppare soluzioni impiantistiche "dedicate" in cui la qualità del *coating* si abbina a capacità produttiva e costi sempre più contenuti. Tali obiettivi sono conseguibili operando su tre fronti:

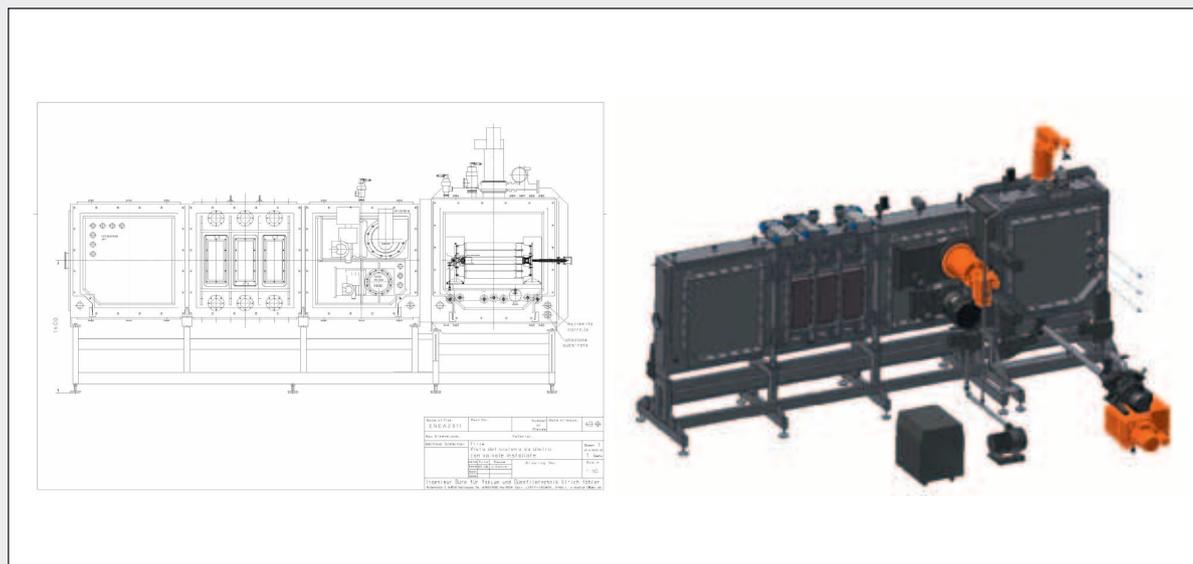
1. sviluppo di nuovi materiali per *coating* con prestazioni migliorate ottenibili mediante processi di *sputtering* veloci, con ampio spettro di applicazioni e mercati potenzialmente più vasti;
2. messa a punto di processi di *sputtering* innovativi ad alta produttività, con caratteristiche di ripetibilità, uniformità e facilità di applicazione su larga scala ovvero, alla fattispecie, uniformità sui 4 metri di lunghezza del substrato tubolare, facilmente implementabili su impianti industriali di grandi dimensioni;
3. ideazione di impianti di *sputtering* innovativi, anche di dimensioni da laboratorio ma scalabili a dimensioni di interesse industriale, con elevata qualità, produttività e costi ridotti.

Nel settore dei materiali, le attività in corso si concentrano su un *coating* solare ENEA di seconda generazione, basato su un ulteriore brevetto ENEA depositato nel 2005 ("doppio nitruro"). I nuovi materiali promettono caratteristiche superiori a quelle dei prodotti già sviluppati (ivi compresi il *coating* ENEA attualmente in produzione mediante impianto ENEA-1) sia in termini di efficienza foto-termica che di stabilità termo-meccanica e chimico-strutturale ad alta temperatura, sia in aria che in vuoto. Le 'ricette' innovative in via di sviluppo prevedono un riflettore IR costituito dallo stesso metallo del *coating* di prima generazione, un *cermet* di tipo "doppio nitruro" e due antiriflessi in grado di effettuare un migliore *matching* ottico con l'aria. Per velocizzare il processo produttivo e/o diminuire le dimensioni

dell'impianto si valuta la possibilità di rinunciare al doppio antiriflesso.

La stabilità dei *coating* viene verificata sottoponendo dei campioni a cicli di *annealing* ad alta temperatura in aria, in vuoto e in ambiente umido. Vengono condotte misure spettrofotometriche per verificare il degrado delle proprietà ottiche e test di adesione. Indagini non distruttive (microscopia ottica, spettroscopia FTIR, Raman, RX, test di conducibilità elettrica) consentono di verificare i meccanismi di degrado termico dei *coating*. Ove la sperimentazione dimostrasse la validità del brevetto in termini di incrementata stabilità in aria rispetto al già eccellente risultato dei *coating* di prima generazione, la tecnologia ENEA basata su *cermet* doppio nitruro sarebbe applicabile con grande affidabilità anche in impianti con concentratori di tipo *fresnel*.

Per ottenere un prodotto versatile in grado di coprire un ampio spettro di applicazioni, è stato anche intrapreso un filone di ricerca per la messa a punto di barriere alla diffusione dell'idrogeno negli acciai. Ciò è fondamentale ove si voglia usare il tubo ricevitore in impianti con olio diatermico come termovettore (la tipologia di impianti oggi più diffusa). Tale olio, sebbene stabilizzato, a temperature di esercizio di circa 400 °C dà luogo a processi di degradazione termica il cui prodotto è appunto idrogeno. L'idrogeno, che ha forti capacità di permeazione dell'acciaio, può alterare le condizioni di vuoto spinto nel tubo ricevitore ed è in grado, anche in presenza di basse pressioni parziali, di determinare una riduzione dell'efficienza del tubo a causa della sua elevata conducibilità termica. La soluzione del problema proposta da ENEA è affidata a barriere anti-permeazione depositate sulla superficie interna del tubo di acciaio del ricevitore mediante processi a basso costo integrabili nella filiera produttiva del tubo ricevitore. Nella fabbricazione del *coating* spettralmente selettivo mediante *sputtering*, la realizzazione



**Figura 3**  
 Impianto ENEA-2: complessivo del progetto preliminare e modellazione 3D del progetto esecutivo  
 Fonte: ENEA

del componente ceramico è importante sia per la qualità del materiale che per la velocità di deposizione e per il costo. Le tecnologie di *sputtering* non reattive (*sputtering Magnetron RF*) su cui si è concentrata la ricerca ENEA nella prima fase di sviluppo, consentono eccellenti prestazioni foto-termiche, ma velocità di deposizione ridotte. Inoltre i costi delle macchine di *sputtering* operanti in radiofrequenza sono piuttosto sostenuti. Lo *sputtering* reattivo a partire da target metallici in gas reattivo (ossigeno per la fabbricazione di ossidi, azoto per i nitrucci) promette elevata velocità di deposizione a parità di qualità del prodotto, a vantaggio della produttività e dei costi. Tuttavia, esso risulta più difficilmente regolabile, richiede accurata messa a punto ed impianti ad hoc.

Il brevetto ENEA "doppio nitrucci" è stato sviluppato proprio per poter ottenere prodotti di qualità elevata con processi di *sputtering* reattivo innovativi più semplici e controllabili mediante *co-sputtering* reattivo a partire da due target me-

tallici. Per testare la validità dei processi ideati e per mettere a punto le ricette di deposizione delle nuove stratificazioni a film sottili è stato ideato e progettato un impianto prototipo per *sputtering* reattivo. L'impianto (ENEA-2) è attualmente in fase di costruzione e sarà installato presso il Centro Ricerche di Portici (figura 3).

Esso opera 'in scansione': il tubo viene fatto trascinare e ruotare davanti a 6 catodi disposti verticalmente, in gruppi da 3, da entrambe le parti del substrato. Il progetto del dispositivo, per ora con dimensioni da laboratorio, offre flessibilità e scalabilità alla produzione industriale. Un apparato di dimensioni industriali sarebbe in grado di produrre 50.000÷60.000 tubi/anno a costi competitivi, soddisfacendo i requisiti tecnici richiesti. Il *coating* di seconda generazione sviluppato con l'ausilio dell'impianto ENEA-2 potrebbe essere messo in produzione da Archimede Solar Energy che sta realizzando il nuovo impianto di *sputtering* reattivo sulla base delle specifiche tecniche fornite da ENEA.

## Storia del vapore e dell'elettricità dal calore del sole con specchi piani o quasi piani: possibilità esplorate dagli scienziati italiani sin dall'Ottocento

Cesare Silvi

Gruppo per la storia dell'energia solare (GSES) e Comitato Nazionale "La Storia dell'Energia Solare" (CONASES)<sup>1</sup>

*Negli ultimi due secoli matematici, fisici, ingegneri e studiosi italiani hanno ricercato e sperimentato come produrre dal calore del sole vapore ed elettricità utilizzando specchi piani o quasi piani. Le invenzioni italiane sono oggi applicate in moderni impianti solari termodinamici in costruzione nel mondo*

## History of Steam and Electricity Generation from Solar Heat by using Flat or almost Flat Mirrors: Research by Italian Scientists since the 1800s

*Over the last two centuries Italian mathematicians, physicists, engineers and scientists have been researching and experimenting with steam and electricity generation from solar heat by using flat or almost flat mirrors. Today, Italian inventions are applied in modern solar thermodynamic power plants under construction throughout the world*

1. Il GSES è un'Organizzazione di Volontariato (OdV) senza fini di lucro, considerata ONLUS (Art. 10 Comma 8 D.lgs. 412/97 n. 460), iscritta nel registro della Regione Lazio, sezione Cultura. Costituito nel 2004 per iniziativa di esperti e studiosi di varie discipline, soci di accademie e società scientifiche, ha come scopo quello di:
  - promuovere lo studio e la conoscenza della storia dell'uso dell'energia solare nelle sue forme dirette (radiazione diretta e diffusa) e indirette (delle correnti di acqua e aria, delle foreste e altre biomasse) con finalità di carattere sociale, civile e culturale;
  - promuovere una maggiore consapevolezza sul funzionamento della Terra nonché sull'uso delle sue risorse naturali rinnovabili ai fini dello sviluppo umano e socio-economico.

Il CONASES è un Comitato temporaneo, istituito, su proposta del GSES, con decreto del Ministero per i Beni e le Attività Culturali del 27 aprile 2006, formalmente insediato il 24 luglio 2006. Sarà operativo fino al 31 dicembre 2011.

## Il calore del sole

Il calore del sole, quello che ci arriva ogni giorno, è stato il protagonista di tutte le civiltà umane. L'energia solare rinnovabile, immagazzinata grazie all'intelligente meccanismo della fotosintesi clorofilliana nelle foreste e altre biomasse, ha consentito all'uomo, con la scoperta del fuoco, di riscaldare e illuminare le notti buie e fredde, di cuocere i mattoni, di forgiare i metalli e fornire l'energia per azionare tante altre nostre attività, per millenni e millenni.

La più rivoluzionaria invenzione solare dell'antichità, quella del vetro piano per finestre nella Roma imperiale del I sec. d.C., integrata funzionalmente ed esteticamente negli edifici di tutto il mondo, è stata per centinaia di anni, e lo è tuttora, la principale tecnologia per catturare la luce e il calore del sole per il comfort luminoso e termico dei nostri ambienti di vita e di lavoro.

Tuttavia, negli ultimi 200 anni il ruolo del calore rinnovabile del sole è stato oscurato dal potere dominante del calore prodotto con carbone, petrolio e gas (o fonti energetiche solari fossili), e più recentemente di quello prodotto con l'energia nucleare. Con queste fonti è possibile produrre calore nelle quantità, ma soprattutto con le qualità desiderate in tutte le stagioni e in tutte le ore del giorno, alle basse (<300 °C), medie (300÷500 °C) e alte temperature (> 500 °C): le medie e le alte per alimentare i più avanzati processi industriali, a cominciare da quelli per la produzione di vapore ed elettricità. Con il vapore possiamo azionare una turbina che mette in moto a sua volta un generatore di energia elettrica. Con l'energia elettrica possiamo illuminare artificialmente gli ambienti di lavoro e di vita di giorno e di notte, azionare i motori delle fabbriche e dei treni, far funzionare i nostri elettrodomestici e i nostri computer.

Questi successi nell'uso delle fonti fossili e nucleari hanno finito per farci dimenticare quasi del

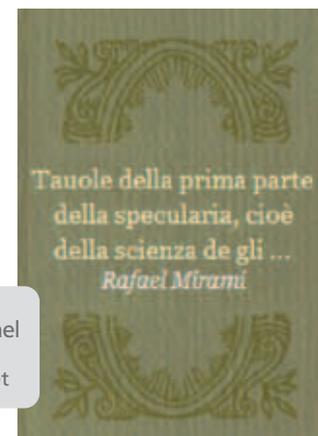
tutto l'importanza che potrebbe avere il calore rinnovabile del sole anche nelle nostre società industrialmente e tecnologicamente avanzate.

## Gli specchi e il sole, da Archimede al terzo millennio

La leggenda degli specchi ustori di Archimede (287-212 a.C.) ha alimentato l'interesse di scienziati di tutte le epoche ad indagare su come concentrare e utilizzare il calore del sole. Si tratta, per l'appunto, di una leggenda, o c'è qualcosa di verosimile nel racconto della difesa di Siracusa dall'assedio delle navi romane del console Marcello messa in atto da Archimede nel 212 a.C.?

Per rispondere a questa domanda si sono mobilitate generazioni e generazioni di matematici e fisici. Nel medioevo la cultura araba contribuì alla diffusione ed al perfezionamento degli studi dell'ottica geometrica del mondo classico greco riferiti alle modalità di funzionamento dei vari tipi di specchi - curvi, piani, sferici, ellittici, iperbolici, parabolici ecc., studi ripresi e approfonditi dagli scienziati del Rinascimento, da Leonardo da Vinci (1452-1519) a Galileo Galilei (1564-1642), a Jerome Cardano (1501-1576), Giovan Battista Della Porta (1540-1615), Bonaventura Cavalieri (1598-1647), con il suo storico trattato su "Lo specchio Ustorio" del 1632<sup>[1]</sup>, a Rafael Mirami con il suo saggio su "La specularia, vale a dire della scienza degli specchi"<sup>[2]</sup> (figura 1).

**Figura 1**  
Copertina del trattato di Rafael Mirami del 1582  
Fonte: immagine tratta da Internet



Sugli specchi ustori, e sugli specchi per concentrare la radiazione solare, c'è una vasta letteratura. Una descrizione essenziale tra le più complete è offerta nel libro *A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology* di Butti e Perlin, del quale è attesa una versione aggiornata nel 2010<sup>[3]</sup>.

Le storie raccontate in questo articolo sono riferite all'Italia negli ultimi 200 anni fino alle soglie del 2000.

All'inizio dell'Ottocento, la rapida e crescente diffusione dei combustibili fossili indusse anche alcuni scienziati italiani a porsi la domanda se fosse possibile con il calore del sole fare le stesse cose che altri paesi facevano con il calore prodotto da quei combustibili, dei quali erano ricchi e, invece, l'Italia era ed è povera.

Si tratta di storie spesso poco note, eppure rivelano come esse abbiano contribuito e continuano a contribuire tuttora, a livello mondiale, allo sviluppo di innovativi impianti solari termodinamici (detti anche solari termici a concentrazione o solari termoelettrici), termini utilizzati per indicare gli impianti nei quali il calore del sole è raccolto concentrandolo con degli specchi, per produrre vapore e quindi elettricità, la forma di energia espressione in assoluto della modernità.

## Il solare termodinamico dimenticato dell'Ottocento

### Pasquale Gabelli (1801-1880) e l'Eliostate

L'idea di produrre vapore con il calore del sole per usi industriali fu oggetto di studio nella prima metà dell'Ottocento da parte di Pasquale Gabelli (1801-1882), veneto, matematico e scienziato naturalistico. Nel 1831 Gabelli presentò all'Ateneo di Venezia, dov'era socio corrispondente, una memoria riguardante "il modo di giovare dei raggi solari per mezzo di un eliostate che ne portasse costantemente la corrente calorifica contro una data superficie".

La proposta di Gabelli fu accolta dall'università di Padova con scetticismo, motivato dall'aleatorietà della disponibilità della radiazione solare. Tale ragione fu comunque giudicata "buona per

*il Lombardo-Veneto, ai cui limiti si arrendevano anche scientificamente quei signori, ma non per la Puglia o per la Sicilia, a ogni modo poi per l'Africa"*<sup>[4]</sup>.

Gabelli tornò a presentare il suo progetto solare il 25 agosto 1838 in un manoscritto di 40 pagine e annessi disegni dal titolo *Sopra un nuovo meccanismo per dirigere i raggi solari condensati ad usi speciali*. Del manoscritto, che stiamo ancora cercando, ci sono vari riferimenti in letteratura, a cominciare dalla relazione dei lavori scientifici dell'Ateneo di Venezia durante l'anno accademico 1837-1838, a firma del segretario per le scienze Giacinto Namias: "Intorno al poter colorifico de' raggi solari occupavasi il Socio Corrispondente sig. Pasquale Gabelli descrivendoci un suo congegno per condensarli e volgerli ad uno scopo, ove fosse mestieri di molta quantità di calore. Ei mette un'asta di ferro nella direzione dell'asse del mondo, incurvata semicircularmente nel mezzo, e quivi unita ad altra asta mobile intorno a quel punto, la quale sostiene un paraboloide di rivoluzione, il cui foco prossimamente corrisponda al centro del semicircolo.

*La macchina si fa mediante opportuni ingegni roteare per modo che nel piano delle aste sia compreso il centro del sole, e proseguire uniformemente il suo moto, si che in 4 ore compia un giro intorno al proprio asse in senso contrario a quell'astro. Nel paraboloide sono iscritti alcuni specchi che portano presso al centro del semicircolo le immagini del sole e ne moltiplicano grandemente il calore.*

*In quel cavo semicircolare colloca il Sig. Gabelli qualunque corpo da arroventarsi, oppure una sfera vuota comunicante per mezzo di un tubo con una caldaja, che riposa sur il fornello attaccato alla macchina per potervi far fuoco quando le nubi ci sottraggono allo sguardo del sole. Introdotto il liquido, i vapori che formati nella sfera metallica attraversano quello del tubo e della caldaia portandolo all'ebullizione".*

Terminata la descrizione l'Autore evidenzia come tali studi siano stati influenzati dalle ricerche effettuate da Georges-Louis Leclerc, conte di Buffon (1707-1788) che "con una congerie di

*specchi piani iscritti in una curva bruciava il legno alla distanza di 200 piedi, a quella di 5 fondava i metalli e rendea così più verosimili i portenti dell'ingegno di Archimede, che vuoi si dall'alto delle mura di Siracusa incendesse le navi della nemica Roma. Decida poi l'esperienza se lo spendio di questa macchina, che potrebbe riuscire proficua nelle regioni della zona torrida e a coloro che navigano in quelle parti darebbe equo compenso fra noi, in onta all'impossibilità di giovare allorchè le nubi ottenebrano il cielo"<sup>[5]</sup>.*

### **Bartolomeo Foratti (n.d.) e il "Pirocatofero"**

L'idea di Gabelli fu ripresa 30 anni dopo da Bartolomeo Foratti e presentata, al cospetto dello stesso Gabelli, sempre presso l'Ateneo di Venezia. Foratti ricordò come il Gabelli fosse stato cronologicamente il primo a porre le basi di un sistema "ch'egli ideava fino dal 1849 e che compiuto e sperimentato nel 1861 veniva privilegiato dal cessato Governo nel 1864".

Presentò quindi una suo sistema che chiamò Pirocatofero, uno strumento atto a "condensare i raggi solari e a indirizzarli ad uno scopo onde aver contro questo una grande, costante e continuata corrente di calorico" da utilizzare per le più svariate applicazioni pratiche<sup>[6][7]</sup>.

Il Pirocatofero sarebbe stato costituito "da una moltitudine di specchi piani, imperniati ciascuno su un peduncolo a snodatura sferica, munito di vite e di pressione. Tutti i peduncoli sono distribuiti ed infissi sopra un gran quadro o graticcio, girevole intorno a due assi perpendicolari, l'uno verticale, l'altro orizzontale in maniera da poterlo disporre nella posizione più acconcia per ricevere sulla sua superficie, ricoperta di specchi, i raggi solari. I raggi ricevuti da ogni singolo specchio, possono in causa di una preliminare disposizione del sistema, venir diretti per riflessione su di una piccola superficie, la quale per questa maniera ricevendo una gran somma di raggi calorifici viene fortemente a riscaldarsi.

Descritto l'apparecchio il dott. Foratti estende il suo principio a dei giganteschi apparati suscettibili di produrre i più potenti effetti tecnici, e quin-

*di termina la sua memoria coll'accennare alle applicazioni che sarebbero il riscaldamento delle caldaie delle macchine a vapore fisse, delle caldaie destinate alle distillazioni e ad altri usi industriali, alla produzione di una elevata temperatura nelle terre coltivabili, nelle serre delle piante, ed alla evaporazione delle acque contenenti sali in soluzione ecc."*

Dopo il 1871 non abbiamo trovato altre notizie sul Pirocatofero. Mentre l'idea di Gabelli di un sistema solare termico a concentrazione è di nuovo ricordata nel 1886 nella commemorazione che ne fece Paulo Fambri nelle pagine pubblicate dall'Ateneo Veneto<sup>[8]</sup>.

Fambri ricorda come il progetto di Gabelli accendesse l'interesse di fisici e matematici che notavano il concetto essere giusto "che 40 anni fa rispondeva alle condizioni e ai mezzi e che oggi andrebbe ripreso in esame tenendo conto dei molti passi in avanti del mondo scientifico e soprattutto industriale". Lo stesso Gabelli, pochi anni prima di morire, osservava che il suo progetto avrebbe dovuto essere ristudiato "sulla base immensamente ampliata dei nuovi mezzi che la scienza somministra oggi allo sperimentatore".

Il manoscritto del Gabelli, come racconta lo stesso Fambri, gli fu consegnato dal prof. Gambari, dopo averlo estratto dall'archivio dell'Ateneo Veneto. Purtroppo Fambri non racconta dove lo abbia messo. E ad oggi, come dicevo sopra, lo stiamo ancora cercando.

### **Alessandro Battaglia (1842-?) e il "Collettore multiplo solare"**

Nei libri di storia, la realizzazione del primo motore termico azionato con vapore solare è attribuita a Augustine Mouchot (1825-1912), un professore di matematica del Liceo di Tours in Francia, il quale nel 1860 cominciò ad esplorare la possibilità di trasformare il calore del sole in energia meccanica.

Nel suo noto libro *La Chaleur Solaire et ses Applications Industrielles* del 1869, Mouchot osservava: "Non si deve credere, nonostante il silenzio negli scritti moderni, che l'idea di trasformare il calore in energia meccanica sia recente.

*Al contrario, va riconosciuto che l'idea è molto antica e nel suo lento evolversi essa ha dato luogo alla realizzazione di vari curiosi apparecchi"<sup>[9]</sup>. Nel 1878 Mouchot espose alla Mostra Universale di Parigi quella che è comunemente conosciuta come la prima e più grande macchina al mondo per la produzione di vapore solare: uno specchio conico, avente una superficie di circa 20 m<sup>2</sup>, che rifletteva la radiazione solare intercettata su una caldaia posta al centro dello stesso specchio (figura 2).*

La macchina di Mouchot, che al tempo attrasse l'attenzione di tutto il mondo per il sibilo del vapore solare in uscita dalla caldaia, fu oggetto nel 1884 di un'attenta analisi e di precise critiche sui suoi limiti operativi da parte di uno scienziato e ingegnere italiano, Alessandro Annibale Battaglia.

Il lavoro di Battaglia, che sembra sia rimasto del tutto sconosciuto nel corso del Novecento, è stato riscoperto negli ultimi due anni dal GSES, che lo ha presentato alla comunità mondiale del solare termico a concentrazione in occasione del congresso *SolarPaces 2009*, tenuto a metà settembre a Berlino<sup>[10]</sup>. Le puntuali critiche mosse da Battaglia alla macchina solare di Mouchot hanno suscitato l'interesse degli oltre 200 esperti in aula. È come se la scoperta del lavoro di Battaglia avesse ridimensionato un mito.

Di Battaglia, persona e professionista, sappiamo ancora molto poco. Nacque ad Acqui Terme nel 1842 da una famiglia proveniente da Germignaga in provincia di Varese. Ci risulta che visse a Genova e in Ascoli Piceno. Il 17 aprile 1884 lo troviamo a Napoli, dove, nel corso di una riunione accademica dell'Istituto di Incoraggiamento di Napoli, presentò i suoi punti di vista sulla macchina di Mouchot e ne evidenziò i limiti in una relazione dal titolo *Sul modo e sulla convenienza di utilizzare il calore solare per le macchine a vapore*, letta dal fisico Eugenio Semmola<sup>[11]</sup>.

Secondo Battaglia l'invenzione di Mouchot non avrebbe condotto a grandi risultati. Poiché la caldaia e lo specchio erano solidali nel movimento per inseguire il sole, sia l'uno che l'altro non potevano che avere dimensioni limitate. Inoltre la cal-

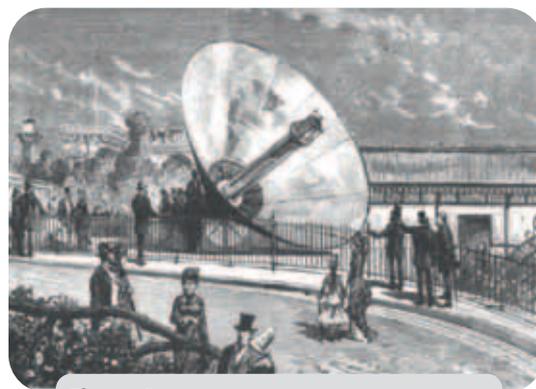
daia era esposta all'aria e pertanto reirraggiava verso l'esterno l'energia che lo specchio aveva concentrata su di essa.

Per superare questi limiti e costruire sistemi a concentrazione capaci di raccogliere calore solare in quantità quali quelle richieste dai processi industriali, Battaglia propose di separare la caldaia dallo specchio.

Progettò un sistema costituito da due sottosistemi del tutto indipendenti in relazione ai movimenti. Il campo solare, di 1.250 piccoli specchi tondi e piani, di un metro quadrato di superficie ciascuno, distribuiti su 42 file di 30 specchi; la caldaia, un tubo di 1 m di diametro, lungo 30 m, posto di fronte al campo solare e isolato all'interno di un forno di mattoni.

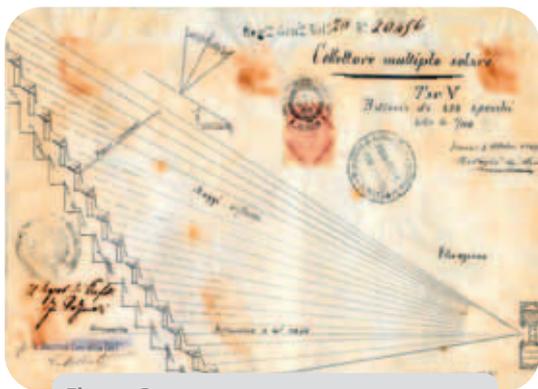
Ogni specchio era orientato in modo da inseguire il sole e rifletterne la radiazione sulla caldaia. Battaglia, che lo descrisse in dettaglio nei suoi vari aspetti economici e tecnici, stimò che il sistema avrebbe avuto una potenza di 37,3 kW e un costo, al tempo, di circa 100.000 lire, pari a circa 420.000 euro 2008.

Nel 1884 Battaglia chiese la registrazione del brevetto relativo a questa sua invenzione con il nome di "Collettore Multiplo Solare", tuttavia di minori dimensioni di quello presentato presso l'Istituto di Incoraggiamento di Napoli. Nel brevetto la caldaia ha una lunghezza di 10 metri e il campo solare è composto da 252 specchi (figura 3).



**Figura 2**

La macchina di Augustine Mouchot, la più grande per il suo tempo, esposta all'Esposizione Universale di Parigi nel 1878  
Fonte: foto cortesia John Perlin



**Figura 3**

Collettore multiplo solare brevettato da Alessandro Battaglia nel 1886 per la produzione di vapore ad alte pressioni e temperature

N.B. Il brevetto è stato ritrovato nel 2007 nel corso delle ricerche promosse dal GSES sui brevetti relativi all'uso dell'energia solare degli ultimi due secoli conservati presso l'Archivio Centrale dello Stato

Fonte: immagine cortesia dell'Archivio Centrale dello Stato<sup>[12]</sup>

Il Collettore Multiplo Solare fu la risposta di Battaglia alla sfida di costruire dei campi solari realizzabili in qualunque dimensione e quindi capaci di far fronte alla domanda di energia dei moderni processi industriali.

Non sappiamo ancora se Battaglia abbia mai costruito e sperimentato il suo Collettore Multiplo Solare come gli fu raccomandato dal fisico Eugenio Semmola durante la presentazione della sua relazione nella sessione accademica presso l'Istituto d'Incoraggiamento di Napoli. Né sappiamo se la sua invenzione e il brevetto da lui registrato siano mai stati notati da altri studiosi e riproposti successivamente. In letteratura al momento non abbiamo ancora trovato tracce.

L'ipotesi è che l'idea di Battaglia di produrre vapore solare per azionare un motore termico potrebbe essere passata in secondo ordine a seguito degli importanti sviluppi che l'Italia andava realizzando nell'uso dell'energia idrica per la produzione elettrica e, quindi, per azionare le sue fabbriche.

Infatti, proprio negli stessi anni nei quali Battaglia era impegnato a sviluppare e a mettere in pratica la sua invenzione, venivano costruiti in Ita-

lia i primi impianti idroelettrici. Per esempio quello di Vesta, vicino a Tivoli, fu inaugurato nello stesso anno, il 1884, durante il quale Battaglia presentò la sua invenzione all'Istituto di Incoraggiamento di Napoli.

### Il solare termodinamico alle basse temperature della prima metà del Novecento

Nella prima metà del Novecento l'energia idrica dei bacini alpini consentì la prima industrializzazione dell'Italia. Ancora prima della II Guerra mondiale, oltre il 90% dell'energia elettrica era di origine idrica e, come accennato sopra, tali sviluppi potrebbero avere fatto dimenticare le invenzioni del solare termico a concentrazione dell'Ottocento per la produzione di vapore e di elettricità.

Nonostante ciò, la possibilità di utilizzare il calore del sole per generare forza meccanica e azionare un motore, continuò ad essere esplorata, ma con la convinzione in alcuni ambiti accademici, per esempio Mario Dornig (1880-1962) del Politecnico di Milano e Luigi D'Amelio (1893-1963) dell'Università di Napoli, che si dovessero evitare le complicazioni derivanti dall'uso di specchi e puntare invece a cicli termodinamici con fluidi bassobollenti, quale l'anidride solforosa, al tempo disponibile in commercio in quanto utilizzata negli impianti frigoriferi e scaldati con un semplice collettore solare termico piano a temperature inferiori ai 100 °C.

Un motore solare, basato su tali concetti, fu ideato agli inizi degli anni trenta da Daniele Gasperini (1895-1960), un artigiano esperto frigorista nato a Rovereto, durante il suo lavoro in Libia. È sotto il sole del deserto che Gasperini ha l'idea del motore solare. Con la collaborazione di Giovanni Andri (n.d.) e il nome di "Elio Dinamic", un primo esemplare fu esposto nella fiera di Tripoli del luglio 1936. La II Guerra mondiale impedì di continuarne lo sviluppo, che Gasperini riprese alla fine del conflitto con la collaborazione di Ferruccio Grassi (1897-1980), un ingegnere di Lecco, dirigente della società Badoni. Insieme inventarono un'ingegnosa pompa solare per il sollevamento dell'acqua dal sottosuolo conosciuta con il nome di pompa SO-

MOR, dal nome della società che la costruì, la quale fu esposta alla prima fiera mondiale dell'energia solare tenuta a Phoenix in Arizona nel 1955 (figure 4 e 5)<sup>[13]</sup>.



**Figura 4**

Da sinistra Enrico Gasperini (figlio di Daniele), Luigi D'Amelio e Mario Dornig alla prima fiera mondiale dell'energia solare, vicino a un paraboloide con nel fuoco una pentola per la cottura del cibo. Phoenix, Arizona, Stati Uniti, 1955

Fonte: foto d'archivio di Vittorio Storelli, donata dagli eredi per l'Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare



**Figura 5**

La pompa italiana SOMOR esposta alla fiera di Phoenix

Fonte: foto d'archivio di Ferruccio Grassi, donata dagli eredi per l'Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare

## Giovanni Francia (1911-1980) e i sistemi solari termici a concentrazione lineari e puntuali Fresnel con specchi piani o quasi piani

Nella seconda metà del Novecento il solare termico a concentrazione viene rivoluzionato dalle invenzioni di Giovanni Francia, che può essere considerato a livello mondiale uno dei maggiori pionieri del solare in epoca moderna.

Primo di quattro figli, Francia trascorse la giovinezza vicino a Torino, a S. Germano Chisone. A 18 anni perse il padre e allo stesso tempo venne colpito dalla tubercolosi. La malattia lo costrinse ad abbandonare gli studi di ingegneria e studiare da autodidatta presso il sanatorio Agnelli. Nel 1935 si laureò in matematica. Dal 1938 si trasferisce a Genova dove svolge la libera professione e insegna all'Università. A partire dagli anni cinquanta realizza numerose e importanti invenzioni in ambito automobilistico, aeronautico, spaziale, tessile e, negli ultimi vent'anni della sua vita, soprattutto nel settore dell'energia solare.

Francia riteneva che il calore solare, abbondante ma a bassa densità e a bassa temperatura, dovesse essere raccolto in modo da ottenere le temperature necessarie per far funzionare le macchine delle società tecnologicamente e industrialmente avanzate, a cominciare dagli impianti per la produzione di energia elettrica.

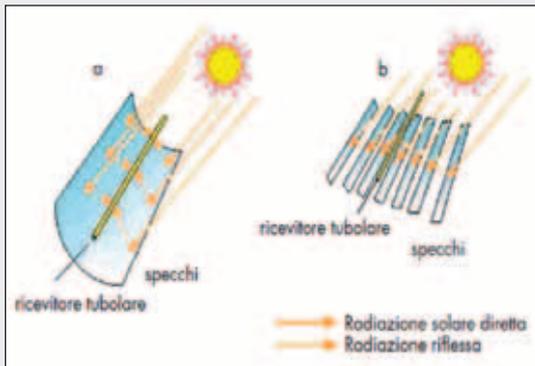
Per raggiungere questo obiettivo, Francia, che non ci risulta abbia mai saputo del lavoro di Alessandro Battaglia, ripercorse concettualmente una strada analoga a quella di quest'ultimo, ovvero di separare lo specchio dalla caldaia.

Tra il 1960 e il 1965 arrivò a dimostrare per la prima volta al mondo che è possibile produrre con il calore del sole vapore ad alte pressioni e alte temperature in sistemi a concentrazione lineare e puntuale di tipo fresnel<sup>2</sup>, vale a dire con campi di specchi piani o quasi piani che possono

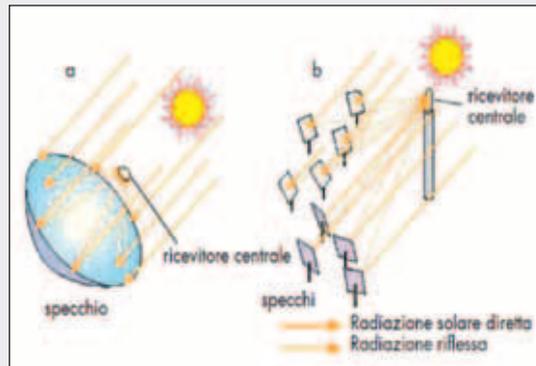
2. I "campi specchi" proposti da Francia vengono chiamati di "tipo fresnel" in quanto ricordano il procedimento che condusse il fisico Augustin-Jean Fresnel a inventare la lente che porta il suo nome, ottenuta "frazionando" una lente sferica in una serie di sezioni anulari concentriche, chiamate anelli di fresnel.

essere immaginati come risultanti dal "frazionamento" di un grande specchio parabolico lineare o di un grande specchio parabolico sferico (figura 6, figura 7)<sup>[14]</sup>.

flessa da un campo solare di superficie di grandi dimensioni. Il vapore che si genera all'interno del ricevitore, a mano a mano che l'acqua bolle, si raccoglie nella sua parte superiore, allo stesso modo



**Figura 6**  
Sistemi a concentrazione con ricevitore lineare o caldaia tubolare:  
a) concentratore parabolico lineare;  
b) concentratore lineare Fresnel  
Fonte: Sapere, febbraio 2009, in articolo di C. Silvi



**Figura 7**  
Sistemi a concentrazione con ricevitore puntuale o caldaia centrale:  
a) concentratore sferico parabolico puntuale;  
b) concentratore con ricevitore centrale a torre e campo specchi o puntuale Fresnel  
Fonte: Sapere, febbraio 2009, in articolo di C. Silvi

Giovanni Francia pose a base del solare a concentrazione da lui inventato le seguenti considerazioni. È più facile costruire più specchi piani o quasi piani, anziché un grande specchio curvo. Poiché gli specchi piani sono meno esposti alla forza del vento rispetto ai grandi paraboloidi curvi, la relativa struttura di sostegno è più semplice e, a parità dell'area degli specchi di raccolta della radiazione solare, il suo peso può essere ridotto fino anche a solo il 30% di quello della struttura di sostegno di un campo di specchi paraboloidi, con evidenti riflessi sul suo costo. I paraboloidi curvi, per giunta, devono inseguire il sole muovendosi solidalmente con il ricevitore con una serie di conseguenti implicazioni di carattere costruttivo sullo stesso, per esempio sulle sue dimensioni, necessariamente limitate.

Negli impianti ideati da Francia il ricevitore o caldaia è invece un componente indipendente rispetto al movimento degli specchi o riflettori: esso è fisso, può essere sostenuto da robuste torri ed essere dimensionato per raccogliere la radiazione ri-

di quanto accade in una pentola sopra un fornello. Questo facilita l'estrazione del vapore. A parità di superficie degli specchi che captano la radiazione solare, un campo di riflettori fresnel può essere più compatto e occupare una superficie ridotta rispetto a quella occupata da una centrale di pari potenza realizzata con dei concentratori parabolici lineari o a disco, i quali devono essere opportunamente distanziati (figura 8).



**Figura 8**  
Campi solari con concentratori parabolici lineari, deserto egiziano del Meadi, 1912  
Fonte: foto cortesia John Perlin

È sulla base di questi concetti che Giovanni Francia sin dall'inizio intuisce chiaramente una nuova architettura dei futuri impianti solari a concentrazione rispetto a quelli fino ad allora più sperimentati. In una sua lettera del 17 gennaio 1962, rispondendo al collega francese che gli suggeriva di impiegare nel suo pionieristico impianto di Marsiglia degli specchi parabolici lineari già sperimentati negli Stati Uniti dalla Boeing&Cie, affermava: *"solo con gli specchi piani è possibile costruire grandi centrali solari"*<sup>[15]</sup><sup>[16]</sup>.

Le immagini degli impianti costruiti e sperimentati per la prima volta al mondo da Francia ben documentano il suo straordinario lavoro svolto nei primi anni sessanta del Novecento.

**Figura 9**

Primo (al mondo) impianto solare a concentrazione lineare *fresnel*, costruito e sperimentato a Marsiglia (Francia) nel 1963

Fonte: foto da fondo Giovanni Francia, donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia



**Figura 10**

Primo (al mondo) impianto solare a concentrazione a torre e campo specchi (puntuale *fresnel*), costruito e sperimentato a S. Ilario (Nervi, Genova) nel 1965

Fonte: foto da fondo Giovanni Francia, donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia



Dopo il 1965 Francia concentrò la sua attenzione sugli impianti a concentrazione con ricevitore puntuale o centrale o a torre. Realizza e perfeziona altri prototipi. A metà degli anni 70 stabilisce una collaborazione con l'Ansaldo. Partecipa alla realizzazione di un impianto sperimentale presso il Georgia Tech di Atlanta negli Stati Uniti.

Nel dopo *shock* petrolifero del 1973, anche in Italia, il mondo della politica e dell'industria comincia a interessarsi di nuovo all'energia solare determinando la decisione di costruire una centrale solare a concentrazione in base ai principi sviluppati e sperimentati a S. Ilario da Francia.

Eurelios, questo il nome, è la prima grande centrale solare al mondo a concentrazione a torre e campo specchi (tipo Fresnel), da 1 MWe, ad essere collegata ad una rete elettrica nazionale. Ubicata nelle vicinanze di Adrano in provincia di Catania, la sua costruzione fu completata alla fine del 1980 e la sua inaugurazione avvenne nella primavera del 1981. Si trattò di un importante primato mondiale italiano realizzato dall'ENEL con la collaborazione della Comunità Economica Europea, che fu tuttavia presto dimenticato.

**Figura 11**

Impianto solare a concentrazione a torre costruito presso il Georgia Tech Institute di Atlanta, con la collaborazione dell'Ansaldo e di Giovanni Francia

Fonte: foto di G. Parodi, 1979



**Figura 12**

Eurelios: vista del campo eliostati e torre con la caldaia sulla sommità

Fonte: foto cortesia archivio G. Parodi, 1982



**Figura 13**

Vista della 'Stazione solare sperimentale La Capanna' presso il Centro Ricerche ENEA Casaccia

Fonte: foto cortesia ENEA, 1983



Concluse le sperimentazioni di Eurelios nel 1985, l'ENEL ne pubblicò i relativi risultati in un rapporto pubblicato nel 1991.

Nel rapporto si concludeva che il costo del kWh elettrico solare prodotto da Eurelios sarebbe risultato, anche nell'ipotesi di pur possibili riduzioni del costo dell'impianto, comunque ben lontano da valori accettabili. In chiusura la seguente affermazione: *"Questa conclusione, che è condivisa dalla grande maggioranza degli esperti mondiali, fa ritenere che gli impianti solari del tipo a torre e a campo specchi non daranno luogo, anche nel medio e lungo termine, ad applicazioni industriali di qualche rilievo"*<sup>[17]</sup>.

La morte di Giovanni Francia nel 1980, le sopracitate conclusioni dell'ENEL, il calo dei prezzi dei combustibili fossili, l'avvicendamento alla presidenza degli Stati Uniti da Jimmy Carter a Ronald Reagan, con un sostanziale cambio della politica energetica statunitense a partire dal 1981, con i suoi inevitabili riflessi anche sulle politiche energetiche di altri paesi, portarono in generale a una presa di distanza dall'energia solare e, in Italia, in particolare, dagli impianti solari a concentrazione puntuali o a torre e a campo specchi dei quali Francia era stato il pioniere e principale ispiratore a livello mondiale. Presa di distanza che può essere riconosciuta anche in altre scelte fatte in Italia. Presso il centro dell'ENEA della Casaccia fu costruita agli inizi degli anni 80 la "Stazione solare sperimentale de "La Capanna". Nel 1983 vi fu installato un impianto solare a concentrazione a torre per condurvi sperimentazioni di vario tipo (figura 13). Questo impianto fu smantellato e rottamato solo qualche anno dopo, senza che fosse mai utilizzato. Di quell'impianto restano oggi solo alcune fotografie e uno specchio recuperato dall'ENEA per il GSES, per la sezione solare del Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia.

Per approfondire il lavoro di Giovanni Francia nel campo dell'energia solare, e non solo in quello specifico della concentrazione, visitare il sito [www.gses.it](http://www.gses.it) alla voce *pionieri in primo piano*.

## Il Nobel Carlo Rubbia e l'immagazzinamento del calore del sole

La chiusura di Eurelios e la rottamazione dell'impianto a torre de "La Capanna" a metà degli anni 90 fecero praticamente dimenticare quasi del tutto il solare a concentrazione in Italia per 15 anni.

È nell'anno 2000 che questa tecnologia viene riproposta con il lancio del progetto Archimede da parte del Nobel Carlo Rubbia.

Quando Rubbia propose l'utilizzo dei sali fusi, vale a dire una miscela di nitrato di potassio e nitrato di sodio, come fluido termovettore nel ricevitore/caldaia di un impianto a concentrazione parabolico lineare, con lo scopo di rendere possibile l'immagazzinamento del calore solare e quindi un più regolare funzionamento degli impianti, la comunità del solare reagì con scetticismo.

I sali fusi, poiché cominciano a solidificare alla temperatura di 240 °C, erano ritenuti inadatti per la circolazione nel ricevitore di un impianto solare a concentrazione parabolico lineare, nel quale la massima temperatura raggiungibile nel tubo era al tempo di circa 400 °C. Un calo della temperatura avrebbe potuto innescare la solidificazione con tutte le conseguenze del caso.

Oggi questo scetticismo ha dovuto essere riconsiderato sia perché è prossima l'entrata in funzione dell'impianto Archimede nel quale, grazie a una serie di innovazioni, i sali sono pompabili per temperature comprese tra 260 e 550 °C, temperatura quest'ultima ora raggiungibile nel tubo ricevitore, sia perché cominciano ad esserci proposte di utilizzo dei sali fusi in altri impianti lineari.

Al riguardo una testimonianza interessante è l'intervista dello scorso dicembre di Arnold Leitner, fondatore e CEO di SkyFuel, una *start-up* con sede in Colorado<sup>[18]</sup>. Per Leitner l'alternativa solare alla produzione di energia elettrica da fonti fossili e nucleare potrebbe concretizzarsi in un impianto a concentrazione lineare tipo Fresnel, che SkyFuel ha chiamato *Linear Power Tower* (LPT), capace di ottenere nel tubo ricevitore temperature sufficientemente elevate per utilizzare i sali fusi sia quale fluido termovettore che per l'immagazzinamento

del calore del sole, come avviene nell'impianto Archimede ideato da Carlo Rubbia.

Rispetto all'impianto Archimede, il LPT ha il ricevitore fisso e indipendente dal movimento dello specchio e combina quindi le innovative idee di Giovanni Francia degli impianti tipo Fresnel degli anni 60 e quelle di Carlo Rubbia del 2000. In altre parole, si tratta di un solare termodinamico in fase di sviluppo realizzato con idee di base italiane.

### Il successo oggi nel mondo del solare termodinamico con specchi piani, o quasi piani, inventato da Giovanni Francia

Gli attuali sviluppi nel mondo del solare termodinamico con gli specchi piani o quasi piani richiederebbe un'illustrazione apposita, in quanto la sua crescita negli ultimi anni è stata e continua ad essere rapida.

In questo articolo richiamo l'attenzione solo su tre tra le decine di società *start-up* nate negli ultimissimi anni, in particolare negli Stati Uniti: Ausra, eSolar e BrightSourceEnergy. Si tratta di imprese nate intorno al 2007, finanziate con capitale di rischio, che negli ultimi mesi hanno colto un suc-

cesso dopo l'altro e che sono impegnate per dimostrare la possibilità di produrre il kWh solare allo stesso costo del kWh prodotto nelle centrali a combustibili fossili e nucleari.

Nel mese di dicembre 2009 la rivista *Power Engineering Magazine* e la PennWell Corporation hanno premiato eSolar per aver costruito nel 2009 il migliore impianto solare<sup>[19]</sup>. Hanno inoltre conferito la menzione onorevole alla società Ausra. L'eSolar è stata poi nominata tra le prime 26 società più innovative al mondo nel 2010 dal World Economic Forum<sup>[20]</sup>. Nello scorso mese di febbraio l'Ausra è stata acquistata al 100% dal colosso nucleare francese Areva<sup>[21]</sup>. Sempre nel mese di febbraio la BrightSourceEnergy ha ricevuto un mutuo garantito dal Dipartimento dell'energia statunitense di 1,37 miliardi di dollari per la costruzione di un impianto da 400 MW nel Sud della California<sup>[22]</sup>.

Le fotografie degli impianti di queste società, nelle quali si può riconoscere l'applicazione dei concetti di base inventati e sperimentati per la prima volta al mondo in Italia, illustrano meglio di qualunque descrizione a parole il contributo dato dal nostro Paese al solare termodinamico con gli specchi piani o quasi piani in sviluppo oggi nel mondo.



**Figura 14**  
Impianto di Kimberlina di Ausra di 5 MWe, messo in esercizio nel 2008  
Fonte: foto cortesia Ausra



**Figura 15**  
Sierra Solar Tower Facility di eSolar di 5 MWe, messo in esercizio nell'agosto del 2009  
Fonte: foto cortesia eSolar



**Figura 16**  
Impianto Luz Power Tower (LPT) di 6 MWt, messo in esercizio dalla BrightSourceEnergy nel deserto del Negev (Israele) nel 2008  
Fonte: foto cortesia BrightSourceEnergy

## Conclusioni

Il racconto fatto non è certamente per gratificarci per una serie di invenzioni italiane tornate attuali e che hanno successo. Con tale racconto si è voluto soprattutto richiamare l'attenzione sull'importanza della storia dell'energia solare, in tutte le sue forme, dirette (radiazione diretta e diffusa) e indirette (delle correnti di acqua e aria, delle foreste e altre biomasse).

È quanto GSES e CONASES cercano di fare dal 2004 con varie iniziative, tra cui:

- La creazione dell'Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare, dislocato fisicamente su tutto il territorio nazionale e in parte virtuale e accessibile su Internet. L'inaugurazione dell'archivio è in calendario per il 2011 in occasione delle celebrazioni dei 150 anni dell'Unità d'Italia, nonché dell'anniversario dei 100 anni dalla nascita di Giovanni Frania. Un primo nucleo dell'archivio è già operativo da alcuni anni a Brescia presso il Museo dell'Industria e del Lavoro 'Eugenio Battisti' ([www.musil.bs.it](http://www.musil.bs.it)).
- La realizzazione di una sezione museale sull'energia solare, dove esporre reperti di varia provenienza, all'interno della più ampia sezione sull'energia del Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia. Di recente è stata avviata una collaborazione con l'ENEL per il recupero

di alcuni reperti della centrale solare Eurelios di Adrano, che verranno trasferiti e conservati presso il citato Museo.

- L'inaugurazione della IIa edizione della mostra *Le città solari dal passato al futuro – Scoperte scientifiche e sviluppi tecnologici* in calendario nel mese di ottobre 2010 presso il Museo della Civiltà Romana. La I edizione fu tenuta a Genova nel 2006 nell'ambito del Festival della Scienza, proprio in onore di Giovanni Frania, per il suo *Progetto di città solare – Ipotesi di struttura urbana* (1970), nel quale Frania e collaboratori proponevano la realizzazione di un'unità di 100.000 abitanti i cui servizi essenziali – illuminazione, riscaldamento, elettricità – avrebbero potuto essere assicurati in maniera autonoma dall'energia solare<sup>[23]</sup>.

Le iniziative di GSES e CONASES hanno scopi puramente culturali. Mirano a cambiare la percezione che la gente ha su natura e caratteristiche dell'energia solare e sulle sue potenzialità di soddisfare i fabbisogni energetici dell'umanità nella nostra epoca.

Pensiamo sia di buon senso porci la domanda: che idea avrebbero oggi gli italiani se nelle scuole, nelle università, dai programmi televisivi e dai vari media più in generale avessero avuto la possibilità di conoscere da sempre i lavori dei pionieri italiani dell'energia solare degli ultimi 200 anni?

Che idea avrebbero dei pionieristici lavori sul solare a concentrazione con specchi piani o quasi piani realizzati da Pasquale Gabelli, Bartolomeo Foratti, Alessandro Battaglia e, in ultimo, da Giovanni Francia?

Cosa penserebbero dei premi assegnati a eSolar e Ausra? E dell'acquisizione di Ausra da parte del colosso nucleare francese Areva? E ancora, del prestito di oltre un miliardo di dollari alla BrightSourceEnergy?

Il 18 febbraio 2010 a Genova, GSES e CONASES hanno tenuto un incontro presso la locale Camera di Commercio, nel corso del quale hanno presentato il loro programma per ricordare nel 2011, in occasione delle celebrazioni dei 150 anni dell'Unità d'Italia, i pionieri italiani dell'energia solare – inventori, visionari, filosofi, letterati, fisici, matematici, chimici, ingegneri, architetti, artigiani, politici – che hanno aperto con il loro ingegno e la loro determinazione nuove prospettive per l'uso moderno della principale fonte di energia rinnovabile da sempre utilizzata dall'uomo.

Nell'incontro hanno inoltre presentato specifiche iniziative, sempre per il 2011, dedicate a Giovanni Francia a 100 anni dalla nascita.

A Genova, tra i partecipanti all'incontro, c'erano 3 ingegneri venuti da Milano. Alla fine degli anni 70 lavorarono per la costruzione di Eureka, che, come abbiamo già ricordato, fu il primo impianto solare al mondo a immettere energia elettrica in una rete nazionale. I tre ingegneri, trenta anni dopo, sono tornati in "campo" gra-

zie alla loro ultraquarantennale esperienza nella costruzione di caldaie per la produzione di vapore. E silenziosamente, con l'attiva partecipazione di più di un'impresa italiana, hanno progettato e realizzato la caldaia solare dell'impianto pilota della BrightSourceEnergy da 6 MWt, entrato in esercizio nel 2008. Impianto che ha aperto la strada alla realizzazione di una centrale di 400 MW nella Ivanpah Valley nel Sud della California.

Si può capire, quindi, che la storia delle invenzioni italiane del solare termodinamico (o a concentrazione) con gli specchi piani o quasi piani continua, nonostante sia quasi del tutto dimenticata e sconosciuta, proprio in Italia. Come questa storia italiana del solare termodinamico, ce ne sono tante altre, dell'ordine delle decine, dimenticate o del tutto sconosciute. GSES e CONASES vorrebbero, completato il lavoro in corso di documentazione, raccontarle.

Auspichiamo di poterlo fare con il nostro programma storico solare, per il quale, tuttavia, il GSES dovrebbe poter disporre di una somma non inferiore a 1.000.000 di euro al fine di attuarlo come proposto originariamente, nel 2005, al Ministero per i beni e le attività culturali. Vi invitiamo pertanto, in vista delle celebrazioni del 2011, e perché le storie dei pionieri possano essere conosciute da tutti su internet, a cominciare, in particolare, dalle nuove generazioni, a un rinnovato interesse e sostegno per i nostri progetti aderendo alla campagna raccolta fondi del 2010 del GSES<sup>3</sup>.

3. Il GSES è un'Organizzazione di Volontariato (OdV) senza fini di lucro, considerata ONLUS (Art. 10 Comma 8 D.lgs. 412/97 n. 460). Può ricevere il 5 per mille IRPEF e erogazioni liberali deducibili dall'imponibile IRPEF da effettuare in modo tracciabile per poter usufruire dei benefici fiscali (bonifico bancario e carta di credito). Maggiori informazioni al sito <http://www.gses.it>

## Bibliografia

- [1] F. Bonaventura Cavaliere Milanese Giesuato di S. Girolamo, *Lo specchio ustorio ovvero trattato delle Setzioni Coniche et ALCUNI LORO MIRABILI EFFETTI Intorno al Lume, Caldo, Freddo, Suono e Moto ancora. DEDICATO A GL'ILLUSTRISSIMI SIGNORI DI BOLOGNA*, Bologna, Clemente Ferroni, 1632.
- [2] R. Mirami, *Compendiosa introduzione alla prima parte della specularia, cioè della scienza degli specchi, opera nuova, nella quale brevemente, e con facile modo si discorre intorno agli specchi e si rende cagione, di tutti i loro miracolosi effetti*. In Ferrara: Appresso gli heredi di Francesco Rossi & Paolo Tortorino compagni, 1582.
- [3] K. Butti, J. Perlin, *A Golden Thread – 2500 years of Solar Architecture and Technology*, Cheshire Books, Palo Alto, CA USA, 1980 (Versione aggiornata nel 2010).
- [4] De Gubertains, *Dizionario biografico degli scrittori contemporanei*, Vol. I, 1879.
- [5] *Dei Lavori scientifici dell'ateneo di Venezia durante l'anno accademico 1837-38*. Relazione del Dottor Giacinto Namias Segretario per le Scienze in Esercitazioni scientifiche e letterarie dell'Ateneo Veneto, Tomo III, 1839, pp. 25-26.
- [6] *Atto verbale dell'adunanza ordinaria 8 luglio 1869 in Ateneo Veneto a firma del Presidente Caluci e del segretario G. Zanon*, pp. 243-244, Serie II, volume 6, 1870.
- [7] B. Foratti, *Su d'un suo apparecchio per la concentrazione dei raggi solari e loro applicazione al riscaldamento*, in: Rendiconti di lettere e scienze morali e politiche, Istituto Lombardo di scienze e lettere, 1871.
- [8] *Commemorazione a firma di Paulo Fambri in Ateneo Veneto*. Rivista di scienze, lettere ed arti, Venezia 1886, pp. 209-227.
- [9] A. Mouchot, *La Chaleur solaire et ses applications industrielles*, Nouveau Tirage, Librairie scientifique et technique Albert Blanchard, Paris, 1980.
- [10] C. Silvi, *The Pioneering Work on Linear Fresnel Reflector Concentrators (LFCs) in Italy*, Atti congresso SolarPaces2009, Electricity, fuels and clean water powered by the sun, Berlin, Germany, 15-18 settembre 2009.
- [11] A. Battaglia, *Sul modo e sulla convenienza di utilizzare il calore solare per le macchine a vapore*, relazione letta dal Prof. Eugenio Semmola nella sessione del 17 aprile 1884, Atti dell'Istituto di Incoraggiamento di Napoli, 1884.
- [12] Certificato di brevetto industriale (13 ottobre 1886, Vol. 40, n. 412) valido per tre anni a partire dal 30 settembre 1886, rilasciato in Genova al Sig. Alessandro Battaglia per un sistema chiamato Collettore multiplo solare.
- [13] C. Silvi, *La pompa solare SOMOR: riscoperta di un'invenzione italiana del primo Novecento e sue attuali prospettive*, 2010.
- [14] G. Francia, *Pilot Plants of Solar Steam Generation Systems*, in *Solar Energy* V.12 (1968), pp. 51-64.
- [15] Lettera di M.Touchais a G. Francia, dicembre 1961 (Fondo Giovanni Francia donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia).
- [16] Lettera di G. Francia a M. Touchais, gennaio 1962 (Fondo Giovanni Francia donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia).
- [17] *Progetto Eurelios. Utilizzazione dell'energia solare in impianti elio termoelettrici*. A cura dell'ENEL, Ente Nazionale per l'Energia Elettrica, DSR-CRTN, Centro per la Ricerca Termica e Nucleare, 1991.
- [18] Intervista di CSP Newsletter al CEO di SkyFuel, Newsletter 7-14 dicembre 2009.
- [19] Comunicato stampa eSolar 'eSolar's Sierra Sun-Tower Named Renewable Project of the Year - 5 MW Plant Honored by Power Engineering for Commercializing Breakthrough Solar Thermal Technology. 14 dicembre 2009.
- [20] Comunicato stampa eSolar "eSolar Named World Economic Forum Technology Pioneer 2010 - Award Honors Company's Innovation and Global Impact. 3 dicembre 2009.
- [21] *Electric Light and power: Areva buys solar company Ausra*, Mountain View, Calif., March 2, 2010.
- [22] Erth2Tech, *BrightSource Wins \$1.37B Federal Loan Guarantee Commitment*, February 22nd, 2010.
- [23] Documentazione da fondo Francia, donato dagli eredi e conservato presso il Museo dell'Industria e del Lavoro di Brescia, 1969-1972.

## Dalle parole ai fatti: per una politica convinta sull'efficienza energetica

Andrea Molocchi

Responsabile Ufficio Studi Amici della Terra

*Un convinto impegno sull'efficienza energetica permetterebbe di sfruttare le posizioni di primato che in questo ambito detengono processi e prodotti che l'Italia e la sua industria possono vantare in ambito internazionale. Un programma di ricerca e di supporto allo sviluppo industriale, la responsabilizzazione delle Regioni, un piano sui trasporti alternativi alla strada, interventi nell'edilizia su edifici e impianti, strumenti di incentivazione della domanda sono i principali elementi per ottimizzare i benefici economici, sociali e ambientali*

### From Words to Facts: for a Firm Energy-Efficiency Policy

*A firm commitment to energy efficiency would allow to exploit the internationally-acknowledged primacy position of those processes and products that Italy and Italian industry boast in this field. The major actions to achieve the expected environmental, economic and social benefits are an industrial policy to support research and development, measures assigning responsibility to Regions, a new transport plan to increase modal shift, integrated measures on buildings and demand side incentive schemes*

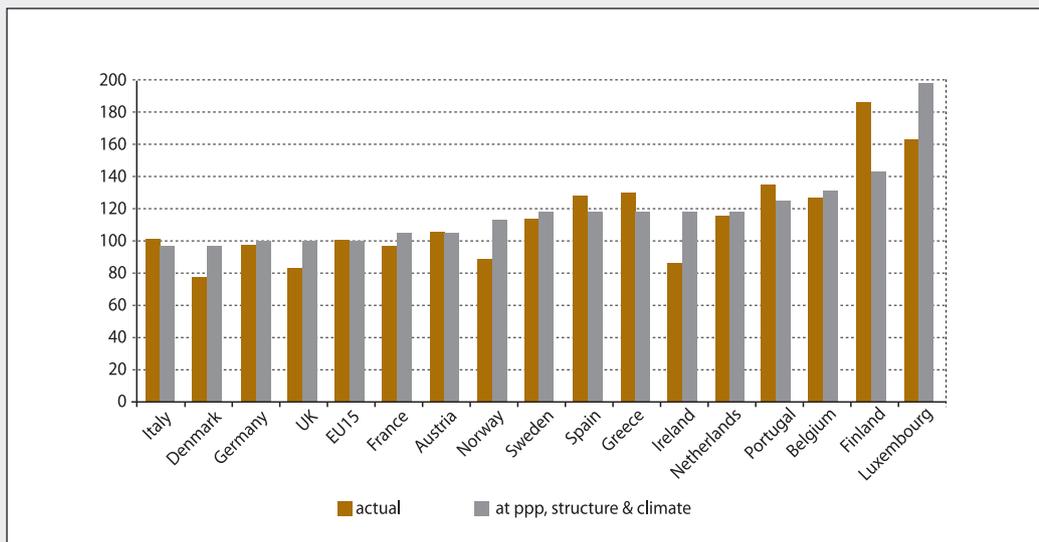
L'incerto esito del vertice internazionale sul clima di Copenaghen (*United Nations Climate Change Conference – COP 15*), che ha avuto luogo nello scorso dicembre (fallimentare sotto il profilo degli attesi accordi formali, promettente ma fragile sotto il profilo dell'accordo politico sostanziale) lascia numerosi dubbi su un'evoluzione tempestiva ed efficace delle politiche internazionali per la mitigazione dei cambiamenti climatici. Dato che l'esito della COP 15 non scalfisce l'evidenza scientifica che richiede una tempestiva e sostanziale risposta globale, l'unica certezza è che il dilazionamento dei tempi di aggregazione del consenso e la fase di crisi economica in cui ci troviamo porteranno inevitabilmente ad un'intensificazione della riflessione sulle modalità più tempestive, efficaci, convenienti ed eque per la riduzione dei gas serra: l'incerto esito di Copenaghen non potrà che accrescere la consapevolezza della priorità e non-dilazionabilità delle politiche di efficienza energetica rispetto alle altre grandi famiglie d'intervento (cattura e sequestro del carbonio, fonti rinnovabili, energia elettrica da nucleare), in vario modo tecnologicamente più immature, più onerose e socialmente problematiche, anche se con prospettive più o meno convincenti di superamento degli attuali limiti d'impiego.

Come è messa l'Italia sull'efficienza energetica? La recente indagine degli Amici della Terra sul posizionamento dell'Italia negli indicatori su energia e clima (cfr. [www.amicidellaterra.it](http://www.amicidellaterra.it)) evidenzia che il nostro Paese è in grave ritardo nel rispetto degli obiettivi della politica climatica europea, sia con riferimento a quelli di Kyoto per il periodo 2008-2012, sia in relazione agli obiettivi nazionali al 2020 impliciti del pacchetto di provvedimenti legislativi europei su energia e clima, pubblicato dall'UE nel giugno 2009. Tuttavia, emergono anche alcuni primati dell'Italia nel campo dell'efficienza energetica (a partire dalla

bassa intensità energetica negli usi finali dell'energia, vedi *figura 1*) che, spesso, il Paese non conosce e, dunque, non valorizza in termini politici e di sistema. Si tratta, in generale, della rendita di posizione che deriva dai miglioramenti di efficienza ottenuti in seguito alla crisi petrolifera del 1973, che si è assottigliata nel tempo (non si registrano miglioramenti del livello di intensità energetica finale dal 1986) ma che rappresenta tutt'oggi un patrimonio – innanzitutto industriale – di grande valore (i materiali, le tecnologie e i sistemi per l'efficienza energetica sono offerti praticamente da tutti i settori dell'industria italiana).

È proprio su questo patrimonio che occorre oggi puntare con convinzione, non solo per raggiungere gli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni, ma soprattutto per incrementare la competitività dei nostri beni e servizi sui mercati globali che dovranno necessariamente fare i conti con prezzi dell'energia elevati e con la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. La rilevanza di quest'opportunità è dimostrata dal recente accordo strategico della Fiat negli Stati Uniti, reso possibile dalla sua posizione di primato nel settore auto in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>/km del venduto europeo – un primato che è probabilmente globale, visto che gli standard europei sono diventati – con il nuovo regolamento CE 443/2009 per la riduzione della CO<sub>2</sub> delle auto nuove – i più stringenti a livello mondiale. Dall'analisi più dettagliata della situazione attuale dell'Italia, emergono con chiarezza, accanto ad alcune eccellenze in termini di efficienza, come nel settore termoelettrico, i settori relativamente più arretrati che costituiscono la priorità d'intervento, come il riscaldamento del settore residenziale e i trasporti merci e passeggeri.

La domanda che sorge spontaneamente è: *come mai se siamo tra i primi per efficienza, siamo fra gli ultimi nel rispetto degli obiettivi di CO<sub>2</sub>?*



**Figura 1**  
Intensità energetica finale normalizzata in base a parità di potere d'acquisto, condizioni climatiche e struttura del sistema industriale negli Stati membri dell'EU-15 (numeri indice EU-15=100)

Nota: Consumi energetici finali per unità di PIL, valutati al valore dell'euro nel 2004 e a parità di potere d'acquisto, normalizzato per tener conto delle diverse condizioni climatiche in Europa e delle diversità di struttura industriale: l'Italia, al primo posto, sovravanza Germania e Regno Unito, che si collocano sotto la media comunitaria, staccando nettamente Francia, Spagna e Olanda.

Fonte: ADEME, Odissee, *Energy efficiency indicators in the EU15: indicators and policies* (2007)

Qualcosa non quadra? No: è proprio così, avremmo dovuto imparare a convivere con questo dilemma almeno da trent'anni a questa parte. In valore assoluto consumiamo molta energia e produciamo molte emissioni; ma – semplificando – consumiamo tanta energia e produciamo tanta CO<sub>2</sub> perché produciamo molti prodotti per l'esportazione, ospitiamo molti turisti e ci piace muoverci in autonomia (con l'automobile). Non certo perché siamo spreconi quando facciamo queste cose, anzi molti indicatori dimostrano che siamo relativamente più attenti degli altri paesi europei e molto più attenti rispetto agli altri paesi del Globo.

Il problema è che, invece di cercare di individuare i nostri punti di forza e scommettere su di essi, abbiamo peccato di un eccesso di provincialismo e ci siamo seduti a guardare con invidia gli altri che innovavano in base ai loro punti di forza. Non abbiamo capito che i nostri primati nell'efficienza non sono dovuti al caso, ma sono

strettamente legati al patrimonio produttivo, tecnologico, di imprenditorialità diffusa del nostro Paese (oltre che ad una nostra vocazione sociale al risparmio nei consumi, alla prudenza e all'eleganza, che non è mai fatta di eccessi).

A quella domanda avremmo dovuto dare tempestive risposte da molto tempo, ancor prima di Kyoto, e – più recentemente – in occasione dell'ultimo *burden sharing* comunitario, quello del pacchetto energia e clima di gennaio 2008, che ha imposto al nostro Paese obiettivi molto ambiziosi e con costi relativi assai superiori ad altri Stati membri ben più ricchi di noi (cfr. articolo *La strategia europea nel contesto globale e le sue implicazioni per l'Italia*, rivista EFEA, n. 4, 2009). Invece di fare dell'efficienza un obiettivo comune, in Europa e fra i paesi industrializzati innanzitutto, abbiamo accettato impegni di riduzione delle emissioni basati su criteri vantaggiosi per gli Stati più spreconi e con PIL pro capite più elevato. È ben noto, infatti, che i costi in-

crementali della riduzione dei consumi di energia sono maggiori per i paesi più efficienti, e che uguali riduzioni percentuali delle emissioni degli Stati possono nascondere profonde iniquità sotto il profilo economico, soprattutto se gli Stati relativamente più spreconi di energia sono anche quelli relativamente più ricchi per capacità economica individuale (PIL procapite).

Inutile piangere sul passato. Se l'Italia si è fermata – e se ci sono ancora opportunità, come sembrerebbe dai dati comparativi – deve ripartire. Dobbiamo individuare gli ostacoli che stanno frenando la ripresa del miglioramento dell'efficienza energetica nel nostro Paese. Dobbiamo moltiplicare lo sforzo di valutazione delle politiche, degli strumenti, dei punti di forza e di debolezza, ricordando che, per poter intervenire in maniera efficace, la politica ha innanzitutto bisogno di un supporto conoscitivo adeguato. Ad esempio, la valutazione dell'Agenzia internazionale dell'energia (AIE) sugli investimenti previsti al 2050 per ridurre le emissioni del 50% a livello globale, afferma una direzione ben precisa: il 53% della riduzione delle emissioni rispetto allo scenario tendenziale sarà dato da interventi di efficienza energetica, sopravanzando il contributo delle fonti rinnovabili (21%), della cattura e sequestro del carbonio (19%) e del nucleare (6%). Inoltre, i corrispondenti investimenti in tecnologie di efficienza energetica assommeranno, con 950 miliardi di dollari l'anno sui 1300 circa previsti nello scenario *Blue Map*, al 73% degli investimenti complessivi, superando ampiamente lo sforzo richiesto nelle tecnologie *low carbon*.

Volgiamo ora il nostro pensiero alle attuali direzioni d'investimento dell'Italia: combaciano? La risposta è ovvia: stiamo investendo su priorità diametralmente opposte. Si noti che la maggior parte degli investimenti previsti dall'AIE riguarda le nuove tecnologie di trasporto: nuove navi innovative, nuovi veicoli per il trasporto delle merci, mezzi di trasporto di massa dei passeggeri, nuovi modelli di autovetture e di aerei. Allora, chi se non il nostro Paese, con Fincantieri e gli altri cantieri navali, con Fiat, IVECO e la filiera dell'industria meccanica ed elettro-technica,

con Ansaldo leader dell'alta tecnologie per il trasporto ferroviario e metropolitano, con le sue grandi e piccole imprese di costruzioni che realizzano opere civili utili in tutto il mondo, dovrebbe realizzare queste innovazioni e realizzare queste opportunità di investimento?

### Perché in Italia non si investe nell'efficienza energetica?

È un problema economico, di costi? In teoria no. Le misure di efficienza energetica sono molto convenienti per la collettività. A fronte di un investimento iniziale, consentono a medio e lungo termine ingenti risparmi sui costi e sulle bollette delle varie forme di energia, aumentando la produttività delle imprese e liberando risorse per altre forme di spesa dello Stato e delle famiglie. Disponiamo poi di una vasta gamma di strumenti di incentivazione, sicuramente migliorabili, ma ci sono. Anche le banche stanno predisponendo strumenti ad hoc, per grandi e piccoli utenti. Il problema dell'efficienza è quindi un problema di politiche. Di priorità e convinzione nelle politiche di governo.

In termini di potenziale quantitativo, gli interventi di efficienza energetica economicamente convenienti, con le tecnologie già oggi disponibili, riguardano tutti i settori di trasformazione e di uso finale dell'energia. L'efficienza energetica rappresenta quindi un'area di investimento imprescindibile per uscire dalla crisi economica. Una recente valutazione dell'ENEA del potenziale di abbattimento delle emissioni in Italia e dei relativi costi in uno scenario di accelerazione tecnologica al 2020 (un'elaborazione preziosissima per l'impostazione delle politiche su energia e clima a medio e lungo termine, che per la sua delicatezza andrebbe curata in maniera indipendente, motivata in maniera trasparente e aggiornata con periodicità) conferma che, fra le varie opzioni per la riduzione della CO<sub>2</sub>, gli interventi di efficienza energetica sono quelli che offrono il maggior potenziale e sono gli unici a non avere costi sociali netti per tonnellata di CO<sub>2</sub> ridotta, in quanto nella maggior parte dei casi presentano un vantaggio economico netto per la

collettività. Diversamente dagli investimenti nel nucleare (circa 75 euro/tCO<sub>2</sub>), nelle fonti rinnovabili (30-230 euro/tCO<sub>2</sub>), e nelle tecnologie di cattura e sequestro del carbonio (25-30 euro/tCO<sub>2</sub>): per i loro extracosti rispetto alle forme convenzionali di produzione di energia, tutte queste tipologie di riduzione della CO<sub>2</sub> richiedono regimi di incentivazione economica il cui allestimento è a carico dello Stato oppure a carico degli utenti di energia, in quest'ultimo caso con effetti di impoverimento delle fasce di utenti più deboli.

Secondo l'ENEA, il potenziale complessivo nazionale di riduzione della CO<sub>2</sub> delle misure di efficienza energetica al 2020 (nei trasporti, nell'industria e negli altri settori) è di 60 Mt. C'è poi un ulteriore potenziale di circa 16 Mt di CO<sub>2</sub>, dato dalle forme "strutturali" di risparmio energetico, misure che comportano il cambiamento di comportamenti di consumo o l'abbandono di produzioni non più competitive, il cui costo sociale è di circa 80 euro/tCO<sub>2</sub>, un livello comparabile ai costi attualmente previsti per il nucleare e per alcune fonti rinnovabili come le biomasse e l'eolico (particolarmente oneroso nel nostro Paese a causa di condizioni di ventosità e localizzazione poco vantaggiose).

Se è sull'efficienza energetica che l'Italia deve scommettere, qual è il suo contributo alla realizzazione dei nuovi obiettivi comunitari al 2020? Basandoci sul nuovo scenario tendenziale formulato dall'ENEA nel luglio del 2009 (*Rapporto Energia e Ambiente 2007. Analisi e Scenari*), che tiene conto degli effetti della crisi economico-finanziaria, i 60 Mt di CO<sub>2</sub> risparmiati nel 2020 mediante interventi di efficienza energetica equivalgono a circa il 12% delle emissioni dell'Italia; rispetto allo scenario tendenziale, che sconta un'uscita lenta e graduale dalla crisi (emissioni di CO<sub>2</sub> 2020: -5% rispetto al 2005), l'apporto delle misure di efficienza consente una riduzione della CO<sub>2</sub> del 17% nel 2020 rispetto al 2005, che in base alle stime in nostro possesso è esattamente l'obiettivo complessivo dell'Italia implicito nei provvedimenti del pacchetto su energia e clima (come noto, infatti, il pacchetto stabilisce un obiettivo europeo per i settori ETS del

-21% nel periodo 2005-2020 e un obiettivo nazionale per i settori non ETS del -13% nel periodo 2005-2020: l'obiettivo complessivo nazionale degli Stati membri in tutti i settori (ETS e non-ETS) è quantificabile solo mediante stima). Si noti inoltre che, sempre in base alle stime in nostro possesso (EkoInstitute, 2008), l'obiettivo di riduzione delle emissioni dell'Italia del -17% nel periodo 2005-2020 corrisponde al -3% circa nel periodo 1990-2020, in quanto le emissioni dell'Italia sono cresciute nel primo quindicennio 1990-2005.

Ovviamente, questo non significa affatto che per puntare sull'efficienza energetica dobbiamo abbandonare tutte le altre opzioni di riduzione dei gas serra, ma è solo la dimostrazione che le politiche di efficienza dovrebbero godere di una priorità rispetto alle altre opzioni, una priorità che è invece smentita nei fatti dall'attuale politica di governo, concentrata sul rilancio del nucleare e sospinta a promuovere le fonti rinnovabili con interventi puntuali o parziali, senza un approccio complessivo.

Senza pretendere di avventurarmi in un dibattito sul nucleare, vorrei solo mettere in rilievo le cifre del potenziale di risparmio al 2020 negli usi finali di elettricità, che è il settore dove il nucleare può fornire un contributo. Prendendo come riferimento il potenziale stimato dall'ENEA e su cui concordano anche altre autorevoli stime, entro il 2020 si potrebbero evitare consumi finali di elettricità per 73 TWh l'anno, cioè il 22% circa dei consumi finali lordi del 2008. Questo enorme potenziale di risparmio energetico al 2020 corrisponde alla produzione di 6-7 grandi centrali nucleari della taglia ipotizzata dal governo (1.600 MW), ammesso che siano realizzabili entro il 2020. È infatti questa la prerogativa che fa la differenza fra l'efficienza energetica e le altre opzioni basate su innovazioni radicali, siano esse soluzioni hard come il nucleare o soft come le rinnovabili: le misure di efficienza energetica sono a portata di mano, sono immediatamente realizzabili oggi, consentono di prender tempo laddove le innovazioni radicali non siano ancora mature in termini di prestazioni e di costi.

Le misure di efficienza energetica sono convenienti per la collettività. Ma ci sono vari tipi di barriere che impediscono l'accelerazione e il pieno dispiegamento delle decisioni d'investimento nelle misure di efficienza energetica. La barriera principale è data dal fatto che, nonostante la convenienza economica intrinseca delle misure di efficienza, anche gli strumenti di accelerazione degli interventi costano. In questa fase di attuazione di obiettivi energetici e climatici al 2020 non ci si può esimere dal fare il confronto fra gli oneri dei diversi sistemi di incentivazione nel settore energetico. In attesa che un ente indipendente faccia un confronto completo, abbiamo effettuato un confronto fra il principale meccanismo di incentivazione dell'efficienza energetica, quello dei certificati bianchi, e i principali strumenti di incentivazione delle fonti rinnovabili, cioè i certificati verdi per i grandi impianti a rinnovabili e il conto energia per il fotovoltaico.

Due parole sul meccanismo dei certificati bianchi, che è in vigore dal 2005. Dopo una prima fase di rodaggio, culminata con la revisione del meccanismo ad opera del DM 21/12/2007, i certificati bianchi stanno iniziando a dare risultati consistenti. Si pensi che nel 2008 il risparmio di energia primaria è stato di 2 Mtep ed entro il 2012 si dovrà arrivare a 6 Mtep di energia primaria. Dal punto di vista dei costi/benefici per la collettività, questo meccanismo comporta oneri "apparenti" per gli utenti in bolletta per circa 300 milioni di euro l'anno, ai quali fanno in realtà fronte, in virtù dei risparmi energetici annui ottenuti dagli utenti, benefici sociali netti per 1,2 miliardi di euro, scontando sia gli oneri apparenti in bolletta che gli investimenti annui nelle tecnologie di efficienza.

Per quanto riguarda i meccanismi di incentivazione dell'elettricità da fonti rinnovabili, l'Autorità per l'energia elettrica e il gas stima costi complessivi a carico degli utenti per 2,5 miliardi di euro nel 2009. Per far fronte al nuovo obiettivo di diffusione delle rinnovabili, questi oneri cresceranno fino a 6,5 miliardi nel 2020 nei soli impieghi elettrici. Dato che questa valutazione non considera, fra l'altro, gli ulteriori oneri – comparativamente inferiori a parità di energia incenti-

vata – che saranno necessari per incentivare la diffusione degli impianti a fonti rinnovabili per la produzione di calore o freddo (solare termico, *solar cooling*, biomasse, pompe di calore, geotermia) – ampliamento settoriale richiesto dalla nuova direttiva sulle fonti rinnovabili – è evidente che l'attuale sistema di incentivazione delle misure di riduzione della CO<sub>2</sub> presenta forti squilibri, che vanno armonizzati stimolando innanzitutto l'efficienza energetica e le rinnovabili per la produzione di calore o di freddo (solare termico, teleriscaldamento a biomasse, geotermia a bassa entalpia). Infatti, un confronto di convenienza economica a parità di CO<sub>2</sub> evitata evidenzia che, mentre i certificati bianchi per il risparmio energetico comportano un beneficio economico netto per la collettività di 223 euro/tCO<sub>2</sub> evitata (benefici annui al netto dei costi d'investimento e di incentivazione), i certificati verdi utilizzati per incentivare i grandi impianti di generazione alimentati con fonti rinnovabili comportano un onere stimabile sulla componente energia della bolletta di 181 euro/tCO<sub>2</sub> e il conto energia per il fotovoltaico aumenta l'onere a 735 euro/tCO<sub>2</sub> (ricadente in bolletta attraverso la componente A3).

Ovviamente, anche noi auspichiamo un'ampia diffusione delle tecnologie basate sulle fonti rinnovabili e il pieno rispetto della nuova direttiva europea 28/2009. Tuttavia, quando si parla di fonti rinnovabili non bisogna dimenticare che non sono fonti illimitate e liberamente accessibili; al contrario, sono fonti in vario modo limitate dalla disponibilità di territorio necessario al loro sfruttamento e in alcuni casi le tecnologie attuali possono comportare problemi di compatibilità con usi alternativi del territorio e del paesaggio, in particolare nel nostro Paese, dove la qualità del territorio contribuisce in maniera sempre più incisiva (attraverso il turismo, il commercio di prodotti eno-gastronomici, la moda, il design) alla formazione della ricchezza nazionale. In termini di produzione interna dell'Italia, abbiamo stimato che, pur rimodulando gli strumenti di incentivazione in un'ottica di sistema e secondo finalità di efficienza economica e uso razionale del territorio disponibile, è possibile una tripli-

cazione della produzione nazionale delle rinnovabili al 2020 rispetto al 2005.

La promozione delle fonti rinnovabili su una scala vasta e capillare, come quella richiesta dagli obiettivi della nuova direttiva europea, pone quindi un problema politico di più ampia portata, che riguarda la nostra capacità di tutelare, preservare e innovare la qualità del nostro territorio in maniera consapevole. Bisogna allora sottolineare che le opportunità della nuova direttiva europea sulle fonti rinnovabili non sono affatto circoscritte al conseguimento dell'obiettivo nazionale e ancora meno al suo conseguimento esclusivamente con interventi domestici. Lo sviluppo delle fonti rinnovabili può dare tante opportunità di alle nostre PMI in tutta Europa e non solo: se accompagnata da un'adeguata politica nazionale di supporto all'internazionalizzazione delle PMI, può costituire un volano per la penetrazione sui mercati degli altri paesi del Mediterraneo e nelle economie emergenti.

### Proposte per un cambio di passo

Ovviamente, la strategia di efficienza parte dal negoziato internazionale sul clima. Qualunque sia il seguito del fragile accordo politico di Copenaghen, nel prosieguo del negoziato in sede UNFCCC l'Italia e l'Europa intera dovrebbero farsi promotrici di iniziative che valorizzino il potenziale di miglioramento dell'efficienza energetica a livello internazionale:

- nel *burden sharing* fra i paesi industrializzati, cercando di impegnare i paesi più inefficienti e ricchi su riduzioni percentuali delle emissioni relativamente maggiori;
- nel funzionamento dei meccanismi di flessibilità, estendendo il commercio dei permessi di emissione almeno a tutti i paesi industrializzati, adottando *benchmark* settoriali di efficienza energetica, e rafforzando il ruolo delle misure di efficienza energetica nell'ambito del meccanismo di sviluppo pulito (CDM) o dei nuovi meccanismi in via di definizione;
- negli strumenti di cooperazione e coinvolgimento delle economie emergenti nel controllo delle emissioni di gas serra, concordando

per tali paesi obiettivi di efficientamento energetico compatibili con le loro legittime aspirazioni di sviluppo economico;

- nel sostegno finanziario offerto ai paesi in via di sviluppo, commisurando l'entità delle risorse offerte al fabbisogno economico di tali paesi, a piani di sviluppo sostenibile e a criteri di costo/beneficio degli interventi.

Ma è soprattutto sul fronte interno europeo che si giocherà la partita per l'Italia, coi suoi punti di forza e di debolezza. L'Europa ha fallito a Copenaghen anche perché dietro l'apparente compattezza del "20-20-20" si nascondono profonde divergenze nella politica energetica europea. L'Europa non è affatto compatta su quello che, nelle enunciazioni formali e in teoria, dovrebbe essere il motore di una strategia climatica attenta alla competitività e all'innovazione tecnologica del vecchio continente: la politica di efficienza negli usi di energia. Pochi lo sanno, perché anche i *mass media* sono caduti nel tranello, ma il "20-20-20" è sempre stato monco di un "20". Sotto le spinte delle *lobby* prevalenti nei big europei, il pacchetto di provvedimenti sinora approvato in Europa non comprende affatto l'obiettivo quantitativo del 20% di efficienza energetica, nonostante fosse stato enunciato dal Consiglio di marzo del 2007. Non abbiamo nessuna direttiva quadro sull'efficienza energetica al 2020, mentre abbiamo due nuove direttive quadro, sulle fonti rinnovabili e sulle emissioni di gas serra nei settori ETS (grandi impianti energetici e industriali), e una semplice Decisione di riduzione dei gas serra nei settori non-ETS. Come dire: l'Europa ha partorito un bambino, ma non c'è il latte per consentirne la crescita. Mancano i provvedimenti più importanti che consentono di alimentare la realizzazione degli obiettivi del pacchetto. L'Europa non ha realizzato una politica davvero integrata (leggi "economicamente ottimizzata") degli obiettivi di gas serra, rinnovabili e domanda di energia. All'efficienza non è stata data la priorità che a nostro parere merita non solo in Italia, ma in tutta Europa. La "dimenticanza" dell'efficienza energetica costituisce il punto più debole di una strategia che vuole essere ricca di opportunità, concepita non solo

per esigenze ambientali ma anche per rafforzare la competitività europea. Pensiamo che sia maturo il momento per chiedere tutti insieme, come sistema Italia, un'inversione di rotta nella politica italiana ed europea. Occorre chiedere un obiettivo vincolante di risparmio energetico mediante misure di efficienza in tutta Europa. Questo obiettivo deve almeno essere del 20%, cioè pari all'obiettivo di riduzione dei gas serra, in maniera tale da assicurare che ogni Stato intraprenda la necessaria dose di misure economicamente convenienti per la riduzione delle emissioni di gas serra. Questo obiettivo è necessario per rendere possibile e credibile l'impegno di riduzione delle emissioni di gas serra dell'Europa nel contesto globale. Inoltre, così come è stato realizzato un *burden sharing* nazionale nei settori non-ETS e nelle rinnovabili, anche all'obiettivo europeo di risparmio energetico dovrebbe essere consentita la differenziazione nazionale degli impegni, in maniera tale da ottimizzare la strategia europea, coinvolgendo tutti gli Stati e senza escludere a priori un maggior impegno nei paesi ricchi, relativamente più inefficienti sotto il profilo energetico. Tutti devono fare la loro parte, ma cerchiamo di partire dalla riduzione degli sprechi.

Per quanto riguarda l'Italia, le attuali valutazioni di potenziale al 2020 messe a punto dall'ENEA, portano a ritenere che un obiettivo compreso fra il 15-20% sia realizzabile a costo zero o a costi trascurabili. Tuttavia, occorre una svolta nella politica nazionale. Non servono nuovi atti o leggi, se non sostenuti da una convinta volontà politica. Più che di misure straordinarie in materia di efficienza energetica (leggi "piano straordinario di efficienza energetica", previsto dalla legge sviluppo entro la fine del 2009), o di un piano nazionale che rimane nei cassetti (vedi piano del Ministero dello Sviluppo economico del luglio 2007, un documento che è diventato un vero e proprio "fantasma" nell'ambito della nostra legislazione), per non parlare del D.Lgs. 155 del 2008 che, pur avviando il formale recepimento della direttiva quadro 2006/32/CE sull'efficienza energetica negli usi finali, è sinora rimasto privo di attuazione, il nostro Paese ha bisogno

di una politica convinta sull'efficienza energetica, coerente col nuovo quadro di normative comunitarie su energia e clima al 2020. La razionalizzazione della domanda di energia agevolerebbe il rispetto degli impegni dell'Italia di riduzione dei gas serra e di sviluppo delle rinnovabili, la riduzione della nostra dipendenza energetica dall'estero, il contenimento dei prezzi dell'energia a beneficio di famiglie e imprese, favorendo nello stesso tempo l'accelerazione degli investimenti nelle tecnologie e nei servizi energetici e la ripresa economica, partendo dalle PMI che caratterizzano il tessuto produttivo del nostro Paese. Un convinto impegno sull'efficienza energetica permetterebbe di sfruttare in maniera strategica le posizioni di primato nell'efficienza energetica di processi e prodotti che l'Italia e la sua industria possono vantare nel contesto europeo e, soprattutto, globale.

Il principale fattore di stimolo del rilancio delle politiche di efficienza passa attraverso la responsabilizzazione delle Regioni, in coerenza con gli impegni già assunti in Europa e che dovranno essere rinnovati dopo Copenaghen. Senza obiettivi regionali al 2020 non potremo ambire a risultati incisivi al 2050 e oltre. Occorre infatti tener presenti i tempi di realizzazione delle infrastrutture di efficientamento, necessarie nei trasporti e nell'edilizia.

Nei trasporti è inderogabile, anche per ridurre l'incidentalità stradale e la congestione, un piano di Emergenza Trasporti Passeggeri basato sulle infrastrutture di trasporto per l'efficienza energetica, cioè capaci di sfruttare il vasto potenziale di efficienza energetica insito nelle modalità alternative alla strada (*tabella 1*).

Mentre qualcosa è stato fatto nei trasporti passeggeri a lunga distanza (leggi TAV), la vera emergenza oggi e per i prossimi decenni sono i trasporti locali. Basta con lo spreco di risorse pubbliche in misure di dubbia efficacia per il traffico urbano! L'ultimo esempio è il finanziamento pubblico di centraline per la ricarica di auto elettriche, capace solo di generare nuovi costi esterni da mobilità privata, attraverso lo stimolo all'acquisto di terze e quarte nuove auto per famiglia. Alla luce del salto qualitativo che richiede

**Tabella 1 – Consumi specifici di energia ed emissioni di CO<sub>2</sub> per le principali categorie e modalità di trasporto passeggeri**

	<b>g eq. petrolio/pax-km</b>	<b>g CO<sub>2</sub>/pax-km</b>
Autovetture	35,1	105
Due ruote	26,9	80
Autobus e pullman	10,2	31
Ferrovie	16,0	35
Metropolitane	10,0	21
Aereo – voli pax nazionali	64,5	192
Aereo – voli pax internazionali Italia	46,5	138
Aereo – tutti i voli passeggeri	49,4	147

Fonte: Lombard, Molocchi (2006), *Quinto rapporto Amici della Terra/FS S.p.A. sui costi ambientali e sociali della mobilità*

l'emergenza climatica, anche continuare a puntare sul trasporto pubblico su gomma rischia di essere poco efficace, di non soddisfare le esigenze di qualità ambientale, accessibilità, tempestività di arrivo e di velocità richieste dall'utenza. La scriteriata e pericolosa diffusione che hanno avuto le due ruote nei nostri centri urbani più congestionati (come risposta all'assenza di alternative di trasporto pubblico) dimostra che, o il servizio pubblico diventa competitivo con le prestazioni offerte dalle due ruote, o ogni tentativo di rafforzamento dei trasporti pubblici continuerà a risultare fallimentare.

La cura c'è, e lo dimostrano le metropoli internazionali dotate di una capillare rete metropolitana e di collegamento ferroviario con l'hinterland. In Italia ci siamo dimenticati (ci abbiamo rinunciato, forse per sfinimento) che l'unica via di uscita è un convinto programma di estensione e potenziamento del trasporto locale di massa su rotaia, e questo lungo i tre assi prioritari: ambito urbano, collegamenti città-periferia (metropolitane leggere, linee ferroviarie locali-regionali) e collegamenti intercity regionali. In una situazione di risorse economiche scarse, non bisogna arrendersi: che si ricorra al *project financing* e, per la quota di contributo pubblico, che l'amministrazione applichi l'analisi costi benefici nell'uso delle risorse pubbliche per individuare le priorità d'intervento (i bacini di traffico che denunciano le situazioni più critiche, come l'hinterland milanese, il Veneto, il Lazio, l'area di Fi-

renze, la Liguria e molti altri casi). Visti i risultati degli studi sui costi esterni dei trasporti in Italia (oltre il 3% del PIL), le risorse pubbliche salteranno fuori, perché oggi l'incidentalità stradale, l'inquinamento e la congestione da traffico pesano non solo sui singoli cittadini ma anche e pesantemente sulle casse dello Stato.

Nel trasporto merci, le soluzioni sono analoghe sotto il profilo infrastrutturale, con un ruolo da protagonista non solo per la rotaia ma anche per il trasporto marittimo, non solo per ragioni di efficienza energetica (*tabella 2*), ma anche per l'esigenza di contenere gli elevati costi di congestione che caratterizzano ormai la maggior parte della nostra rete di trasporto su strada.

L'efficienza energetica "spinta" richiede un programma per la realizzazione di infrastrutture a supporto del trasporto combinato strada-rotaia (centri intermodali e relativi collegamenti) e a supporto del combinato marittimo (piccole e medie infrastrutture per il miglioramento della logistica e dei collegamenti fra il porto e le arterie stradali e ferroviarie abilitate al traffico merci). Amareggia constatare che le finalità di sicurezza stradale e "decongestionamento strutturale" non siano riconosciute dalla politica come delle vere e proprie emergenze sociali, e che la priorità del supporto pubblico all'investimento in questi due settori sia data ad altri progetti, sub-ottimali nei profili di utilità pubblica.

Anche nell'edilizia sono necessari massicci investimenti infrastrutturali e immobiliari, anche se

Tabella 2 – Emissioni specifiche di CO<sub>2</sub> del trasporto merci: un confronto fra modalità

Modalità di trasporto		CO <sub>2</sub> (g/t-km)	Anno	Fonte (ambito di stima)
<b>Strada</b>	Veicoli stradali per trasporto merci (massa nom. massima < 3,5 t)	685	2003	A (valori medi Italia)
	Veicoli stradali per trasporto merci (tutti i veicoli con m.n.m.> 3,5 t, 6,2 t carico medio)	112	2003	A (valori medi Italia)
	Veicoli stradali per trasporto merci (autoarticolati con m.n.m. 40-44 t, 16 t carico medio)	61	2003	A (valori medi Italia)
<b>Rotaia</b>	Treni merci	36	2003	A (valori medi Italia)
<b>Aviazione</b>	Voli cargo	556	2003	A (valori medi Italia)
	Cisterne (Oil, Chemicals, LG, altro)	11	2007	B (valori medi globali)
	Portarinfuse solide	10	2007	B (valori medi globali)
<b>Trasporto marittimo</b>	Carico generale e specializzato	42	2007	B (valori medi globali)
	Portacontainer & Reefer	18	2007	B (valori medi globali)
	Ro-pax and Ro-Ro cargo	145	2007	B (valori medi globali)
	Totale navi da carico e miste carico/pax	17	2007	B (valori medi globali)

Fonte: (A) Lombard, Molocchi (2006), *Quinto rapporto Amici della Terra/FS S.p.A. sui costi ambientali e sociali della mobilità*, (B) Maffii, Chiffi, Molocchi (2007), *External costs of maritime transport. Report for the European Parliament*

qui la situazione di *policy* è diversa, in quanto sono appena entrati in vigore i primi Decreti attuativi (DPR 59/2009 e DM 26/6/2009) del Decreto legislativo 192/2005, che ha recepito la nota Direttiva europea del 2002 sugli standard energetici e la certificazione edilizia, introducendo, fra l'altro, disposizioni specifiche, molto più ambiziose degli obblighi comunitari. Data la portata di questo nuovo corpus normativo, di cui l'Europa sta già discutendo la fase due (proposte di direttive della Commissione del 13 novembre 2008) andando a influire in maniera ancor più incisiva sulle singole unità immobiliari, in Italia sarebbe necessaria perlomeno una massiccia campagna informativa finalizzata a informare, sensibilizzare e coinvolgere tutti i soggetti interessati dall'applicazione della normativa. In particolare, è necessaria una vasta opera di sensibilizzazione sul certificato energetico dell'edificio e di valorizzazione delle informazioni ivi riportate, ad esempio traducendo gli indicatori energetici di sintesi forniti dal cruscotto in extracosti costi annui dell'unità immobiliare rispetto al miglior standard di riferimento.

Per quanto riguarda gli strumenti di incentivazione delle misure di efficienza energetica, oltre al-

le detrazioni fiscali fruibili per gli interventi nell'edilizia, l'Italia ha un meccanismo di portata generale, quello dei Titoli di Efficienza Energetica (o "certificati bianchi"), che sta avendo buoni risultati e che dovrebbe essere visto come una best practice nazionale da esportare in tutta Europa (non ultimo, proprio per ottimizzare il raggiungimento degli obiettivi di CO<sub>2</sub>). Per ricordare i certificati bianchi con gli obiettivi europei al 2020, bisognerà estendere l'ambito di applicazione dell'obbligo di risparmio, sia riducendo le soglie dimensionali per l'obbligo nei settori già coperti (distributori di elettricità e gas), sia coinvolgendo i settori di consumo finale sinora rimasti esclusi. L'incremento dell'obbligo di risparmio energetico determinerà un forte incremento del valore di mercato dei certificati bianchi, necessario per stimolare gli investimenti più onerosi. Nell'immediato, ne beneficeranno soprattutto le ESCO, gli *Energy* e i *Mobility manager* sempre a corto di risorse, gli operatori di logistica, i gestori delle grandi flotte veicolari, navali e aeree che sapranno realizzare progetti di efficienza. A medio e lungo termine ne beneficeranno tutti gli utenti: famiglie, imprese, pubbliche amministrazioni, con ricadute utili per l'intero Paese.

## Esplode il risiko del nuovo millennio: la caccia alle terre è iniziata!

Paola Perfetti

Stagiaire ENEA, Unità Relazioni Internazionali

*Milioni di ettari di terreno sono oggetto di transazioni e compravendite, per un giro di affari di decine di miliardi di dollari: queste le cifre del land grab, l'accaparramento di terre nei paesi più poveri da parte di governi stranieri, fondi d'investimento internazionali e multinazionali, sempre più avidi di spazi per la produzione di cibo e colture da convertire in biocombustibili*

### The New Millennium Risk Game Explodes: the Capture of Territories has just Started!

*Over the past five years foreign investors such as governments, sovereign wealth funds, companies, have purchased or leased millions hectares of farmland in the developing world. The so-called "land grab" has grown as an international issue, as nations attempt to extend their control over food-producing lands and investors attempt to turn a profit in biofuels and food commodities markets*

Negli ultimi cinque anni si è sviluppato il fenomeno della corsa all'accaparramento di vaste superfici di terra coltivabile, soprattutto nell'Africa sub-sahariana, ma anche in alcuni paesi del sud-est asiatico e dell'America Latina. Un trend che si è guadagnato un nome quanto mai calzante ed efficace a livello internazionale: *land grabbing* (dall'inglese *land*: terra, *grab*: afferrare). Le stime parlano di 15-20 milioni di ettari di terra già comprati o in trattativa d'acquisto o *leasing*, per un valore totale di 100 miliardi di dollari<sup>[1]</sup>. Ci troviamo di fronte a transazioni di proporzioni imponenti, che hanno suscitato l'interesse dei media e della società civile. La corsa ad acquisire terra in Africa da parte di governi, grandi imprese e fondi speculativi stranieri trae origine da molteplici fattori, quali l'apprensione per la sicurezza alimentare, la crescita della produzione di biocombustibili per far fronte ai problemi di approvvigionamento energetico ed infine l'attività speculativa, sia nel mercato fondiario che in quello delle *soft commodities*, di quegli operatori in cerca di nuove fonti di profitto sicuro e veloce in un periodo di crisi economica e finanziaria, i quali intravedono un nuovo bene strategico nella vendita a basso costo di terreni agricoli nei paesi poveri.

Solo dalla metà del 2008, circa duecento casi di negoziazione sono stati riportati dai media e dalle istituzioni internazionali, a sottolineare il trend senza precedenti nel contesto delle vendite di terreni coltivabili. Il quadro non è completo e molte negoziazioni o accordi non sono trapelati e non sempre se ne conosce nel dettaglio la portata. Le quantificazioni spesso sono approssimative, e si evidenzia il problema della carenza di informazioni che, nonostante la recente ondata di interesse mediatico e alcuni esempi isolati di ricerca e raccolta di dati<sup>[2]</sup>, sono ancora limitati e poco approfonditi, soprattutto rispetto alle valutazioni degli

impatti positivi e negativi del fenomeno. Solo di recente, nel 2009, è stato pubblicato il primo report analitico, condotto dall'Istituto Internazionale per l'Ambiente e lo Sviluppo (IIED), il Fondo Internazionale per lo Sviluppo dell'Agricoltura (IFAD) e l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO), che rappresenta ad oggi il tentativo più autorevole di quantificare il fenomeno e che ha messo nero su bianco lo stato degli "investimenti" terrieri, in particolare in alcuni paesi africani quali Madagascar, Ghana, Mali, Sudan, Etiopia<sup>[3]</sup>.

### Garantire l'approvvigionamento alimentare

La crisi dei prezzi alimentari del 2008, che ha generato l'aumento della spesa per le importazioni, le condizioni climatiche estreme, le carenze idriche e terriere, il tutto combinato con la crescita economica e demografica, hanno portato molte nazioni ricche – ma evidentemente povere di risorse naturali – come i paesi del Golfo, la Cina e la Corea del Sud, a riesaminare le politiche nazionali di sicurezza alimentare. Molti governi hanno rilevato la necessità di stabilizzare le forniture attraverso il trasferimento della produzione di derrate alimentari laddove la terra coltivabile è presente in abbondanza e, soprattutto, a buon mercato, nella speranza di risolvere la questione dell'approvvigionamento, nonché per evitare le tensioni sociali interne e l'instabilità politica causate dalla crisi dei prezzi. Gli investitori che partecipano a questa corsa sembrano rispondere ad una paura ancestrale: l'idea che il cibo diventi un bene introvabile. Il caso recente più eclatante, che ha portato alla ribalta il fenomeno della corsa agli accaparramenti terrieri, si è verificato nel 2008, protagonista la sudcoreana *Daewoo Logistics*, la quale

aveva stipulato un accordo con il governo del Madagascar, che prevedeva l'affitto, per un periodo di 99 anni, di circa 1,3 milioni di ettari di terreno<sup>[4]</sup>, ossia la metà della terra coltivabile del paese malgascio, per produrre olio di palma e mais, di cui i sudcoreani sono tra i maggiori consumatori al mondo. L'operazione avrebbe dovuto avvenire a costo zero, dando in cambio solo l'assunzione di manodopera. Questo modello di accordo ha fatto da detonatore a violente e diffuse proteste (figura 1) che si sono scatenate contro il governo e hanno contri-



**Figura 1**  
Manifestazioni di protesta in Madagascar  
Fonte: foto AFP

buito al suo rovesciamento, portando all'attenzione internazionale questo genere di operazioni. Ci si è subito resi conto che, in realtà, quel che stava accadendo in Madagascar non era un caso isolato, ma riguardava l'intero continente africano e tutte quelle zone del pianeta che possono essere sfruttate per produzioni agricole, nonostante gran parte della terra coltivabile del pianeta sia già utilizzata.

### Mangiare o fare benzina?

Secondo i dati raccolti nello studio firmato IIED, IFAD e FAO, il totale delle terre cedute a vario

titolo, solo nei cinque paesi studiati, ammonta a ben 2.500.000 ettari, di cui 425.000 per la produzione di biocarburanti nel solo Madagascar. L'ammontare degli investimenti non sembra diminuire, anzi, gli appetiti degli investitori sono ben lontani dall'essere soddisfatti.

La crescente domanda di biocarburanti, un settore fortemente sussidiato, sta stimolando la corsa all'accaparramento di vastissime estensioni di terreno, soprattutto ad opera di paesi dipendenti dal petrolio, che hanno fissato ambiziosi obiettivi per la loro produzione. Si tratta di una tendenza che si scontra con la questione della sovranità e della sicurezza alimentare dei paesi oggetto degli investimenti, creando peraltro competizione, nell'uso del suolo, tra destinazioni *food* e *no-food*, considerato il fatto che mais, grano, canna da zucchero, soia, olio di palma e altre colture possono essere utilizzati anche per il consumo umano; essi comportano inoltre un impatto ambientale non trascurabile, con il sacrificio di foreste, terreni coltivabili e zone di pascolo volto a lasciare spazio a piantagioni di palma da olio o alla produzione intensiva di soia, che richiedono inoltre ingenti quantità di acqua, nonché maggiore impiego di pesticidi e fertilizzanti. I metodi di coltivazione agroindustriali spesso prevedono, inoltre, elevati consumi di petrolio, causano erosione del suolo e perdita della biodiversità.

L'ex relatore speciale dell'ONU sul diritto all'alimentazione, Jean Zeigler, ha dichiarato: "Quando i prodotti alimentari scarseggiano, usarli per produrre combustibili è un grave errore. Anzi, di più: è un crimine contro l'umanità".

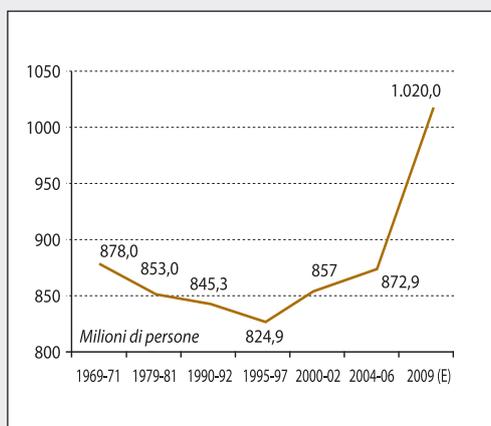
Ancora una volta, in nome delle esigenze dei paesi del Nord, in questo caso energetiche, a farne le spese sono le popolazioni e le regioni più povere, che corrono il rischio di vedere minacciato ulteriormente il diritto primario all'alimentazione e di mettere in pericolo la sovranità sulle proprie terre, proprio nel momento in cui la comunità internazionale e organizzazioni come la FAO dichiarano, senza mezzi termini, il numero in crescita degli affamati sul nostro pianeta (figura 2).

## Terreni coltivabili marginali e popolazioni dimenticate

È una convinzione molto diffusa che i paesi in via di sviluppo posseggano vaste zone incolte, che aspettano di essere coltivate e rese produttive. Gli investitori parlano spesso di terreni definiti marginali, o inutilizzati, sostenendo l'esistenza di milioni di ettari di terra con queste caratteristiche nel mondo, soprattutto in Africa, senza alcuna importanza per la biodiversità o, presumibilmente, per la sopravvivenza di buona parte

alla terra e alle risorse naturali per mezzo di consuetudini incerte ed informali. I terreni incolti concessi agli stranieri sono spesso usati per la pastorizia, la raccolta di legna o anche la coltivazione di erbe mediche da parte di piccoli contadini.

Tali impieghi tendono ad essere sottovalutati nelle stime ufficiali, perché non sono finalizzati ad attività commerciali, ma possono fornire preziose fonti di sostentamento. Queste grandi acquisizioni di terra potrebbero compromettere il benessere delle popolazioni più povere, privan-



**Figura 2**  
Andamento della popolazione mondiale malnutrita, 1969-2009  
Fonte: FAO



**Figura 3**  
Torbiera rasa al suolo (terreno marginale)  
Fonte: foto di Rita Sastrawan

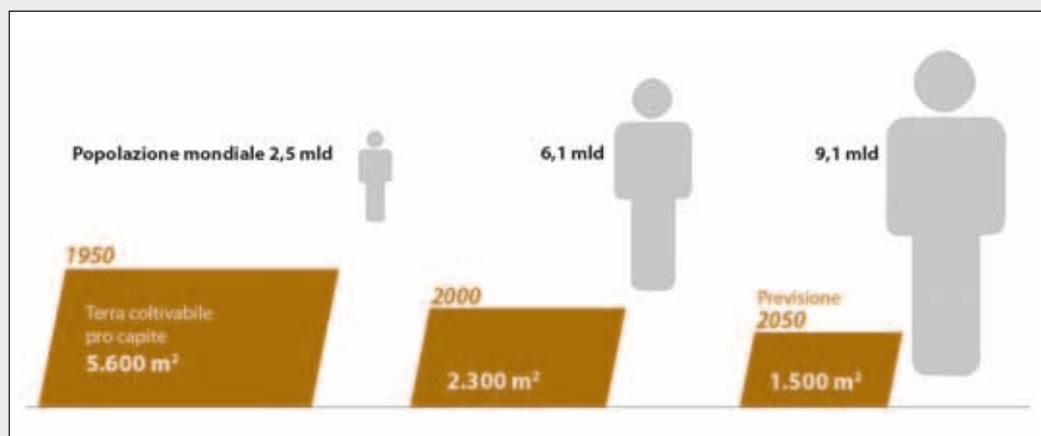
della popolazione. Con ciò si manca talvolta di considerare che, nella maggioranza dei casi, questa terra definita dai governi e dalle multinazionali "marginale", "incolta" o "inutilizzata" è, in realtà, vitale per chi vive di agricoltura o pastorizia su piccola scala: per le donne, che rappresentano il 70% della forza lavoro nell'agricoltura, e le popolazioni indigene, presso le quali è proprietà consuetudinaria della comunità, utilizzata abitualmente e tradizionalmente per generazioni (figura 3).

Nel continente africano, il diritto di proprietà è molto sfaccettato e più del 90% della popolazione rurale dell'Africa sub-sahariana accede

dole della sicurezza alimentare e dei mezzi di sussistenza. Anche se, attualmente, le terre dovessero essere sotto-utilizzate, i prezzi dei prodotti alimentari in aumento, la crescita demografica e il riscaldamento globale possono costituire dei fattori che, in un futuro non troppo lontano, eserciteranno pressioni sui governi locali che potrebbero voler convertire quelle terre ad un uso agricolo. Valutazioni nazionali sistematiche dei terreni disponibili, per eventuali assegnazioni agli investitori, sono state avviate di recente in alcuni paesi africani, e probabilmente rappresentano lo strumento più utile per chiarire la natura delle terre.

Nel 1950 ogni essere umano aveva a disposizione 5.600 metri quadri del pianeta per il suo sostentamento alimentare. All'alba del III millennio siamo scesi a 2.300 e nel 2050 il nostro "spazio vitale", secondo le stime dell'UNFPA, sarà di soli 1.500 metri quadri (figura 4). La terra sta diventando una priorità strategica per quei governi che sanno guardare lontano, mentre quelli che non ne sono capaci (o non possono permettersi di farlo), vendono invece la propria, rinunciando a un bene fondamentale.

Indonesia. E, dall'altra parte del mondo, in Guatemala o in Argentina. In cima alla lista dei paesi che più sono interessati alle acquisizioni di terra ci sono Arabia Saudita, Cina, Corea del Sud, Qatar ed Emirati Arabi. Ma in Africa le compagnie europee e statunitensi tengono il passo. I paesi del Golfo e la Cina cercano investimenti con l'obiettivo di promuovere la sicurezza alimentare interna. Le compagnie europee, invece, puntano soprattutto ad assicurarsi porzioni di terra per produrre biocombustibili (figura 5).



**Figura 4**  
Disponibilità di terra per abitante  
Fonte: FAO

## Geografia del cibo

La terra oggetto di compravendita, come già detto, è destinata per lo più alla produzione di cibo e colture da trasformare in biocarburanti, ma la distinzione non è sempre netta. Lo zucchero, per esempio, può essere prodotto sia a scopo alimentare che per ottenere bioetanolo. Ci sono casi in cui prevale l'uno o l'altro scopo. Purtroppo, i dati disponibili relativi agli investimenti terrieri non sono sempre verificabili. Ad ogni modo, i paesi coinvolti sono numerosi: spiccano soprattutto Sudan, Madagascar, Tanzania, Etiopia, Mozambico. Gli affari vengono conclusi anche nelle Filippine, in Laos, in Cambogia e in

## L'Africa svende le sue terre: qui Africa, vu' cumpra'?

In tutta l'Africa le politiche agricole e fondiari devono confrontarsi con la realtà brutale della fame. Le carestie scoppiano con casualità, scatenando catastrofi e rimodellando la storia. Ma non c'è solo questo. I governi locali, impoveriti, e in alcuni casi corrotti, sono troppo disponibili ad accogliere queste iniziative e a svendere la terra a prezzi da regalo.

In Africa gli Stati sono in concorrenza tra loro per accaparrarsi gli investitori e fanno a gara per offrire prezzi più bassi; alcuni paesi, dunque, nel tentativo di procacciare gli investitori, si trovano

a fare notevoli sforzi di *marketing* per attirare gli investimenti stranieri, addirittura censendo le terre disponibili per offrirle al mercato. Gli investitori hanno come unico interlocutore il governo locale, anche perché il suolo è generalmente di proprietà dello Stato e i cittadini hanno solo

un diritto d'uso. La Banca Mondiale stima che nel continente solo una piccola percentuale dei terreni, fra il 2 e il 10%, sia di proprietà privata<sup>[5]</sup>. In Camerun, solo nel 3% dei casi c'è un documento che certifica la proprietà di un terreno. In Sudan circa il 95% della terra è dello



Figura 5  
 Mappa mondiale delle acquisizioni terriere  
 Fonte: IFPRI, FAO, GRAIN

### Qualche dato

- La **Cina** ha acquistato 2 milioni e mezzo di ettari nella Repubblica democratica del Congo per la coltivazione di piantagioni di palma da olio. Si sta anche negoziando per due milioni di ettari in Zambia per la jatropha.
- Dal Regno Unito, **CAMS Group** ha acquistato 112.000 ettari per coltivare jatropha in Tanzania, e per lo stesso scopo la **Sun Biofuels** ha acquistato 13.500 ettari in Etiopia.
- La tedesca **Flora EcoPower** ha acquisito 13.000 ettari in Etiopia.
- La **Corea** si è assicurata 700.000 ettari in Sudan, dove anche la **Giordania** ha investito in 25.000 ettari.
- La **Jarch Capital**, un fondo d'investimento statunitense, ha acquisito 400.000 ettari nel Sudan meridionale sulle sponde del Nilo.
- **AgriSA** (Sudafrica) ha firmato un accordo con il governo della Repubblica Democratica del Congo per la locazione di 200.000 ettari, senza una previsione sulla natura delle coltivazioni.
- **Dubai** ha firmato un accordo per coltivare piantagioni di tè in Etiopia su 5.000 ettari.

riflettore su

Stato. Le aziende ottengono contratti di affitto della terra per lunghi periodi, fino a 99 anni. In realtà, la cessione di diritti fondiari a lungo termine non è così diversa dalla vendita, e le implicazioni appaiono le stesse.

L'Africa sub-sahariana disporrebbe di riserve idriche naturali a sufficienza, eppure soltanto il Sudafrica riesce a realizzare un surplus alimentare. La maggior parte dei paesi sub-sahariani, d'altro canto, è importatrice e, con una popolazione in rapida crescita, probabilmente sarà ancora più dipendente dalle importazioni alimentari nel futuro, nonostante detenga il bene attualmente più prezioso: la terra.

### È possibile un approccio win-win?

Il dossier IIED, FAO e IFAD cerca di distreggiarsi fra il decantare i vantaggi delle transazioni affaristiche sulle terre e il presentare critiche a quest'ultime. Gli autori scrivono che questo contesto in rapida evoluzione crea opportunità, sfide e rischi insieme. Gli investimenti crescenti possono produrre vantaggi di larga scala (aumento del PIL ed entrate per i governi), nonché opportunità per l'aumento degli standard di vita locali. Per i paesi più poveri che dispongono di terra in

abbondanza, l'arrivo di investitori può portare capitali, tecnologia, know-how ed accesso ai mercati e può giocare un ruolo importante nel catalizzare lo sviluppo economico in zone rurali. D'altro canto, le acquisizioni possono avere come risultato, per le popolazioni locali, la perdita dell'accesso alle risorse, da cui esse dipendono per la loro sicurezza alimentare. Questi tipi di accordo prevedono quali prodotti verranno coltivati, l'ubicazione delle coltivazioni e il prezzo di acquisto o di locazione, ma mancano di punti decisivi, come il rafforzamento del meccanismo di controllo o il rispetto di quanto promesso dagli investitori, o delle esigenze di sicurezza alimentare. Spesso i contratti sono troppo brevi e semplici, se paragonati alla realtà economica della transazione. Alcuni accordi prevedono la creazione di occupazione e infrastrutture, ma anche quando gli investitori rispettano le loro promesse, i vantaggi per i governi ospitanti e gli agricoltori locali sono spesso di breve termine. Nel lungo periodo, infatti, devono subire le conseguenze causate da un uso massivo di fertilizzanti chimici, dalla deforestazione, dall'eccessivo consumo di risorse idriche, dalla riduzione della diversità ecologica e dalla perdita di specie locali. E quando, dopo pochi anni, il terreno impoverisce, la prospettiva sarà il trasferimento degli investitori in altre aree.

Le istituzioni internazionali, pur con molte cautele, affermano che gli investimenti dall'estero nel settore agricolo possono rappresentare un'opportunità per il continente, ma bisogna anche essere realisti e tenere presente che la terra così a buon mercato, nonché i governi locali spesso inefficienti e abbandonati a loro stessi sono le precondizioni ideali perché i diritti degli agricoltori e delle popolazioni siano lesi. Una mancanza di trasparenza e di mezzi di controllo pubblico nella negoziazione dei contratti può solo favorire accordi che non massimizzano l'interesse pubblico. Dunque, fin quando i diritti fondiari locali saranno incerti, le legislazioni incomplete, le procedure di registrazione delle terre poco accessibili e i piccoli agricoltori non saranno coinvolti, sarà difficile garantire uno scenario win-win e il land grab si trasformerà in un disastro. Inve-



**Figura 6**  
Donna al lavoro nei campi del Sudan  
Fonte: foto di José Cendón

stire e tutelare l'agricoltura di piccola scala, che rappresenta il 95% del settore agricolo in Africa, sarebbe la via più auspicabile per la crescita<sup>[6]</sup>.

## Codice di condotta

La necessità primaria della comunità internazionale, dunque, è la regolamentazione di tali negoziazioni, cosicché i soggetti stranieri vadano in Africa per investire, anche a vantaggio della popolazione locale. Lo scorso novembre 2009, durante il summit FAO a Roma, è stato annunciato il progetto di un codice di condotta per regolare l'investimento in terreni coltivabili, con l'obiettivo di tutelare le comunità rurali da questa forma di accaparramento, che rende imprescindibile un quadro giuridico che garantisca dei vantaggi per tutte le controparti. Il codice, secondo gli esperti FAO e IFAD, partirà innanzitutto dalla necessità di individuare le *best practice* per rendere convenienti questi investimenti, non solo per i finanziatori, ma anche per chi vive nei territori interessati. Il *land grabbing* rappresenta un giro di affari in crescita, dunque

un'opportunità che va regolata secondo linee guida di trasparenza e schemi di *business* partecipato tra industria e piccoli contadini locali. Attualmente, esiste un problema piuttosto diffuso di leggi nazionali non sufficientemente forti e quadri politico-economici impotenti ed inefficaci, che rendono vulnerabili gran parte dei paesi poveri, i quali non possono far valere gli interessi locali rispetto alle norme internazionali. Dunque, poiché il fenomeno non potrà essere fermato, è opportuno che la comunità internazionale provveda al più presto a improntare un regime legale, che distribuisca equamente i benefici e renda il *land grab* un'opportunità per i paesi in via di sviluppo. La produzione agricola non è tradizionalmente parte delle risorse che hanno creato conflitti, come il petrolio o i diamanti, che hanno storicamente attratto accaparramento illegittimo e creato "mercati violenti". Ma senz'altro, se non regolamentata, anche la corsa alle risorse applicata all'agricoltura e al bene primario qual è la terra, aumenterà l'insicurezza delle aree rurali dei paesi in via di sviluppo.

## Bibliografia

- [1] von Braun J., Meinzen-Dick R.S. (2009), *Land grabbing by foreign investors in developing countries: Risks and opportunities*, IFPRI Policy Brief 13, International Food Policy Research Institute, Washington DC.
- [2] GRAIN, *Seized! The 2008 land grab for food and financial security*, Briefing, GRAIN
- [3] Cotula L., Vermeulen S., Leonard R. e Keeley J. (2009), *Land grab or development opportunity?*, FAO, IIED, IFAD.
- [4] Jung-a, S., Olivier, C., Burgis, T. (20 novembre 2008), *Daewoo to cultivate Madagascar land for free*, Financial Times.
- [5] Deininger, K. (2003), *Land Policies for Growth and Poverty Reduction*, Washington DC, World Bank.
- [6] Wiggin S. (2009), *Can the Smallholder Model Delivery Poverty Reduction and Food Security for a Rapidly Growing Population in Africa?*, Working Paper No. 08, Future Agricultures Consortium, Brighton.

## La scelta nucleare

Ugo Spezia

Segretario Generale dell'Associazione Italiana Nucleare

*La riapertura in Italia dell'opzione nucleare richiede un rinnovato impegno dell'industria, anche attraverso la partecipazione a programmi internazionali, un tempestivo rilancio delle attività di formazione, un impegno di alto profilo nella ricerca sul nucleare da fissione, con particolare riferimento allo sviluppo del nucleare di IV generazione, nonché un miglioramento dei margini di consenso della popolazione*

## The Nuclear Option

*Italy's relaunch of the nuclear option requires a renewed commitment of industry also through its participation in international programmes, a prompt start-up of specific training activities, a high-profile commitment to nuclear fission research, particularly as regards the development of IV Generation nuclear reactors and the achievement of broader public consent*

## Il contesto internazionale

La scelta nucleare si inquadra in un contesto internazionale univoco che dimostra come il rallentamento nella costruzione di nuovi reattori, che nei paesi occidentali seguì il completamento dei programmi nucleari degli anni 70 e 80, sia ormai finito. Le cose sono cambiate improvvisamente quando nel 2003 il prezzo del petrolio ha ripreso a crescere, fino a toccare nel 2008 la punta di 150 dollari al barile, per poi stabilizzarsi intorno agli attuali 80 dollari. A fronte della nuova impennata della fattura energetica anche i paesi europei che avevano deciso di non investire più sul nucleare hanno fatto una rapida marcia indietro.

Nel 1988 il governo svedese aveva deciso di non costruire più nuove centrali e di spegnere gradualmente nell'arco di 20 anni i 12 reattori in funzione nel paese. Nel febbraio dello scorso anno il governo ha revocato la decisione, incassando il consenso del 62% degli elettori, e sta attualmente pianificando la costruzione di dieci nuovi reattori destinati a sostituire quelli in esercizio aumentando la potenza.

Nel 1994 il governo olandese decise di spegnere nel 2003 l'unico reattore in funzione nel paese. Ma nel 2003 il reattore non fu spento e nel 2006 il governo annullò la decisione, autorizzando l'impianto a prolungare l'esercizio fino al 2034. Nel settembre 2008 l'operante della centrale ha chiesto l'autorizzazione a costruire un secondo reattore nel medesimo sito.

Nel 2002 il governo tedesco decise di limitare in media a 32 anni l'esercizio degli impianti nucleari tedeschi, spegnendoli gradualmente al raggiungimento di questo limite. Lo scorso 25 gennaio il nuovo governo ha deciso di sospendere la decisione, e anzi di prolungare di 25 anni l'esercizio delle centrali in funzione.

La Francia, che non ha mai messo in dubbio la scelta nucleare, ha messo in cantiere cinque nuove centrali, la prima delle quali entrerà in funzione nel 2012. La Gran Bretagna sta pianificando la costruzione di otto nuove centrali per sostituire i reattori che saranno posti fuori servizio

nei prossimi anni. A conclusione di queste vicende, oggi in Europa – dagli Urali all'Atlantico – il nucleare fornisce il 33% dell'elettricità prodotta e sono in costruzione 17 nuovi reattori nucleari, cui si aggiungono quattro reattori programmati in Francia, otto nel Regno Unito e otto in Italia.

Le cose non sono andate diversamente negli Stati Uniti, dove i 104 reattori in funzione producono oggi circa il 20% dell'elettricità. È vero che negli ultimi vent'anni non sono entrati in funzione nuovi impianti, ma 54 reattori che erano teoricamente giunti a fine vita sono stati autorizzati ad operare per altri 20 anni. A fronte dell'impennata dei prezzi del petrolio e del gas, l'*Energy Policy Act* varato nel 2005 da Bush ha dato nuovo impulso al nucleare (insieme al carbone pulito e alle fonti rinnovabili) concedendo ai primi impianti un prestito agevolato (ma non troppo, dato che il tasso è superiore di 5 punti al tasso di sconto) per l'80% dei costi di investimento e un credito di imposta di 1,8 cent per ogni chilowattora prodotto nei primi otto anni di attività. L'amministrazione Obama, che secondo alcuni avrebbe dovuto annullare la decisione di Bush, l'ha invece confermata. Lo scorso 16 febbraio il presidente americano ha annunciato la concessione di una garanzia di credito di 8,33 miliardi di dollari per la costruzione di due nuove centrali nucleari AP1000 da 1.100 MW ciascuna nel sito di Vogtle, in Georgia, i cui lavori preparatori sono già in corso e che entreranno in servizio a partire dal 2016. Le motivazioni sottolineate da Obama sono essenzialmente ambientali: *"Questi impianti ridurranno le emissioni di CO<sub>2</sub> di 16 milioni di tonnellate ogni anno, il che equivale a togliere dalle strade 3,5 milioni di automobili. Sono consapevole delle preoccupazioni degli ambientalisti. Ma su temi che toccano la nostra economia, la nostra sicurezza energetica e il futuro del pianeta non possiamo accettare le vecchie contrapposizioni"*. Due giorni dopo l'annuncio di Obama, la Nuclear Innovation North America (NINA, *joint venture* tra NRG Energy e Toshiba) ha pagato 1 miliardo di dollari alla CPS Energy (di proprietà della munic-

palità di San Antonio) per elevare dal 32,3% al 92,4% la propria partecipazione nelle due nuove unità nucleari ABWR da 1.350 MW che entreranno in servizio nel sito di South Texas a partire dal 2016. Complessivamente, le *utility* americane hanno finora presentato richieste di autorizzazione per 26 nuove centrali nucleari, cinque delle quali sono state già ordinate.

In Asia, area nella quale la costruzione di nuovi impianti non ha mai conosciuto flessioni, la scelta nucleare della Cina sta dando vita ad un programma di dimensioni colossali (21 reattori in costruzione, 37 in fase di progetto e altri 120 in fase di pianificazione) cui si aggiungono quelli della Corea (6 reattori in costruzione) e dell'India (5 reattori in costruzione).

Le agenzie nucleari internazionali prevedono con orizzonte 2030 una forte crescita della potenza nucleare installata nel mondo. L'ONU-IAEA, in particolare, aggiorna ogni anno due proiezioni, una "bassa" e una "alta", della potenza elettronucleare installata. Nel 2008 entrambe le proiezioni sono state riviste verso l'alto e stimano per il 2030 una potenza installata pari rispettivamente a 473 GW e a 748 GW. L'OCSE-NEA stima la potenza nucleare installata nel 2030 nel range 404-625 GW. Le proiezioni pubblicate dall'US Energy Information Administration stimano la potenza elettronucleare installata nel 2030 in 498 GWe. A fronte, quindi, di proiezioni che si attestano in media sui 550 GW rispetto agli attuali 370, quello che si profila nel comparto nucleare mondiale è uno sforzo industriale senza precedenti, stimabile in circa 2.000 miliardi di euro ai valori di mercato attuali.

### La nuova normativa

La nuova normativa italiana, volta a creare i presupposti per la riapertura dell'opzione nucleare, verte finora sulla legge n. 99 del 23 luglio 2009 e sul decreto legislativo 15.02.2010. I principi ispiratori puntano a stabilire le condizioni normative e regolamentari necessarie per consentire alle *utility* di programmare nuovi investimenti nel settore nucleare in un quadro di certezze economiche e regolamentari.

La legge 99/2009 all'art. 25 delega il governo ad adottare, entro sei mesi, uno o più decreti legislativi di riassetto normativo recanti la disciplina della localizzazione, progettazione, autorizzazione, costruzione, gestione e controllo degli impianti nucleari, inclusi gli impianti di smaltimento dei materiali radioattivi, fissando una serie di principi e criteri direttivi relativi alla sicurezza e alle specifiche tecniche degli impianti, ai requisiti dei costruttori e degli esercenti, ai criteri di localizzazione, alle procedure autorizzative, alla gestione dei materiali radioattivi, agli strumenti finanziari e assicurativi.

L'art. 29 della legge istituisce la nuova Agenzia per la Sicurezza Nucleare (ASN) quale nuova autorità di controllo nucleare nazionale, che sostituirà in questa funzione il Dipartimento nucleare, rischio tecnologico e industriale dell'ISPRA. L'Agenzia è un organo collegiale che dura in carica sette anni, composto dal presidente, designato dalla Presidenza del Consiglio, e da quattro membri, designati due dal Ministro dello sviluppo economico e due dal Ministro dell'Ambiente. La nomina compete al Consiglio dei Ministri, previo parere favorevole delle Commissioni parlamentari competenti. Gli incarichi di vertice dell'ASN sono di tipo esclusivo. Statuto e Regolamento sono emanati con decreti della Presidenza del Consiglio.

La dotazione di personale iniziale dell'ASN è costituita da 50 dipendenti ISPRA e da 50 dipendenti ENEA che saranno trasferiti con decreti, rispettivamente, dei Ministri dell'ambiente e dello sviluppo economico. L'Agenzia sarà finanziata attraverso il trasferimento di risorse attualmente attribuite ai due enti cedenti, attraverso uno stanziamento di 1,5 milioni di euro all'anno per due anni e infine attraverso i corrispettivi versati, a compensazione delle attività istruttorie e ispettive, dagli esercenti degli impianti nucleari esistenti e da chi proporrà la realizzazione di nuovi impianti.

Il decreto legislativo 15.02.2010 rappresenta il primo decreto di attuazione della delega conferita al governo attraverso la legge 99/2009. Esso prevede l'emanazione di un documento strategico di politica energetica riguardante l'impiego

dell'energia nucleare in Italia e definisce le procedure di localizzazione e autorizzazione degli impianti nucleari, attraverso la certificazione dei siti e dei proponenti, fino al rilascio di un'autorizzazione unica alla costruzione e all'esercizio degli impianti. Il decreto fissa inoltre le regole per la realizzazione del deposito nazionale per i materiali radioattivi e per lo smantellamento degli impianti nucleari a fine vita.

Il documento programmatico *Strategia del Governo in materia nucleare* – adottato entro tre mesi dal Consiglio dei ministri – e lo schema dei parametri di riferimento per la localizzazione degli impianti nucleari – adottato entro tre mesi dai Ministeri dello sviluppo economico, dell'ambiente e delle infrastrutture, previa consultazione con le Regioni – sono soggetti a valutazione ambientale strategica (VAS). Una volta approvata in via definitiva, chi è interessato a realizzare un impianto nucleare può sottoporre istanza per la certificazione di un sito. Sull'istanza l'ASN svolge un'istruttoria tecnica in esito alla quale certifica il sito, che è successivamente sottoposto all'intesa con la Regione interessata e con la Conferenza Unificata. Acquisite le intese è emanato il decreto di approvazione definitiva del sito. In caso di mancanza di intesa con la Regione è prevista la costituzione di un comitato interistituzionale cui partecipano i ministeri competenti, la Regione e il Comune interessati. Se l'intesa manca ancora, si provvede attraverso l'emanazione di un decreto del Presidente della Repubblica, previa deliberazione del Consiglio dei ministri. Se manca l'intesa con la Conferenza Unificata si provvede con decreto del Ministro dello sviluppo economico, d'intesa con i Ministri dell'ambiente e delle infrastrutture, previa deliberazione del Consiglio dei ministri.

La certificazione del sito vale per due anni (prorogabili di sei mesi) durante i quali il proponente può presentare istanza per l'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di un impianto nucleare in quel sito. Sull'istanza, corredata del progetto dell'impianto, delle procedure di esercizio e degli studi di impatto ambientale, l'ASN svolge un'istruttoria tecnica e acquisisce i risultati delle procedure di valutazione di im-

patto ambientale (VIA) e di autorizzazione integrata ambientale (AIA), svolte dai competenti organi del Ministero dell'ambiente. In esito alle risultanze dei tre procedimenti il Ministro dello sviluppo economico convoca una conferenza dei servizi nel cui ambito sono acquisiti i pareri di tutte le amministrazioni competenti. In caso di mancanza di intesa con uno degli enti locali coinvolti è prevista prima una proroga dei termini e successivamente la decisione con decreto della Presidenza del consiglio. Il decreto di autorizzazione unica, firmato dal Ministro dello sviluppo economico di concerto con i Ministri dell'ambiente e delle infrastrutture, vale quale dichiarazione di pubblica utilità e urgenza delle opere, sostituisce ogni altra autorizzazione e costituisce variante agli strumenti urbanistici locali.

Un iter autorizzativo specifico riguarda la localizzazione, la realizzazione e la gestione del deposito nazionale, affidati alla SOGIN, anche questo uniformato a criteri di condivisione delle decisioni con le Regioni.

## Il programma nucleare

Il programma nucleare che sarà descritto nel documento strategico punta ad affidare un contributo paritetico (25%) al nucleare e alle fonti rinnovabili per la copertura del fabbisogno elettrico nazionale. Al programma si sono già uniformati ENEL e EDF con la costituzione della società paritetica Sviluppo Nucleare Italia, che ha il compito di impostare le istanze di autorizzazione per quattro reattori nucleari di tipo EPR da 1.600 MWe ciascuno. Al consorzio tra ENEL e EDF parteciperà probabilmente anche la Edison con una quota del 10-15%. EON e GDF Suez hanno annunciato l'intenzione di costituire un secondo consorzio per la realizzazione di altri quattro reattori, ma si tratta di un'iniziativa ancora latente, probabilmente in attesa della manifestazione di interesse da parte di una terza utility italiana. Nell'ipotesi che gli otto reattori previsti entrino effettivamente in funzione entro il 2030, per quell'epoca l'Italia potrebbe disporre di una potenza nucleare installata pari a 13.000 MWe, in

grado di garantire il 25% della produzione nazionale di elettricità.

ENEL e EDF hanno sottoscritto finora accordi di collaborazione che prevedono la partecipazione di ENEL (con il 12,5%) alla costruzione e all'esercizio di quattro centrali EPR in Francia e la compartecipazione paritetica di ENEL e EDF alla costruzione di quattro centrali EPR in Italia (6.400 MWe).

La scelta operata da ENEL in favore della tecnologia francese, ancorché piuttosto ovvia, dati gli accordi con EDF, ha destato qualche perplessità in Finmeccanica che, con Ansaldo Nucleare, è coinvolta nella progettazione e nella realizzazione dei reattori AP1000 di tecnologia USA. Non sembra tuttavia che la scelta dell'ENEL possa essere rivista, anche a giudicare dagli esiti del forum svoltosi lo scorso 20 gennaio presso Confindustria, nel corso del quale sono state illustrate le linee generali del piano di committenza (la cui dimensione è stimabile in circa 3,5 miliardi di euro per ogni reattore) che dovrebbe consentire alle industrie nazionali di realizzare fino al 70% dei nuovi impianti in programma. La partecipazione di Finmeccanica alla realizzazione degli impianti della filiera EPR non appare tuttavia esclusa. Sono infatti in corso trattative con la francese Areva, che ha offerto alla holding italiana di qualificare le società operative sulla filiera francese partecipando alle attività di realizzazione dei reattori EPR in costruzione o pianificati in nove diversi paesi. Nel frattempo ben 26 aziende italiane partecipano alla realizzazione della centrale EPR di Olkiluoto-3 (Finlandia) e 32 aziende nazionali collaborano alla costruzione della centrale di Flamanville-3 (Francia).

Dalla realizzazione del nuovo programma nucleare italiano non appare esclusa neppure l'industria statunitense. In questo senso vanno infatti le dichiarazioni rilasciate dal ministro Scajola in occasione dell'accordo di collaborazione in campo energetico sottoscritto lo scorso 1 ottobre con il segretario di stato all'energia Steven Chu. Il programma nucleare italiano verterà in ogni caso sulla realizzazione di reattori della terza generazione avanzata. Questa scelta è stata varia-

mente contestata dagli oppositori del nucleare, che tendono a connotarla come una scelta arretrata rispetto alla tecnologia dei reattori della quarta generazione. Si tratta tuttavia di una posizione insostenibile, dal momento che i reattori in questione sono effettivamente i più avanzati al mondo mentre quelli della quarta generazione non sono ancora neppure sulla carta e che, secondo le valutazioni condotte dallo stesso GIF (Generation IV International Forum), potrebbero entrare in esercizio industriale solo intorno al 2040. A favore della decisione del governo giocano, come si è visto, le analoghe decisioni assunte dai principali paesi industriali, inclusi gli Stati Uniti. Occorre infatti considerare che neppure i paesi che già dispongono di una grossa componente nucleare hanno manifestato l'intenzione di attendere lo sviluppo dei reattori della quarta generazione. Tanto meno può farlo l'Italia, il cui sistema elettrico deve recuperare efficienza economica in tempi brevi.

Il recupero di margini di consenso nella pubblica opinione sarà affidato alla campagna di informazione prevista dall'art. 30 del decreto legislativo citato, che dovrà essere progettata entro tre mesi e avviata entro i sei mesi successivi. I sondaggi di opinione condotti in Italia nel corso dell'ultimo biennio mostrano che la situazione di partenza non è sfavorevole. In media, il 53% degli italiani è in linea di principio a favore del nucleare e il 38% contrario; ma il consenso si deteriora quando le domande vertono sulla possibilità che un impianto nucleare sia realizzato nell'area di residenza dell'intervistato.

Al miglioramento dei margini di consenso, soprattutto in ambito locale, si spera possano concorrere i benefici economici previsti dall'art. 22 del decreto legislativo 15.02.2010, che si estrinsecano nella corresponsione alle amministrazioni locali, alle famiglie e alle imprese delle aree di insediamento di 3.000 euro per kW di potenza installata in fase di costruzione e di 0,4 euro per MWh prodotto in fase di esercizio. Per un impianto da 1.650 MW ciò corrisponde all'erogazione di 5 milioni di euro all'anno in fase di costruzione e di 5 milioni di euro all'anno in fase di esercizio, somme poste a carico del costrut-

tore e dell' esercente. I benefici sono destinati per il 55% al Comune o ai Comuni nel cui territorio è ubicato l' impianto, per il 35% ai Comuni limitrofi e per il 10% alla Provincia o alle Province interessate.

## La formazione

La realizzazione di un programma nucleare non può prescindere da un tempestivo rilancio delle attività formative in campo nucleare, che negli ultimi vent'anni hanno subito una progressiva ed evidente contrazione.

Cinque università italiane (Politecnico di Torino, Politecnico di Milano, Pisa, Roma "La Sapienza" e Palermo) offrono tuttora corsi di laurea in ingegneria nucleare. Altre due università (Bologna e Genova) hanno recentemente attivato corsi di master di secondo livello in discipline nucleari per laureati in discipline tecniche. Il livello formativo risente tuttavia delle diluizioni intervenute nel corso del tempo, con la tendenza alla trasformazione dei corsi di laurea in ingegneria nucleare in indirizzi di ingegneria energetica. Questo processo si è intensificato in seguito all' introduzione del cosiddetto "schema di Bologna", adottato nel 1999 dai ministri dell'istruzione di 29 paesi europei al fine di armonizzare i sistemi universitari. Lo schema di Bologna prevede una laurea di primo livello (*bachelor degree* o "laurea", di durata triennale) e una laurea di secondo livello (*master degree* o "laurea magistrale", di durata biennale a valle della laurea di primo livello). La riduzione del numero di insegnamenti per il conseguimento della laurea triennale e l' intento di renderla comunque "professionalizzante" ha comportato una netta riduzione delle materie nucleari (nei tre anni di corso gli insegnamenti specifici non vanno oltre 2 o 3). Analogamente, anche la riconduzione della laurea magistrale in ingegneria nucleare a indirizzo di ingegneria energetica ha comportato una riduzione degli insegnamenti specifici.

Se dunque è vero che l' Italia dispone tuttora delle risorse umane necessarie per avviare un programma elettronucleare, è altrettanto vero che

l' effettivo decollo del programma potrebbe richiedere alcune centinaia di tecnici specializzati all'anno nei prossimi dieci anni. Per fare fronte a queste esigenze è necessario procedere fin d' ora ad un aggiornamento dei percorsi formativi, potenziando il corpo docente e programmando curricula più adeguati. È necessario, in particolare, recuperare la specificità nucleare nei percorsi formativi e rivedere i piani di studio con riferimento alle necessità effettive del mercato nazionale e internazionale, stabilendo rapporti solidi con l' industria e con il sistema della ricerca.

Non si tratta di una necessità che riguardi solo l' Italia. Una riflessione sull' adeguatezza del sistema formativo nucleare è infatti in atto da tempo in ambito internazionale e nei principali paesi industriali. Nel 2000 l' OCSE-NEA, nella pubblicazione *Nuclear Education and Training: Cause for Concern?*, parlò apertamente di "deterioramento della formazione in campo nucleare" e di "motivi di preoccupazione", esortando i governi a creare i presupposti per incoraggiare i giovani ad impegnarsi in questo settore. Negli Stati Uniti uno studio condotto nel 2008 dall' Oak Ridge Institute for Science and Education (ORISE) su incarico del DOE ha evidenziato la progressiva riduzione del numero dei laureati nelle discipline nucleari. Nella maggior parte dei paesi nucleari è stato inoltre evidenziato il progressivo invecchiamento delle attrezzature, del corpo docente e dei ricercatori: l' Italia spicca come il paese nel quale docenti e ricercatori hanno l' età media più elevata (54 anni).

Una approfondita riflessione comune università-industria sulle esigenze formative è stata avviata nel 2007 anche in Francia, paese dotato di ben 14 università che sfornano ingegneri nucleari, ma nel quale la domanda annua di personale qualificato in campo nucleare è triplicata negli ultimi anni rispetto al periodo 1995-2005: nel solo 2008 Areva ha effettuato un totale di 10 mila nuove assunzioni, mentre EDF ha stimato per il 2010 un fabbisogno di 700 dipendenti aggiuntivi solo per lavorare sui progetti all' estero. La riflessione ha evidenziato la necessità di uno sforzo particolare e coordinato a livello naziona-

le per incrementare la formazione a livello di laurea specialistica e dottorato di ricerca. Si è deciso di definire tre siti di formazione principale - Ile de France, Rhone-Alpes-Languedoc Roussillon, Grand Ouest (Nantes-Caen) – in base alla distribuzione delle infrastrutture esistenti e alla concertazione tra governo, regioni e industrie. Si è inoltre deciso di ridurre l'eccessiva eterogeneità dei percorsi formativi specialistici (attualmente variabili fra 100 ore in tre anni e 450 ore in un anno), di potenziare il corpo docente (molti insegnamenti sono tuttora impropriamente affidati a personale del CEA o del partenariato CEA-INSTN) e di rafforzare la collaborazione tra università e industrie di settore.

Il sistema universitario francese punta a moltiplicare per quattro l'attuale capacità formativa, passando dalla formazione di 300 specialisti all'anno ai 1.200 all'anno che si stimano necessari per il prossimo decennio. Sono state così avviate due iniziative di strutturazione e coordinamento dell'offerta formativa. In primo luogo l'istituzione di un "Comitato nazionale di coordinamento della formazione in scienze e tecnologie nucleari" (C2FSTN), comprendente rappresentanti di Edf, Areva e Suez, delle imprese minori e delle università, con il compito di operare con riferimento sia alla realtà nazionale che a quella internazionale (accordi di collaborazione). In secondo luogo l'istituzione di una struttura di coordinamento denominata "Istituto internazionale dell'energia di Parigi", con l'obiettivo di costruire un'offerta di formazione visibile e competitiva sul piano internazionale.

Se anche i paesi che negli ultimi vent'anni hanno mantenuto l'impegno nucleare ritengono necessario rafforzare il sistema formativo, il ritardo accumulato dall'Italia è tale da richiedere interventi urgenti. Un'azione propulsiva in tal senso potrebbe essere esercitata, anche in attuazione della riforma dettata dall'art. 37 della legge 99/2009, dall'ENEA, che fino a tutti gli anni 80, operando in stretto rapporto con l'università e l'industria nazionale, seppe svolgere un ruolo determinante nella formazione dei tecnici (incluso chi scrive) che operarono nell'ambito dei programmi nucleari nazionali.

## La ricerca

La necessità che l'Italia, dopo molti anni di stasi, riprenda un impegno di alto profilo nella ricerca sul nucleare da fissione è esplicitamente richiamata all'art. 38 del decreto 15 febbraio 2010, con particolare riferimento allo sviluppo del nucleare di nuova generazione. In questo campo è richiamata la necessità di ricostruire le capacità di ricerca e sviluppo per la realizzazione di apparati dimostrativi e dei futuri reattori di potenza. In tale contesto è previsto che il sistema nazionale della ricerca partecipi ai programmi internazionali *Generation IV International Forum* (GIF), *Global Nuclear Energy Partnership* (GNEP), *International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles* (INPRO) e ai programmi che si svilupperanno nell'ambito degli accordi bilaterali di cooperazione sottoscritti dall'Italia con Stati Uniti e Francia. È inoltre prevista la partecipazione ai programmi di ricerca internazionali nel settore del trattamento e dello stoccaggio del combustibile esaurito, con specifica attenzione alla separazione e alla trasmutazione delle scorie.

Il razionale inserimento nei programmi di ricerca internazionali rappresenta la via attraverso la quale il sistema nucleare nazionale potrebbe recuperare il terreno perduto negli ultimi vent'anni.

L'iniziativa GIF punta allo sviluppo dei reattori della quarta generazione, che potrebbero entrare in funzione intorno al 2040. L'iniziativa, avviata nel 2000 su iniziativa del Dipartimento per l'energia americano, vede attualmente la partecipazione di 12 paesi più l'Euratom, con l'ONU-IAEA e l'OCSE-NEA in veste di osservatori. Le configurazioni impiantistiche allo studio sono complessivamente sei. Su quattro di esse sono stati conclusi i *System arrangements*, ovvero gli accordi riguardanti l'attribuzione della proprietà intellettuale dei risultati delle ricerche ai soggetti partecipanti. Nell'ambito di queste quattro configurazioni l'interesse maggiore si concentra sul reattore veloce a sodio (SFR) e sul reattore a gas ad altissima temperatura (VHTR), i soli per i quali siano stati finora definiti i cosiddetti *Project*

*arrangements*, ovvero l'articolazione dei progetti di ricerca e delle relative responsabilità contrattuali. L'Italia non ha finora aderito autonomamente all'iniziativa GIF, ma vi partecipa – con il coordinamento dell'ENEA – attraverso il JRC dell'Euratom. Ma il suo contributo ha riguardato finora il reattore veloce raffreddato a piombo liquido (LFR) attraverso le esperienze condotte nell'ambito del progetto ELSY (*European Lead-cooled System*).

L'iniziativa GNEP, nata nel 2006 su iniziativa degli Stati Uniti, punta alla realizzazione di reattori di piccola taglia (da 50 a 350 MWe) esportabili nei paesi emergenti con ciclo del combustibile gestito chiavi in mano dal paese esportatore. Le suddette scelte sono dettate dalla necessità di consentire l'uso dell'energia nucleare anche ai paesi che dispongono di reti elettriche di piccole dimensioni (fino a 3 GW) e di evitare al contempo possibili rischi di proliferazione. All'iniziativa hanno finora aderito 25 paesi, tra cui l'Italia, con l'ONU-IAEA, il GIF e l'Euratom in posizione di osservatori. Le attività del GNEP si sono finora concentrate essenzialmente sul ciclo del combustibile. Aldilà della sottoscrizione formale dell'accordo nel 2007, la partecipazione italiana è finora nulla, ma c'è da dire che anche l'iniziativa nel suo complesso fatica a decollare.

Il progetto INPRO è stato varato dall'ONU-IAEA nel 2000 e ha per oggetto la promozione dello sviluppo sostenibile dell'energia nucleare attraverso l'adozione di una specifica metodologia di valutazione. Ad esso aderiscono attualmente 30 paesi, tra i quali l'Italia.

Quanto alla collaborazione bilaterale con Stati Uniti e Francia, occorre dare un contenuto concreto agli accordi quadro recentemente sottoscritti dai governi. Un primo accordo attuativo, intervenuto il 22 luglio 2009 tra il CEA e l'ENEA, prevede la formazione di esperti di alto livello e lo scambio di ricercatori, il supporto comune all'industria in materia di sicurezza e gestione dei rifiuti radioattivi, lo sviluppo dei reattori di quarta generazione e lo sviluppo di posizioni comuni sull'orientamento dei programmi di ricerca europei.

Ciò che in Italia continua purtroppo a mancare è una chiara impostazione programmatica delle attività di ricerca sul nucleare da fissione che individui chiaramente i soggetti, i ruoli, i progetti di interesse e le risorse economiche. Senza questo fondamentale strumento di coordinamento non sarà possibile emergere dal livello delle dichiarazioni di intenti. L'art. 38 del decreto 15 febbraio 2010 assegna al CIPE il compito di approvare un piano operativo su proposta del Ministro dello sviluppo economico. Si spera che si tratti finalmente di un piano integrato pluriennale sviluppato con il concorso propositivo di tutti i soggetti potenzialmente interessati (ENEA, CNR, CIRTEN, università, *utility*, società di ingegneria, industria manifatturiera) con una chiara indicazione degli obiettivi e delle risorse economiche disponibili, saldamente integrato nel contesto dei programmi di ricerca internazionali e orientato in primo luogo a temi di effettivo interesse economico e industriale, oltre che scientifico: non è più possibile concentrarsi su linee di sviluppo scientificamente apoganti ma scarsamente promettenti sul piano applicativo.

Quanto alle risorse economiche, un contributo sostanziale potrebbe venire dal fondo per la ricerca di sistema nel settore elettrico, alimentato attraverso la componente A5 della tariffa elettrica, che genera attualmente un gettito annuo di circa 70 milioni di euro. La predisposizione del piano di utilizzo del fondo è attualmente affidata all'Autorità per l'energia elettrica e il gas che tuttavia nel piano triennale 2009-2011 non ha preso in considerazione la ricerca sul nucleare da fissione. Questo fondo potrebbe essere in parte utilizzato con riferimento, ad esempio, all'ottimizzazione dei reattori della terza generazione avanzata (neutronica e strategie di irraggiamento), alla sostenibilità del ciclo del combustibile (partizione e trasmutazione degli attinidi), allo sviluppo di reattori di piccola taglia non proliferanti (settore nel quale ENEA, industria e università hanno già operato) e allo sviluppo dei reattori della quarta generazione (limitatamente alle configurazioni con maggiori prospettive di successo).

## Nucleare sì, nucleare no. Ricordi di una passata stagione di contestazioni

Giovanni G. Gentile

Avvocato in Roma

Già professore di Diritto dell'energia  
presso l'Università LUISS Guido Carli

*Il confronto sviluppatosi anni addietro nel nostro Paese sull'energia nucleare non è stato né sereno né corretto, stando al parere dell'autore, che presenta un excursus delle multiformi iniziative giuridiche messe in campo al fine di determinare, come poi accadde, il blocco di tutte le attività future e in essere e di impedire un dibattito informato sul tema*

## Nuclear Yes, Nuclear No. Remembering Past Disputes

*In the author's opinion, the past exchange of ideas on nuclear energy in Italy has never been serene nor correct. He reports a detailed outlook of various legal initiatives and provisions adopted in order to stop – as they did – all future and ongoing activities and prevent an informed debate on the subject*

La recente volontà politica, che si è espressa per il ritorno dell'Italia all'energia nucleare, non può non richiamare alla mente degli osservatori più attenti (e meno giovani) le molteplici, e talora scomposte, forme di opposizione che, circa un quarto di secolo fa, avevano impedito un sereno e informato dibattito sul tema.

Sul versante giuridico – cui si limita il presente contributo – si consumarono veri e propri abusi degli strumenti disponibili, spregiudicatamente piegati ad un teorema che non domandava di essere dimostrato ma soltanto proclamato, alla ricerca di un sensazionalismo di maniera.

Posto che un tale approccio non è certo superato, ed al fine di non prestare acquiescenza ad antiche e nuove malizie, conviene aver coscienza di alcune vicende nelle quali, almeno a giudizio di chi scrive, si è consumato il denunciato abuso.

Il primo episodio pesca addirittura nel “penale” e rimonta al 1979, allorché due signori, nella dichiarata qualità di membri del “Comitato regionale per il controllo popolare sulle scelte energetiche”, avevano trovato a che ridere sul fatto che il Presidente dell'ENEL, nel corso di un'intervista al settimanale “Panorama”, avesse affermato che i rischi da radiazioni nucleari, per chi vive in prossimità delle centrali, sono nettamente inferiori a quelli che si corrono volando su un jet o indossando un orologio fosforescente.

Di qui una denuncia per violazione dell'art. 656 del codice penale che punisce la diffusione di notizie false e tendenziose, idonee a turbare l'ordine pubblico.

Considerato che l'evidente intento del dichiarante era quello (opposto) di tranquillizzare l'opi-

nione pubblica su alcuni “rischi” del nucleare, comparandoli con altri rischi generalmente e pacificamente accettati, la denuncia incorreva in una vera e propria inversione logica (come se, muovendo da un “nucleare” irrimediabilmente... diabolico, ogni paragone dovesse determinare allarme relativamente al *tertium comparationis*), la quale avrebbe dovuto candidarla all'immediata archiviazione; ne derivava invece un processo penale in piena regola, capace di giungere alla fase del dibattimento.

Poco importa che questa si chiudesse, nel maggio 1981, con una sentenza di assoluzione: è esemplare (in senso negativo) che sia stata presentata una denuncia manifestamente strumentale ed ancor più che la stessa abbia impegnato per un biennio l'affaticata macchina giudiziaria.

Anche il secondo caso muove da un paragone. A breve distanza dall'incidente di Chernobyl (siamo nel 1986) l'ENEL, per rappresentare le caratteristiche di sicurezza delle centrali del proprio Progetto Nucleare Unificato (PUN), ne aveva pubblicato su alcuni organi di stampa una riproduzione schematica, con testo di accompagnamento, da cui risultava che la centrale-tipo del PUN non solo aveva un sistema di contenimento, del tutto assente nella centrale sovietica che aveva subito il grave incidente, ma si avvaleva di una protezione doppia rispetto a quella (singola guaina) della centrale di Three Mile Island (USA), ove si era verificato, anni prima, un incidente – comparabile con quello di Chernobyl, anche se molto meno grave – nel quale, grazie al sistema di contenimento (semplice), non si era avuto rilascio di radioattività all'esterno.

In relazione a tale comunicato, due esponenti della lista verde del Consiglio regionale del Piemonte avevano adito il “Giurì del codice dell’autodisciplina pubblicitaria” (organismo privato ma autorevole, all’epoca presieduto da un alto magistrato) per denunciarne il contenuto *ingannevole* (non vi era ancora la competenza in materia dell’Antitrust), *comparativo* (era vietata la pubblicità comparativa) e *denigratorio*.

Balza agli occhi il carattere grottesco della denuncia, che si atteggiava, alla fine, come diretta a tutelare la credibilità di impianti oggetto di incidenti ora seri, ora gravissimi.

Ma il giurista è ancor più colpito dall’impiego strumentale del concetto di “pubblicità”, che mal si addice al comunicato informativo di un ente pubblico, riservatario, all’epoca, di tutte le attività elettriche, il quale – senza avere alcun prodotto da proporre sul mercato, a scapito di prodotti altrui – vuole solo informare [non già i potenziali consumatori ma piuttosto] l’opinione pubblica sulle caratteristiche degli impianti in programma. Tranquillizzandola sul piano della sicurezza.

Sarebbe stato da attendersi che il Giurì declinasse la propria competenza per difetto del presupposto (messaggio pubblicitario); ma quell’organismo – preoccupato forse anche di non abbandonare promettenti territori – non esitava a dichiararsi competente, anche se poi, giudicando nel merito, riteneva ineccepibile il “messaggio”.

Non meno paradossale è il terzo caso, che riguarda il ricorso proposto, ai sensi dell’art. 700 del codice di procedura civile, da alcuni rinomati antinuclearisti – all’indomani dell’incidente di Chernobyl – per ottenere che in via di urgenza, sulla base degli accertamenti sommari compatibili col tipo di procedimento prescelto, l’adito pretore di Roma (secondo la competenza dell’epoca) disponesse provvisoriamente:

- la sospensione dei lavori di costruzione delle centrali in corso di realizzazione (in particolare quella di Montalto di Castro);

- l’arresto di quelle in esercizio (in particolare la centrale di Caorso);
- lo smantellamento immediato di quelle già poste fuori servizio (Latina, Garigliano).

Il pretore era così invitato a superare, con un tratto di penna, tutto il dibattito politico e scientifico, che nel mondo intero si era svolto e si svolgeva sulla materia, per agire da solitario demiurgo dei giorni nostri.

L’inadeguatezza dello strumento giuridico impiegato, rispetto all’obbiettivo dichiarato, era talmente palese da far classificare l’iniziativa alla stregua di uno sberleffo nei confronti dell’Ordinamento. E tuttavia essa non venne dichiarata subito palesemente inammissibile o infondata, ma diede luogo ad un simulacro di dibattito, trascinandosi per più udienze, finché non venne meno l’interesse dei promotori al verdetto del giudice, in quanto erano frattanto intervenute le decisioni politiche sull’abbandono del nucleare, mentre gli stessi promotori diventavano membri del Parlamento e potevano dare ormai alle proprie campagne una ben diversa risonanza.

I tre casi riferiti sono accomunati, oltre che dalla speciale materia, dall’estrema condiscendenza mostrata dagli organi decidenti verso pretese che, con un eufemismo, potrebbero dirsi azzardate. Caratteristiche analoghe, in termini di stravolgimento degli istituti giuridici di riferimento, presenta – richiedendo peraltro una più approfondita trattazione – il c.d. *referendum antinucleare*, celebratosi nell’autunno del 1987.

È diffusa opinione che in quella occasione l’Italia, con un voto popolare quasi plebiscitario, abbia scelto di rinunciare all’impiego dell’energia nucleare per usi civili.

Ed è anche sul peso morale del consenso, che in quella occasione sarebbe stato solennemente espresso, che ancor oggi si fondano le ragioni degli oppositori, i quali ritengono indebita (se pure tecnicamente non vietata) ogni inversione di rotta che fosse decisa a livello di Parlamento e di Governo<sup>1</sup>.

Senonché, l’assunto che siano stati proprio gli italiani, con uno strumento di democrazia diret-

ta, a volere, oltre venti anni or sono, l'uscita dal nucleare, non solo non risponde a verità, ma è frutto addirittura di un abuso.

Conviene ripercorrere il cammino che portò alla consultazione popolare, onde valutare le conseguenze effettive di essa, a preferenza di quelle immaginate.

Ed è importante muovere da una prima iniziativa referendaria – anteriore di qualche anno rispetto a quella in esame – e cioè dal referendum promosso nel 1980 per l'abrogazione pressoché integrale della legge 2 agosto 1975, n. 393, recante "Norme sulla localizzazione delle centrali elettronucleari e sulla produzione e sull'impiego di energia elettrica".

Raccolte le firme e verificata da parte della Corte di Cassazione (Ufficio per il referendum) la regolarità formale della proposta (c.d. vaglio "di legittimità"), la Corte Costituzionale dichiarò però inammissibile il referendum – che quindi non fu celebrato – in quanto ritenuto attinente alla sfera di applicazione di un trattato internazionale (il trattato Euratom), cioè ad una materia "riservata ai sensi dell'art. 75 della Costituzione, alla valutazione politica del Parlamento".

L'insuccesso dell'iniziativa, bocciata dalla Corte Costituzionale nel 1981, valse naturalmente da ammaestramento per quegli antinuclearisti che, già l'8 maggio del 1986, praticamente all'indomani del disastro di Chernobyl (avvenuto il 26 aprile di quell'anno), si fecero promotori di una nuova consultazione referendaria.

La scelta cadde così su singole norme (o blocchi di norme), certo importanti ma prive di ogni valenza impeditiva dell'attuazione di un qualsivoglia programma nucleare:

1. il terzultimo comma dell'articolo unico della

legge 10 gennaio 1983 n. 8, che attribuiva al CIPE, in via sostitutiva e finale (cioè in caso di inerzia di Regione e Comune), il potere di procedere alla localizzazione delle centrali nucleari;

2. i residui commi dell'articolo unico della stessa legge, ove si prevedevano contributi in denaro in favore di Comuni e Regioni nel cui territorio fossero installate centrali termoelettriche (anche, ma non solo, nucleari)

3. la disposizione (contenuta nella legge 18 dicembre 1973, n. 856) che consentiva all'ENEL di assumere partecipazioni all'estero nel settore nucleare.

Le suddette tre discipline formarono oggetto di altrettante separate proposte, che tali rimasero anche di fronte all'ipotesi di unificazione inizialmente formulata dalla Corte di Cassazione; questa (con l'Ordinanza 15 dicembre 1986) finì per arrendersi di fronte alle proteste dei promotori, i quali, tra l'altro, si erano fatti a sostenere che le proposte si caratterizzavano anche "per il loro specifico e separato effetto abrogativo, relativo a norme concrete e non ad un'indeterminata finalità di ordine politico" (venne anche prospettato, *apertis verbis*, nella memoria presentata nel corso del procedimento, il pericolo che la Corte Costituzionale, di fronte ad un testo complesso, ma unificato dal filo conduttore della contrarietà all'impiego dell'energia nucleare, potesse poi pervenire ad una decisione di inammissibilità).

Grazie anche a questi accorgimenti, le proposte superarono senza intoppi il vaglio di ammissibilità della Corte Costituzionale (Corte Cost. 16 gennaio 1987, n. 25) e furono quindi sottoposte al Corpo elettorale.

Sull'onda dell'entusiasmo iconoclasta, spensie-

1. Emblematico, in tal senso, è quanto si legge in un comunicato dell'Italia dei Valori del 26.11.2009, secondo cui il Capo Gruppo del partito al Senato, nel corso di un convegno svoltosi quel giorno presso la biblioteca di Palazzo Madama, avrebbe dichiarato che il ritorno al nucleare "sarebbe una scelta... illegittima... perché in assoluto dispregio della volontà popolare che con il referendum dell'87 sancì la chiusura di tutte le centrali esistenti e il blocco di quelle in costruzione e in programma".

ratamente cavalcato da quasi tutti i partiti politici dell'epoca, i quesiti referendari furono approvati con larga maggioranza, determinando l'abrogazione delle norme cui si riferivano.

Non sfugge l'anomalia di una iniziativa che, pur capace di coagulare il consenso di forze politiche costituenti oltre il 90% della rappresentanza parlamentare, venne tuttavia sottoposta al corpo elettorale, senza che si intervenisse, preventivamente, con i normali strumenti (anzitutto le leggi) della democrazia rappresentativa.

Dobbiamo pensare che nessun partito volesse assumersi la responsabilità del primo passo ovvero che si volesse temperare, con un bagno di folla, una scelta che la scienza, la tecnica, l'economia raccomandavano caldamente di evitare. Sulla base del risultato referendario, i vari passaggi verso il disimpegno dal nucleare (dai provvedimenti relativi ai singoli impianti, alla moratoria quinquennale; dal ristoro degli oneri del nucleare per le imprese del settore, alla revisione del piano energetico nazionale con esclusione del contributo del nucleare) poterono esser viste come scelte doverose per rispettare la volontà degli italiani.

Veniva così consumato un duplice grave abuso. Il primo, di natura essenzialmente "politica", nel momento in cui si assegnava al risultato referendario una portata assai più ampia (abolizione del nucleare) rispetto a quella, ben più circoscritta, che esso era destinato a produrre sulla legislazione vigente.

Il secondo, strettamente collegato all'altro, ma di natura più propriamente "istituzionale", allorché si addiveniva all'impiego anomalo di un importante strumento costituzionale come il referendum popolare che, previsto unicamente per abrogare norme di legge, veniva qui disinvoltamente piegato al ruolo di sondaggio d'opinione sulla continuazione o meno del programma nucleare (così eludendo la mancanza, nel nostro ordinamento, del referendum consultivo nazionale).

Sondaggio d'opinione non solo improprio, ma anche sbilanciato sul piano della comunicazione, perché, di fatto, ai cittadini italiani fu chiesto di esprimersi a favore o contro l'energia nucleare come se si trattasse di una scelta meramente ideologica, se non etica, priva di implicazioni politiche e costi economici.

Invece ve ne erano, e di pesanti: anzitutto la condanna, per il Paese, ad un prezzo dell'energia costantemente più elevato per tutti i consumatori (con quel che significa sui redditi delle famiglie e sulla competitività internazionale delle imprese); ma, già nell'immediato, la spesa per ripianare i c.d. oneri del nucleare, subito riversati sulla bolletta (diverse migliaia di miliardi di lire che furono "rimborsati" a quelle imprese del settore, i cui investimenti venivano spensieratamente vanificati); per non dire della condizione di dipendenza energetica dall'estero, che solo il nucleare avrebbe potuto (e potrebbe) attenuare.

Cosa rimane oggi del referendum antinucleare?

1. Il divieto per l'ENEL di intraprendere, in forma associata, iniziative nucleari all'estero, disegnato in riguardo ad un ente pubblico (l'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica), ha perduto ogni effetto con la privatizzazione di tale ente, che infatti, come si sa, da anni opera ormai proficuamente all'estero nel campo nucleare.
2. I contributi, nei territori di insediamento degli impianti elettrici (si ricordi che la normativa abrogata non era esclusiva del nucleare), hanno continuato ad esistere; inizialmente, sulla base di libere pattuizioni e, dopo qualche tempo, in conformità alle previsioni delle varie leggi succedutesi nel tempo. Trattasi del resto di una naturale misura di riequilibrio, in ragione dei "costi" che singole comunità sono chiamate a sostenere nell'interesse della collettività. La novità, recata ora dalla legge n. 99 del 2009, in riferimento agli impianti nucleari, consiste nella diretta attribuzione dei contributi (in realtà, di una parte di essi) agli abitan-

ti dei territori interessati ed alle imprese ivi operanti.

3. Veniamo ora al profilo del potere sostitutivo che, in caso di inerzia degli enti territoriali competenti, era riconosciuto al CIPE, in seno al procedimento di localizzazione delle centrali nucleari. La relativa disposizione, abrogata in via referendaria nel 1987, poteva apparire all'epoca come una intromissione autoritaria dello Stato centrale in una materia tradizionalmente riservata alle scelte locali. A distanza di tempo, il potere sostitutivo appare, però, come un logico svolgimento del principio di sussidiarietà, accolto e "santificato" nel diritto comunitario; esso è entrato anche nella Carta costituzionale con la riforma del Titolo Quinto, intervenuta nel 2001. È quindi pienamente coerente con questo quadro la previsione, contenuta nell'art. 25 della legge recente, volta a consentire al Governo centrale

di procedere solitariamente – naturalmente con le dovute cautele, nell'esercizio del potere sostitutivo – allorché gli enti territoriali interessati manchino di fare la loro parte.

Resta così acclarato che il referendum abrogativo del 1987 non solo non determina condizionamenti per le nuove scelte relative al nucleare, ma nemmeno ha lasciato tracce significative.

D'altro canto, le singolari vicende riferite nel presente scritto dimostrano che il confronto sviluppatosi anni addietro sul tema non è stato né sereno né corretto (anzi si non visti molti... colpi proibiti); nulla esclude che le antiche furbizie riemergano in occasione del nuovo dibattito, ma tutto lascia prevedere che questa volta gli italiani, messi in guardia dalla passata esperienza, pretenderanno argomenti seri e razionali, rifiutando invece teoremi precostituiti e suggestioni di qualsiasi genere<sup>2</sup>.

2. Tutte le decisioni menzionate nello scritto sono pubblicate nella *Rassegna Giuridica dell'ENEL* o nella *Rassegna Giuridica dell'Energia Elettrica*:
- Corte Cost. 3 febbraio 1981, n. 31 in *Rass. giur. ENEL* 1981, 23
  - Trib. pen. Milano 20 maggio 1981, *ivi* 1981, 633
  - Giurì Autodisciplina Pubblicitaria 25 novembre 1986, n. 81, in *Rass. giur. en. el.* 1987, 207
  - Cass. (Ufficio per il Referendum) 15 dicembre 1986, *ivi*, 1987, 83
  - Corte Cost. 16 gennaio 1987, n. 25, *ibid.*

## I rifiuti radioattivi: da un approccio emotivo ad una valutazione razionale

Alberto Taglioni

ENEA, Unità Tecnica Metodi per la Sicurezza  
dei Reattori e del Ciclo del Combustibile

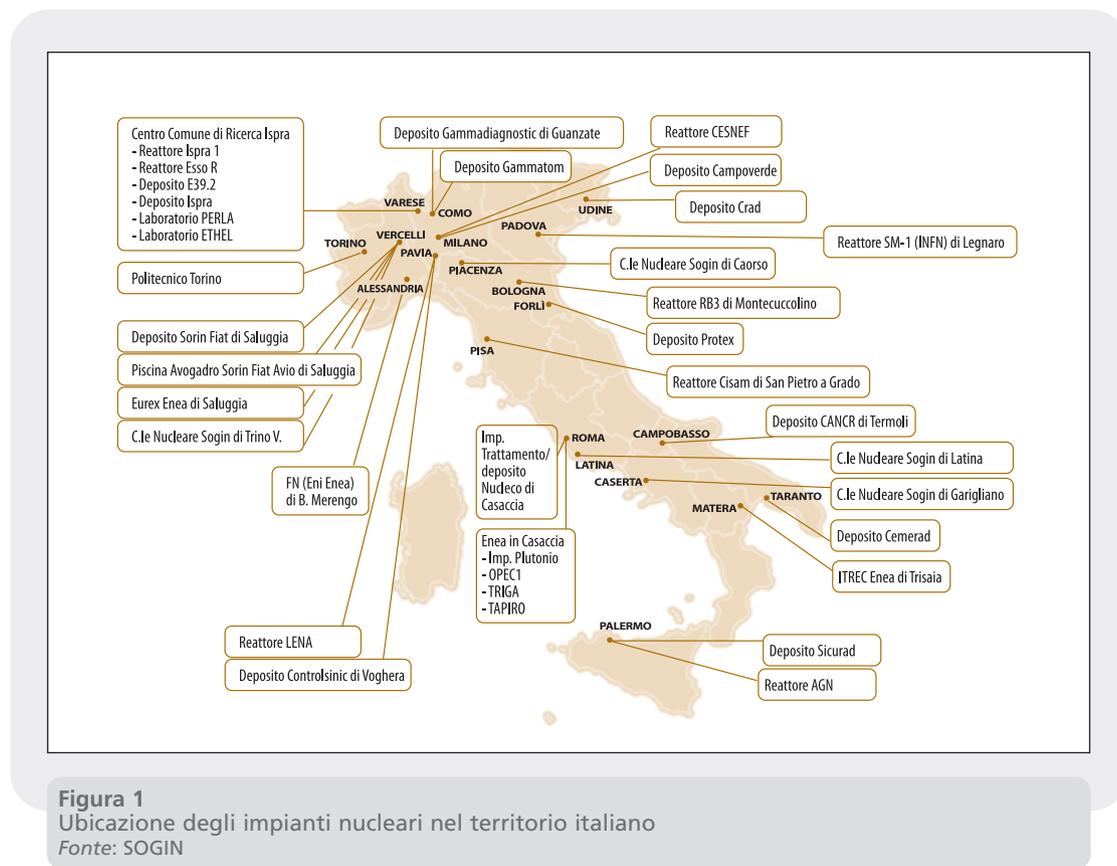
*Affinché la componente emotiva non risulti decisiva ai fini della scelta di ricorrere, anche solo parzialmente, all'opzione nucleare, si intende fornire un contributo per passare dall'impostazione mentale corrente che considera i rifiuti radioattivi come "un problema posto dall'uso dell'energia nucleare", ad una che consideri il loro smaltimento come "la soluzione dei problemi posti dall'uso dell'energia nucleare"*

### Radioactive Wastes: from an Emotional Approach to a Rational Evaluation

*When choosing – although only partially – the nuclear option, to make sure that the emotional component is not determinant, this article is intended to provide a contribution to a different mental approach aimed at no longer considering radioactive wastes as a problem but rather as "the solution to problems raised from using nuclear energy"*

La disponibilità di un deposito per i rifiuti radioattivi, ovvero dei residui delle attività nucleari, è una condizione necessaria per ogni attività di questo tipo, sia essa volta alla produzione di energia, sia essa finalizzata a ricerca o scopi terapeutici. Di ciò purtroppo non si tenne conto in Italia quando, agli inizi degli anni 60, venne avviato un piano di produzione di energia nucleare che avrebbe portato il paese ad essere tra i primi del mondo in tale genere di produzione, né se ne tenne conto allorché si decise di abbandonare quel piano, in seguito al referendum post-Chernobyl nel 1987, quando la presenza di materiali radioattivi nel Paese era comunque una realtà da considerare; es-

sendo tali rifiuti comunque allocati, allora come oggi, presso gli impianti di produzione, come illustrato in *figura 1*, la sicurezza era garantita dall'esercizio, di sola custodia, di detti impianti, sia pure con costi superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto a quelli che un idoneo impianto di smaltimento avrebbe potuto richiedere. Nulla fu poi fatto negli ultimi vent'anni, al di là di un vago incarico all'ENEA di studiare le soluzioni al problema (1996), e di un Decreto Governativo che portò la SOGIN a individuare in Scanzano Jonico un sito idoneo per un deposito; una decisa opposizione delle locali popolazioni bloccò il progetto (2003).



riflettore su

Allo stato attuale, dunque, in Italia il problema della sistemazione dei rifiuti radioattivi deve essere comunque risolto, sia che la ripresa di produzione di energia elettronucleare avvenga (come sembra probabile) o no. Nel primo caso, infatti, perseguire la soluzione è irrinunciabile per ovvi motivi; ed anche nel caso venisse deciso un completo abbandono delle attività nucleari, sarebbe fortemente antieconomico tenere in piedi gli esistenti impianti (che, a esercizio concluso o interrotto definitivamente, costituiscono essi stesse un "rifiuto") a solo scopo di stoccaggio, demandando comunque indebite preoccupazioni alle generazioni future.

Naturalmente, nei due casi, sarebbero diverse le soluzioni tecniche da adottare; in particolare, dovendo una decisione di ripresa delle attività nucleari basarsi su di una articolata proposta qualitativa di localizzazioni e realizzazione di impianti, un deposito nazionale dovrà essere dimensionato ed adeguato al sistema in cui sarà inserito. Tuttavia, al di là di ogni altra considerazione, si deve tenere conto del fatto che il deposito costituisce comunque un'opera ad alto impatto socio-territoriale, per il quale sono facilmente prevedibili opposizioni a livello locale.

L'operazione di smaltimento, di per sé tendente ad aumentare le condizioni di sicurezza (intesa sia come *safety* che *security*), è paradossalmente percepita come un aumento del rischio ambientale tale da non giustificare un ulteriore ricorso alla produzione di energia elettronucleare.

Stante la specificità dell'opera, tali opposizioni verrebbero ad avere una valenza nazionale, e bloccherebbero sul nascere ogni iniziativa; esse sarebbero poi sicuramente alimentate dalle argomentazioni degli anti-nuclearisti che, paventando future catastrofi ambientali, farebbero leva su di un coinvolgimento emotivo che per sua natura porta ad un rifiuto iniziale di qualsiasi innovazione tecnologica, quale sarebbe un moderno impianto di smaltimento dei rifiuti radioattivi.

Con l'obiettivo di poter adeguatamente ribattere a dette argomentazioni, si riporta nel seguito una sintetica esposizione della tematica dei rifiuti radioattivi che, lungi dal voler essere un'illustrazione organica ed esaustiva sulla materia, si

propone, utilizzando riferimenti tecnici semplici e fornendo dei valori numerici di cui sia facilmente percepibile la rilevanza o la trascurabilità dell'ordine di grandezza, di inquadrare l'intero contesto in modo realistico e in un adeguato orizzonte temporale.

In quest'ottica si ritiene molto più appropriata la definizione di **residui nucleari**, anziché quella di **rifiuti radioattivi**, che tuttavia è mantenuta in analogia all'universale *waste*: con ciò si vuole significare che, con l'ineluttabilità della rimanenza di qualunque attività antropica, la loro gestione deve essere comunque considerata, in una analisi costi-benefici, alla stregua di tutti gli altri fattori che determinano un processo produttivo.

Si rileva nel contempo che questa prassi non sempre è seguita in attività convenzionali, e ciò non suscita particolari, e molto più giustificabili, allarmismi.

### Qualità e quantità dei rifiuti radioattivi

La peculiare caratteristica delle sostanze radioattive è quella di contenere atomi (radionuclidi) che tendono a mutare la propria natura disintegrandosi e trasformandosi in specie atomiche energeticamente stabili, con emissione di radiazione corpuscolare, detta decadimento radioattivo, che può causare danno biologico ai corpi investiti.

L'intensità della radioattività è misurata in Becquerel (1 Bq = una disintegrazione al secondo), e decresce logisticamente con il tempo, per decadere a valori trascurabili in un periodo variabile da pochi secondi a centinaia di migliaia di anni, secondo la generica espressione:

$$A(t) = A(0) e^{-\lambda t}$$

ove  $\lambda$  è caratteristico di ciascun tipo di radionuclide e  $t$  è espresso in anni.

Si possono definire rifiuti radioattivi i residui costituiti del tutto o in parte da dette sostanze; essi hanno per lo più origine da attività legate alla produzione di energia elettronucleare, ma vengo-

no anche prodotti nel corso di processi industriali o in attività mediche, sia di terapia che di ricerca, così come da attività militari.

Sono tuttavia i primi che, sia in termini volumetrici che di "allarme sociale", determinano la dimensione del problema in oggetto, anche se per essi, come per tutte le sostanze nocive (tossiche, inquinanti ecc.) è prevista una gestione che ne minimizza l'impatto ambientale.

### Tipologie e classificazioni dei rifiuti

Si suole distinguere i rifiuti in base alla radioattività specifica contenuta (per unità di massa o di volume): si hanno così rifiuti a **bassissima**, **bassa**, **media** ed **alta attività**, con limiti stabiliti da leggi e linee-guida nazionali atte a definirne le modalità di gestione.

Come per tutti i residui, di origine urbana o industriale, che possono presentarsi in forma solida liquida o gassosa, anche per i rifiuti radioattivi lo smaltimento avviene, alternativamente e dipendentemente dalla tipologia del rifiuto, secondo i due classici e alternativi principi semplificativamente definiti DDD (dividere-diluire-disperdere) e CCC (consolidare-concentrare-confinare).

Nel primo caso, alcuni tipi di rifiuti a bassa e bassissima attività, opportunamente ridotti volumetricamente e/o mescolati ad altre sostanze, perdono la loro nocività e possono essere trattati alla stregua di un rifiuto convenzionale, se non addirittura rilasciati nell'ambiente senza restrizioni. Nel secondo caso, si prevede che le sostanze radioattive, con modalità diverse a seconda del loro grado attività, vengano inglobate in una matrice cementizia colata all'interno di contenitori di tipo standardizzato, e che questi siano poi stoccati in ambienti sicuri ricavati negli stessi impianti di produzione, in attesa di un loro isolamento che per lo più avviene su unica base nazionale. Questi residui in forma solida, che sono definiti "rifiuti condizionati" o, se presi singolarmente, "manufatti", hanno forma e dimensioni omologate, possono contenere uno o più tipi di radionuclidi e possiedono una "pericolosità" i cui indici sono l'**attività**, e la **vita media**, intesa come tempo nel quale si dimezza la radioattività totale presente nel rifiuto.

Ai fini delle modalità di confinamento, con questi riferimenti essi si suddividono nelle due principali categorie di:

- rifiuti a **bassa attività**, o a **vita breve**;
- rifiuti ad **alta attività**, o a **vita lunga**.

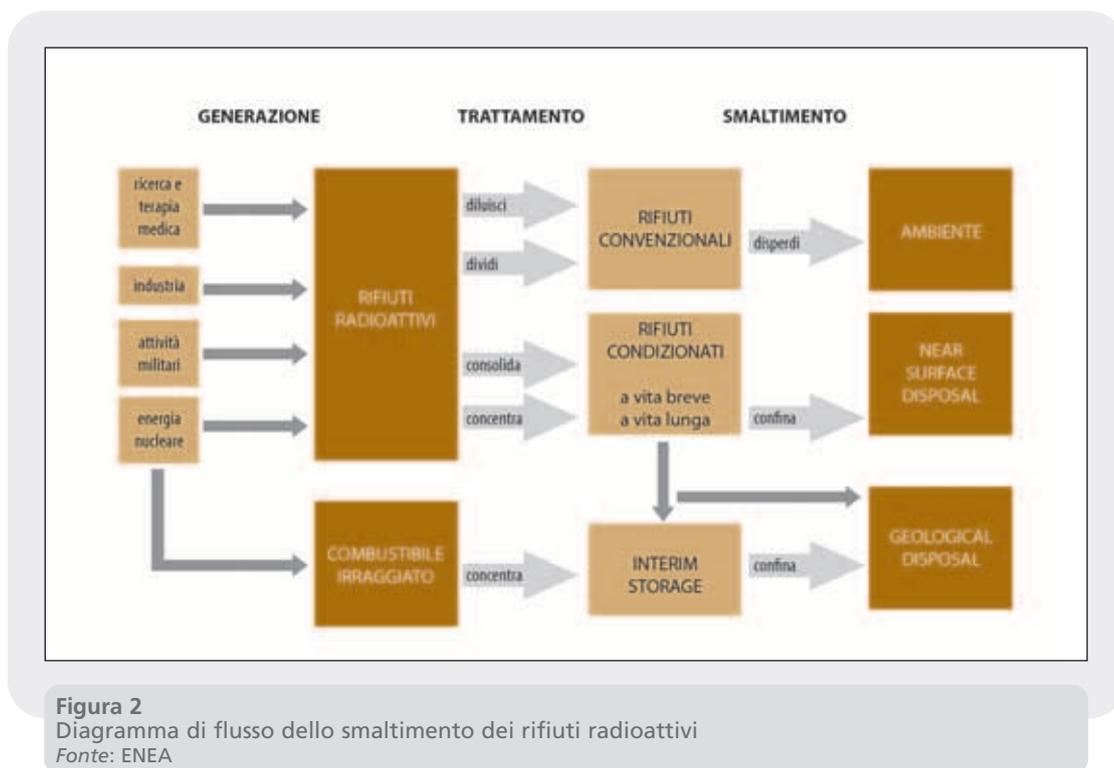
A quest'ultima va associato il sottoinsieme del combustibile irraggiato, ovvero sia del combustibile già utilizzato per la produzione di energia nucleare (con il c.d. "irraggiamento"), che può opzionalmente essere già considerato un rifiuto; in alternativa, esso può essere reso riutilizzabile mediante un trattamento ("riprocessamento") che a sua volta produce rifiuti dei primi due tipi (alcuni dei quali, a più alta attività, e il combustibile stesso, sono le "scorie" propriamente dette).

È necessario isolare questi rifiuti dall'ambiente fino a che la loro radioattività non raggiunga un livello comparabile a quello del c.d. "fondo naturale", quello cioè dell'ambiente in cui viviamo e che può variare, nel mondo, anche di uno o più ordini di grandezza, senza costituire motivo di allarme (in Italia, ad esempio, la provincia di Viterbo presenta un valore 8 volte superiore a quello della provincia di Aosta).

La maggior parte delle normative nazionali fissa per ciascun manufatto i limiti massimi della bassa attività in 3.700 Bq/g, e della vita breve in 30 anni, coerentemente con le raccomandazioni di organi internazionali; ciò comporta che la nocività dei residui del primo tipo diviene trascurabile dopo circa 300 anni.

Per questo motivo, solo per essi, l'isolamento può essere ottenuto con l'ausilio di strutture artificiali (*near-surface disposal*); si ritiene infatti che, allo stato attuale delle conoscenze, la durabilità funzionale di un'opera civile, quale può essere sicuramente considerata una struttura artificiale atta al loro confinamento, non possa essere garantita per un periodo superiore ai tre secoli.

Per gli altri rifiuti, scartata da tempo l'ipotesi di un loro affondamento nelle fosse oceaniche ed anche quella futuribile di un loro invio nello spazio, la più logica soluzione appare quella di un loro isolamento in cavità geologiche di dimostrata stabilità plurimillennaria (*geological disposal*). In Italia la classificazione dei rifiuti è articolata in



“Categorie” (Guida Tecnica ENEA n.26): in sintesi, alla I **Categoria** appartengono i residui disperdibili nell’ambiente e alla II **Categoria** i manufatti e gli altri rifiuti solidi non condizionabili (tipicamente frammenti di componenti provenienti dallo smantellamento di impianti) a vita breve; ogni altro residuo è considerato di III **Categoria**.

### *Le quantità prodotte*

Ai livelli nazionali, l’entità del problema dello smaltimento è quantificato dai dati complessivi di inventario, che riportano per ciascuna tipologia di rifiuto i valori totali di massa, volume e radioattività contenuta; operativamente, i dati più significativi sono costituiti dal volume dei manufatti risultanti dai rifiuti a bassa e media attività, e dal peso del combustibile irraggiato.

Pur variando sensibilmente il dato da nazione a nazione, si può affermare comunque che, in questi termini quantitativi, i rifiuti aventi origine diversa da quella dell’industria elettronucleare sono solo una piccola frazione del totale, pari a una o due unità percentuali.

Per avere un’idea quindi delle quantità prodotte è bene pertanto fare riferimento alla produzione energetica da cui esse derivano.

Mediante un reattore di potenza pari a 1.000 MWe produce manufatti per circa 300 mc all’anno (200 mc a bassa attività e 100 mc a media attività) e circa 30 tonnellate all’anno di combustibile irraggiato; nel caso del riprocessamento, quest’ultimo quantitativo corrisponde a circa 4 mc di scorie.

Come si vede, la bassa e media attività rappresentano il 90% del volume totale; esse tuttavia contengono solo l’1% della radioattività complessiva. Alle quantità prodotte nel corso d’esercizio, vanno aggiunte, al termine di questo, le quantità derivanti dallo smantellamento degli impianti, consistenti per la maggior parte in componenti o pezzi di membrature più o meno attivati, spesso non necessitanti di condizionamento; non esistono dati che possano correlare tali quantità alla produzione, dipendendo le prime da eventuali processi di compattamento o da parziali riutilizzi, tuttavia si può valutare grossolanamente l’in-

tero ammontare pari a quanto è stato prodotto nel corso di un normale esercizio.

Ciò considerato, la percentuale dell'alta attività risulterà ulteriormente diminuita.

Per comparare le dimensioni del problema con quelle poste dai rifiuti industriali in genere, si osservi il dato secondo cui pochi anni fa nell'Unione Europea la produzione annuale di questi ammontava a circa 1.000 milioni di metri cubi, di cui circa 10 milioni classificati "tossici" (con un tempo di decadimento infinito); la produzione totale di rifiuti radioattivi ammontava ad 80.000 mc (meno di 1/100 di quel valore), di cui ad alto livello di radioattività (e tempi millenari di decadimento) circa 150 metri cubi (1/100.000 di quel valore).

L'attuale realtà italiana è così sintetizzabile:

- circa 25.000 mc di rifiuti di II categoria sono attualmente in attesa di sistemazione;
- altri 40.000 mc circa di rifiuti di II categoria si produrranno in seguito allo smantellamento degli impianti;
- i rifiuti di III categoria, compreso il combustibile attualmente riprocessato all'estero, ammontano a circa 7.500 mc.

## Tecniche e strategie di smaltimento

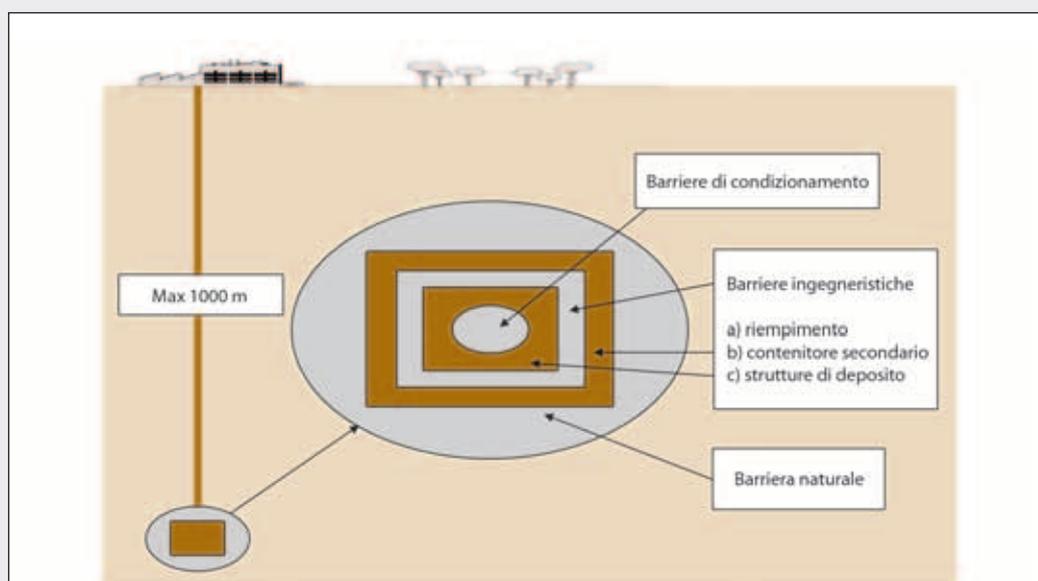
L'operazione terminale di confinamento richiede la disponibilità di adeguati spazi ove possano essere avviati i rifiuti, in forma condizionata, assicurando per un tempo adeguato:

- schermaggio alle radiazioni;
- impedimento alla migrazione di radionuclidi nell'ambiente;
- protezione da intrusione umana alla zona dei manufatti.

Tali obiettivi sono perseguiti in modo ottimale attraverso la applicazione del c.d. concetto "multi barriera", che prevede che i rifiuti siano allocati in spazi circondati da mezzi fisici continui, sia artificiali che naturali, detti barriere; queste sono poste in serie in modo ridondante, per perseguire lo scopo in modo sinergico.

Le barriere sono raggruppabili in tre tipi, e sono presenti in maggiore o minore misura in ogni tipo di deposito, come evidenziato schematicamente in *figura 3*:

- **barriere di condizionamento**, formate dalla matrice solida che nei manufatti ingloba i



**Figura 3**  
Successione delle barriere in uno schema di generico deposito  
Fonte: ENEA

radionuclidi all'interno di un involucro, e dall'involucro stesso;

- **barriere ingegneristiche o artificiali**, costituite dall'insieme delle strutture dell'impianto e da eventuali ulteriori riempimenti e involucri;
- **barriere naturali**, rappresentate dalla struttura geologica del sito, che forma un semispazio o uno spazio di contorno alle strutture di deposito.

### Tipologie di impianto

Lo smaltimento avviene con modalità estremamente differenti per le due citate categorie di rifiuti (a vita breve e a vita lunga), in ossequio rispetto a due diverse impostazioni concettuali: la prima prevede che venga mantenuta per un determinato periodo di tempo la memoria dell'avvenuta operazione, la seconda prevede invece che se ne possa avere immediata "perdita di memoria".

Ciò si traduce nel fatto che i rifiuti a vita breve possono essere posti in strutture appositamente realizzate, o comunque confinati in posizione accessibile (depositi "ingegneristici"), mentre tutti gli altri rifiuti, dopo un periodo di stoccaggio provvisorio (*interim storage*) tecnicamente necessario nel caso del combustibile irraggiato, devono essere posti in cavità naturali più o meno profonde: solo a questa soluzione infatti è convenzionalmente attribuita un'efficacia per tempi infiniti.

Per quanto riguarda i rifiuti a vita breve, dal punto di vista realizzativo i depositi possono essere classificati come:

- superficiali;
- sub-superficiali;
- profondi,

a seconda che la loro localizzazione avvenga in prossimità del piano campagna, in galleria appositamente costruita in zona montana o collinosa, oppure a profondità dell'ordine delle centinaia di metri.

I depositi superficiali, che sono i più diffusi, vanno da opere concettualmente semplici, costituite da trincee in cui i rifiuti sono semplicemente ricoperti di terreno compattato e, passando attraverso schermature e riempimenti variamente realizzati, alle più moderne strutture scatolari in cal-

cestruzzo armato ad elevata durabilità, opportunamente impermeabilizzate.

Le trincee, la cui applicazione era diffusa fino agli anni 60, venivano realizzate in località isolate, molto al di fuori dei contesti urbani, spesso comunque in prossimità delle esistenti installazioni nucleari; le strutture moderne sono ricoperte di terreno, dopo la loro sigillatura, al doppio scopo di ulteriore protezione e ripristino paesaggistico. Sono di tipo sub-superficiale le strutture in galleria, tuttavia meno diffuse, che non differiscono dimensionalmente dalle comuni gallerie stradali o ferroviarie, ma maggior attenzione è posta nella scelta localizzativa, dovendo il mezzo circostante possedere adeguate caratteristiche di impermeabilizzazione.

I depositi profondi, utilizzati talvolta anche per i rifiuti a vita breve, sono molto spesso ricavati in vecchie miniere; minore importanza rivestono in questo caso le barriere di tipo ingegneristico, peraltro presenti in forma minimale con funzione distributiva.

Con riferimento a suddetta classificazione, la *figura 4* evidenzia qualitativamente i contributi dei singoli gruppi di barriere.

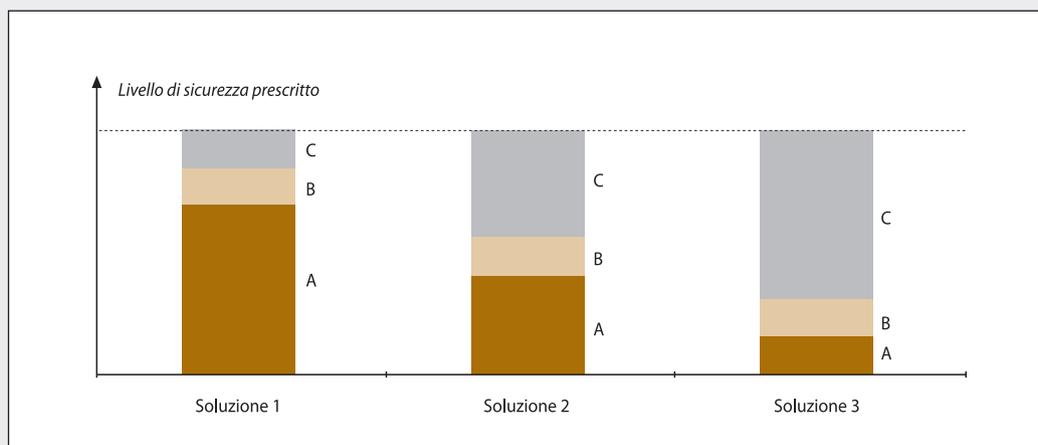
Non esistono criteri oggettivi per prediligere una soluzione piuttosto che un'altra.

Le scelte sono spesso obbligate da localizzazioni e tempi decisi a livello politico, per cui la scelta ottimale può essere fatta solo in base al sito e allo stato dell'arte al momento disponibile.

È importante comunque che, in date condizioni al contorno, venga dimostrato il raggiungimento del livello di sicurezza prescritto attraverso i contributi dei tre gruppi di barriere e la loro reciproca ridondanza.

Per i rifiuti a vita lunga la sola soluzione è rappresentata dalla loro sistemazione in un deposito profondo (c.d. di tipo geologico), ove gli spazi sono ricavati in zone geologiche tettonicamente molto stabili, tipicamente a più di mille metri di profondità, prediligendo formazioni di tipo salino o argilloso.

Significativa è tuttavia la circostanza che ancora nessuno se ne è avvalso, pur avendone individuato la localizzazione e sviluppatovi degli studi; ciò è da ricercarsi nel fatto che gli attuali ti-



**Figura 4**  
Contributo delle barriere artificiali (A), di condizionamento (B) e naturali (C) in un impianto superficiale (1) sub-superficiale (2) profondo (3)  
Fonte: ENEA

pi di sistemazione provvisoria dei rifiuti a vita lunga (ospitati in strutture simili a quelle ingegneristiche per i rifiuti a vita breve) sono considerati affidabili sulla scala di qualche decennio, e che i volumi in gioco non sono ancora tali da richiedere azioni urgenti per ogni decisione in merito.

### La gestione degli impianti

Presso ogni tipo di deposito, le zone circostanti le aree di deposito vengono recintate ed assimilate, dal punto di vista della radioprotezione, a quelle di altre installazioni nucleari; in esse vengono realizzate delle installazioni ausiliarie costituite da stazioni di condizionamento locale dei rifiuti, laboratori di analisi, sistemi remotizzati di movimentazione e controllo, edifici di servizio e amministrativi ecc., ottenendo così quello che in genere diviene, quasi sempre a livello nazionale, il Centro o Impianto di Smaltimento per i Rifiuti Radioattivi.

Nel caso di impianti per rifiuti a vita breve, al fine di uniformare il grado di sicurezza nel tempo, stanti le variabili dovute a motivi operazionali e al tempo di decadimento dei rifiuti, l'assetto gestionale dell'impianto varia in conseguenza; generalmente il programma di sorve-

glianza e controllo è articolato in tre tempi, nel modo seguente:

- I. **fase operativa:** tale fase inizia con l'arrivo all'impianto della prima quantità di rifiuti e termina con la "sigillatura" del deposito, che avviene dopo il completamento dell'ultima barriera ingegneristica; in questo periodo di tempo, dell'ordine di circa 30-40 anni, la gestione dell'impianto è comparabile a quella di normali installazioni nucleari, quali ad esempio centrali di potenza, impianti di fabbricazione del combustibile, reattori di ricerca ecc.;
- II. **periodo di controllo istituzionale:** vi è solamente una vigilanza esterna, atta ad impedire l'accesso umano, ed è operato un monitoraggio ambientale per controllare l'efficacia dei sistemi di protezione o avvertire della necessità di interventi; in genere la durata del periodo è dell'ordine di qualche centinaio di anni;
- III. **rilascio illimitato:** inizia nel momento in cui l'impatto radiologico al sito è insignificante in rapporto alla locale radioattività naturale, e pertanto ogni forma di controllo può essere sospesa, lasciando comunque delle segnalazioni sull'esistenza dell'impianto alle future generazioni.

Nel caso di depositi per rifiuti a vita lunga la fase di controllo istituzionale può essere prevista solo formalmente, ed essere legata ai soli aspetti anti-intrusivi fintanto che ogni possibile accesso agli spazi di deposito non sia inibito in modo totalmente passivo.

### **Il siting**

Il processo di definizione, selezione e qualificazione del sito rappresenta l'aspetto iniziale e più delicato dell'insieme di attività che devono essere espletate per ottenere l'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di un impianto di smaltimento di rifiuti radioattivi.

I criteri per la selezione dei siti sono diversi a seconda che si tratti di dover ospitare un deposito ingegneristico o geologico, ma in entrambi i casi i criteri derivano dall'applicazione estensiva dei principi generali di sicurezza e radioprotezione.

Nella maggior parte dei casi la scelta del sito avviene tra un limitato numero di siti selezionati sulla base di determinati requisiti minimali, che riguardano, oltre all'idoneità tecnica e geologica, le caratteristiche antropiche (la densità di popolazione e la sua distribuzione, l'uso del territorio e l'assetto giurisdizionale), la topografia, la sismologia e il clima.

Spesso l'esame freddo di tali dati può non essere sufficiente ad orientare una scelta, se non attribuendo a priori un "peso" ai requisiti, per cui generalmente si procede con il principio dell'esclusione progressiva; esistono, in ogni caso, insiemi di raccomandazioni cui debbono uniformarsi i criteri di selezione e qualificazione di un sito.

Una volta prescelto, il sito viene qualificato mediante studi e prove più approfonditi, ma ispirati ai medesimi criteri di selezione.

L'analisi di questi fattori deve avvenire non solo in riferimento all'attuale realtà, ma anche alle sue previste modifiche durante tutte le fasi costruttive e operazionali dell'impianto, la cui realizzazione deve essere a bassissimo impatto.

Nei tempi recenti è sempre più estesamente usata la tecnica GIS (*Geographical Information System*), ove uno o più siti vengono selezionati mediante l'omonimo strumento informatico.

Questa metodologia consiste nella discretizzazione di un intero territorio regionale o nazionale in zone di area sufficiente a un determinato insediamento che, in base alle loro coordinate, vengono automaticamente descritte dai parametri relativi agli aspetti precedentemente descritti (densità di popolazione, distanze da centri e da linee ferroviarie e stradali, piovosità, zona sismica ecc.): inserendo un input costituito da vincoli via via più restrittivi, si giunge a individuare un corrispondente e sempre più ristretto numero di siti idonei.

Il livello di analisi conseguibile dipende ovviamente dal livello di dettaglio spazio-temporale e dal grado di omogeneità dei dati disponibili.

### **Aspetti ambientali e di sicurezza**

Il progetto finale di un impianto di smaltimento viene condotto nel rispetto di prescrizioni fissate dagli enti di controllo nucleari nazionali, e comunque nel rispetto minimale di ogni standard di natura convenzionale che possa avere una qualsiasi ricaduta sulla progettazione (es.: verifiche strutturali, sicurezza del cantiere ecc.); laddove le legislazioni nazionali lo prescrivano, il progetto dell'opera sarà sottoposto a verifica di impatto ambientale.

Ma l'aspetto peculiare di maggiore rilevanza è costituito dalla concentrazione di radioattività che si viene a creare nella zona circostante l'impianto: pertanto, sia nella costruzione che in ogni attività ad essa associata, deve essere assicurata ai lavoratori coinvolti e alle popolazioni la protezione dagli effetti nocivi provocati dalle sostanze radioattive.

### **Obiettivi di progetto**

La quantità fisica che misura il danno al corpo umano per effetto delle radiazioni e che nel progetto rappresenta quindi il valore da minimizzare, è la cosiddetta "dose efficace", che ha le dimensioni di energia per unità di massa, e viene misurata in Sievert (Sv).

In alternativa, si può calcolare il rischio equivalente, che è dato dal prodotto tra la possibilità di ricevere una dose e la probabilità che questa

dia luogo ad effetti dannosi per la salute, ed è misurato in probabilità/anno.

Sarà poi compito di ciascuna legislazione nazionale fissare i limiti accettabili o per la dose, o per il rischio, o per entrambi.

Pur variando da nazione a nazione, il limite non supera mai gli 0,3 mSv/anno, attestandosi tuttavia mediamente sugli 0,15 mSv/anno, mentre il rischio equivalente non è mai superiore a  $10^{-6}$ . Per comprendere l'ordine di grandezza dei limiti normativi, ci si può riferire alle *tabelle 1 e 2* che indicano i valori di dose abitualmente riscontrabili sull'uomo per effetto di sorgenti radioattive naturali e quelli che si hanno in seguito ad

un comune esame radiologico (valori, questi ultimi, da rapportare al beneficio indotto dalla possibile risoluzione del quesito diagnostico).

### Analisi di sicurezza

Dal momento in cui i manufatti sono prodotti e sino alla chiusura dell'impianto, gli obiettivi di progetto vengono conseguiti con il rispetto delle norme di radioprotezione specifiche delle installazioni nucleari mentre, dopo la chiusura dell'impianto, la condizione di sicurezza deve essere garantita in modo passivo dalle strutture di deposito. Tuttavia, se per i rifiuti a lunga vita le strutture del sito possono fornire garanzie per un tem-

**Tabella 1 – Dose media dovuta alle sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti**

Sorgente	Dose efficace annuale media della popolazione mondiale (mSv)	Range tipico (mSv)
<b>Esposizione esterna</b>		
Raggi cosmici	0,4	0,3 – 1,0
Radiazione gamma terrestre	0,5	0,3 – 0,6
<b>Esposizione interna</b>		
Inalazione (principalmente radon)	1,2	0,2 – 10
Ingestione	0,3	0,2 – 0,8
<b>TOTALE</b>	<b>2,4</b>	<b>1 – 10</b>

Fonte: Corso di Radioprotezione della Dr.ssa Iole Pinto, AUSL 7 di Siena – Dipartimento di prevenzione U.F. Igiene e Tossicologia Industriale – Laboratorio Agenti Fisici

**Tabella 2 – Esempio di stima di rischio per donna adulta sottoposta ad esame radiologico della colonna**

Organo	Dose (mSv)	Fattore di rischio (Sv-1)	Tipo di danno	Probabilità di danno
Tiroide	0,000	$8 \times 10^{-4}$	cancro	–
Polmoni	0,126	$85 \times 10^{-4}$	cancro	$1,07 \times 10^{-6}$
Midollo	0,386	$50 \times 10^{-4}$	cancro	$1,93 \times 10^{-6}$
Ovaie	2,230	$10 \times 10^{-4}$	cancro	$2,23 \times 10^{-6}$
Torace	0,000	$20 \times 10^{-4}$	cancro	–
Utero (embrione)	2,886	$40 \times 10^{-4}$	deficit mentale	$11,54 \times 10^{-6}$
Totale corpo	0,945	$500 \times 10^{-4}$	cancro	$47,25 \times 10^{-6}$
Totale corpo	0,945	$100 \times 10^{-4}$	malattie ereditarie	$9,45 \times 10^{-6}$

Fonte: Corso di Radioprotezione della Dr.ssa Iole Pinto, AUSL 7 di Siena – Dipartimento di prevenzione U.F. Igiene e Tossicologia Industriale – Laboratorio Agenti Fisici

po praticamente infinito, per i rifiuti a vita breve, che potrebbero contenere radionuclidi con attività non trascurabile per tutto il periodo di controllo istituzionale (durante il quale è previsto un adeguato monitoraggio dell'ambiente e dell'impianto, onde individuare in tempo reale ogni minima anomalia e, accertandone la natura, predisporre immediate azioni correttive), ciò avviene solo fino al termine di questo, quando non è più assicurata l'efficacia delle barriere.

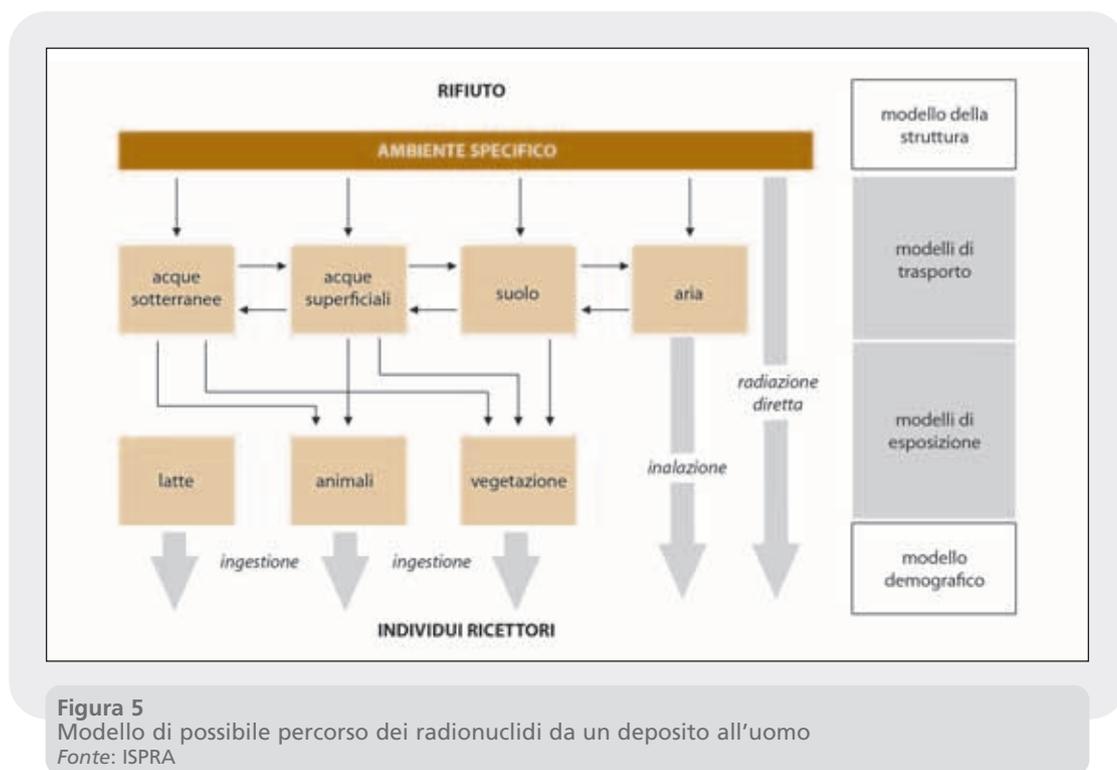
Data l'estensione del periodo temporale di vita dell'impianto, decisamente superiore a quello previsto o prevedibile per ogni altra opera umana, è necessario prendere in considerazione delle condizioni al contorno variabili nel tempo, sintetizzate in uno o più "scenari" che le possano conservativamente involuppare.

Non esistendo un elenco esaustivo di scenari, si possono richiamare sinteticamente le evenienze naturali ed antropiche che si suole considerare, opportunamente schematizzate, vale a dire i fenomeni di:

- sisma;
- cambiamento climatico;
- allagamento;
- intrusione biologica (animali o piante);
- erosione del terreno;
- e attività umane quali
  - costruzione;
  - coltivazione;
  - sfruttamento falde acquifere;
  - attività industriali;
  - riutilizzo materiali smaltiti;
  - intrusione (deliberata o no).

Stante la varietà di realtà sociali e geografiche, non possono esistere standard procedurali per la presa in conto di queste evenienze; è importante tuttavia che esse possano essere rappresentate compiutamente e conservativamente nel modello di calcolo che verrà utilizzato per la quantificazione dei rilasci ambientali.

Quest'ultimo, generalmente, è ottenuto assemblando più modelli che, come nell'esempio di *figura 5*, schematizzano i percorsi dei radionuclidi veicolati dalle acque meteoriche, a partire dal



**Figura 5**  
Modello di possibile percorso dei radionuclidi da un deposito all'uomo  
Fonte: ISPRA

deposito, attraverso la struttura e i mezzi circostanti, fino a raggiungere entità vegetali e animali e, ovviamente, l'uomo.

## Emotività e razionalità

In quanto precede, è stato esaminato l'aspetto "residuale" della produzione dell'energia nucleare, vale a dire il suo impatto a lungo termine sull'eco-sistema; l'accettabilità di questo impatto, in sintesi, determina la sostenibilità dell'intero processo.

Sulla base delle considerazioni fin qui esposte non è difficile intuire la fattibilità ingegneristica dell'opera "residua", che sarà realizzata per minimizzare ogni conseguenza dannosa o, quantomeno, per contenerla nei limiti di qualsiasi altra attività antropica che produca benefici comparabili: le dimensioni in gioco, che permettono il controllo della fenomenologia radioattiva, sono dell'ordine di quelle di impianti convenzionali, inseribili nei contesti a misura d'uomo.

La sostenibilità del processo nucleare, che deve essere intesa come capacità delle generazioni future di sopportare gli esiti di benefici non direttamente goduti, è del resto confermata da alcuni dati presi dalla realtà francese (la Francia è il paese che ha fatto in misura maggiore il ricorso all'energia nucleare con l'80% dell'energia elettrica prodotta), ove i rifiuti radioattivi generati da ciascun abitante nel corso della propria vita ammontano a circa 1 kg (comprensivo del condizionamento), di cui solo 10 grammi presentano le caratteristiche dell'alta attività.

Per meglio comprendere la valenza di questi dati, si consideri che:

- con un ricorso ad un diverso tipo di energia non rinnovabile sarebbero altrimenti prodotte 3 tonnellate di rifiuti, per anno e per abitante;
- circa il 3,5% di questi rifiuti (c.d. rifiuti industriali speciali) possiedono comunque una tossicità, che non decade con il tempo, con effetti lesivi comparabili comunque a quelli dei rifiuti radioattivi prodotti;

e, visto che alcuni rifiuti radioattivi hanno una vita attiva di centinaia di migliaia di anni, si con-

sideri anche che, in paesi aventi la densità abitativa tipica dell'Europa Occidentale, se tutta la produzione energetica avvenisse con ricorso a fonti fossili, e quindi con residui non riciclabili, al ritmo attuale dei consumi, in 10.000 anni una cappa geologica di un metro di spessore ricoprirebbe le loro intere superfici.

Sempre in Francia, si è rilevato che in centri prossimi a impianti di smaltimento le esposizioni (aumentate da 3 a 10 mSv/y per effetto dell'installazione) sono inferiori, in un rapporto variabile da 2 a 10, a quelle riscontrate in territori di ben superiori dimensioni, ove si sia riscontrata la presenza di uranio e/o torio naturali; altrettanto dicasi per le esposizioni dovute ad ingestione, che sono molto inferiori a quelle di radionuclidi naturali (come il radon e i suoi prodotti  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$ ), più tossici del Plutonio, a parità di attività.

Ma se è vero che, razionalmente e con cognizione tecnica specifica, non è difficile accettare la realizzazione di un impianto di smaltimento nelle vicinanze della propria abitazione o, più in generale, nella propria nazione, è altrettanto vero che la maggior parte delle persone, e non solo in Italia, emotivamente rifiuterebbe una simile prospettiva.

Anche tra coloro che ritengono prima o poi indispensabile un ritorno all'energia nucleare, vi sarebbe un'opposizione: nel qual caso, visto che ci si trova a rifiutare solo l'aspetto terminale di un processo in precedenza accettato, ci si trova di fronte alle classiche sindromi NIMBY (*not in my back-yard*) e NIMG (*not in my generation*).

Sostanzialmente, le argomentazioni addotte sono riconducibili a quelle che caratterizzano le classiche posizioni contro il nucleare, per il facile accostamento ad esso di termini quali "radioattività" e "atomo"; si registrano quindi:

- timori che la tecnologia comporti un aumento del rischio per la salute e una diminuzione della qualità della vita;
- sfiducia nei gestori tecnici, che si ritengono asserviti (coscientemente o no) ad interessi di *lobbies* energetiche;
- convinte identificazioni delle installazioni come facili obiettivi terroristici.

Queste argomentazioni, in modo più ideologizzato, sono sostenute con:

- spinte affermazioni di spirito pacifista, per le quali l'uso industriale dell'energia nucleare è presupposto della proliferazione omonima;
- integralismi ambientalisti, per i quali si attribuisce alle emissioni radioattive la potenzialità di alterare la natura circostante in modo superiore ad ogni altro rilascio industriale;
- evidenziazione ed enfattizzazione di decessi, reali o presunti, attribuibili al nucleare.

Purtroppo è inutile ribattere che analoghe paure non sono evocate dall'automobile (ove il funzionamento del motore a scoppio si fonda sullo stesso principio degli scoppi esplosivi), che la radioattività, comunque presente in natura, è utilizzata anche a scopi terapeutici, che un attentato terroristico sarebbe molto più efficace su un impianto chimico (tipologia impiantistica che ha prodotto quantità sottaciute di danni irreversibili senza essere demonizzata), che anche i decessi avvenuti in miniere di carbone e i danni prodotti da perdite petrolifere, anch'essi da attribuire alla produzione energetica, devono essere ricordati e, soprattutto, rapportati ai kWh prodotti.

Storicamente infatti la percezione del pericolo di una nuova tecnica è sempre stata superiore al reale rischio che questa comportava, e solo una sua progressiva diffusione, più di ogni analisi statistica, ha favorito una maggiore confidenza dell'utente: si pensi al viaggio aereo, oggi non più temuto come agli albori dell'aviazione, alle paure evocate dalle prime applicazioni elettriche e magnetiche, alle iniziali diffidenze sull'informatizzazione.

Si può ricordare la situazione grottesca che si veniva a creare a causa delle paure dei contadini inglesi che, fino all'inizio del secolo scorso, temevano che il passaggio del treno disturbasse le mandrie al pascolo al punto da renderle improduttive: dei messaggeri a cavallo, dotati di corno sonoro, presidiavano le ferrovie per annunciare i momenti di "pericolo".

La scienza, inoltre, ancor oggi si scontra con pregiudizi di origine popolare anche, ad esempio, in campo medico/salutare: le nonne continua-

no a raccomandare ai nipotini che giocano a pallone di "non sudare", molti non donano il sangue pensando di perderlo definitivamente, si preferisce conferire in discarica, o peggio, bruciare, i rifiuti urbani temendo gli effetti della loro termovalorizzazione ecc.

La necessità di poter disporre di un deposito per i residui è sicuramente intralciata da ignoranze e pregiudizi, e purtroppo in Italia la situazione appare cristallizzata: infatti, in paesi dotati di apparati decisionali centralizzati il cittadino subisce in ogni caso le scelte tecniche di interesse collettivo, pur se non sempre ottimali mentre, in paesi più democratici, nella maggior parte dei casi già con "cultura nucleare", il processo più delicato, e cioè quello della localizzazione, viene condotto con autorevoli strumenti di informazione al pubblico e sperimentate forme istituzionali di dialogo.

Non vanno poi trascurati gli effetti indotti delle avversioni, come ha dimostrato l'analisi di alcune significative argomentazioni espresse nell'ambito della contestazione alla proposta di Scanzano, in un territorio ove peraltro non mancava una certa qual cultura nucleare per la presenza di impianti e residui nel vicino Centro Ricerche ENEA della Trisaia.

Al di là degli scontati allarmismi di natura ecologista, artatamente alimentati e strumentalizzati, si sono infatti registrati timori da parte di operatori turistici locali che, pur convinti del bassissimo impatto ambientale, temevano la perdita di abituali clienti estivi disinformati, e da parte di imprenditori agricoli, sicuri che la proposta non fosse finalizzata ad una strategia nucleare ma ad un piano di svalorizzazione dei terreni coltivabili a favore di zone viciniori; persino tra il personale impiegato localmente in attività nucleari, che avvertiva in qualche modo un danno sociale comunque procurato, c'era chi riteneva ingiusto che una piccola Regione, per di più a bassa densità abitativa, si prendesse carico dei residui di un'energia consumata da un'intera nazione.

Da ciò si evince che il problema è quasi esclusivamente politico-istituzionale, ma non potrà essere superato fino a che l'opposizione popolare,

comunque a peso elettorale decisivo, sarà basata su emozioni ed ignoranza, e non su oggettive disamine.

Per cui, se da un lato la classe politica si deve fare carico di garantire e difendere delle scelte tecniche di utilità collettiva, nel rispetto di leggi ambientali che oggi appaiono insufficienti soprattutto per quanto riguarda l'informazione al pubblico e il dialogo con questo (aspetti, questi, raccomandati dalle direttive comunitarie in tema), dall'altro lato è indispensabile la diffusione di una cultura maggiormente orientata su temi tecnici che, partendo dall'istruzione secondaria, favorisca l'apprendimento dei concetti basilari di sicurezza e di rischio, la percezione degli ordini di grandezza e l'importanza dei dati nelle relazioni causa-effetto e, conseguentemente, la capacità di analizzare i problemi in modo globale e di schematizzarli.

Solo così sarà possibile perseguire i risultati energetici ed ambientale necessari, come minimo, al mantenimento degli attuali standard di benessere e vivibilità.

## Conclusioni

L'esistenza di residui della produzione energetica elettronucleare, che deve essere tenuta in conto al pari di ogni altro residuo di attività antropica, non costituisce quella minaccia ambientale che viene spesso demonizzata da parte di

integralisti ambientali e recepita da parte di un pubblico influenzabile emotivamente, bloccando di fatto ogni decisione politica.

Anzi si può dire che le moderne tecnologie di gestione e smaltimento, che offrono solide garanzie di sicurezza, portano, dal punto di vista di una inevitabile alterazione dell'eco-sistema, a preferire, a parità di altri fattori (quali economicità, inserimento territoriale, problemi distributivi ecc., che in questa sede non si considerano), l'energia nucleare ad altre energie.

Senza voler entrare nel merito delle strategie energetiche, e considerando che l'avversione a questo tipo di energia, spesso puramente ideologica, si nutre di pregiudizi che paventano effetti catastrofici dovuti alla presenza dei rifiuti radioattivi, non si può non prendere atto di come l'irrazionalità umana può talvolta portare a scelte che definire "non ottimali" è un eufemismo.

I problemi posti dal progresso tecnologico, tendente a migliorare comunque la condizione umana, ed in particolare dalla produzione energetica, non sono costituiti dai suoi "residui", se la loro generazione è comunque prevista e controllata, bensì da eventuali errate impostazioni dell'analisi di bilancio costi-benefici, che deve essere condotta nel più vasto ambito temporale e spaziale, tenendo in conto tutti i dati disponibili e valutando attentamente l'ordine di grandezza delle ricadute nel lungo periodo.



## Approfondimenti sul fluido termovettore

a cura di Mauro Vignolini, Alfredo Fontanella  
ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

Il fluido termovettore è il mezzo fisico mediante il quale, negli impianti solari, l'energia raccolta si trasporta e si rende disponibile per l'utilizzo in forma di calore.

Nel caso degli impianti solari ad alta temperatura (a concentrazione) la scelta del fluido termovettore assume particolare importanza perché determina la massima temperatura a cui è resa disponibile l'energia termica e di conseguenza il massimo rendimento ottenibile nella sua conversione termodinamica in energia elettrica. Inoltre, nel caso di impianti solari con sistema di accumulo termico, la più alta temperatura consente di aumentare il contenuto energetico per unità di massa del mezzo di accumulo e quindi, a parità di energia accumulata, si riducono le dimensioni e il costo del sistema, con evidenti vantaggi per l'economia dell'impianto.

Il tipo di fluido termovettore adottato condiziona profondamente il progetto e il funzionamento dell'impianto solare: oltre alla massima temperatura raggiungibile occorre tenere conto di diversi altri aspetti, tra cui la pressione di esercizio, la portata richiesta e la conseguente perdita di energia per il flussaggio, le interazioni chimiche e fisiche con i materiali dell'impianto, i rischi in caso di eventi incidentali, le conseguenze sull'ambiente, il costo, la durata e le problematiche di smaltimento o riutilizzo a fine vita.

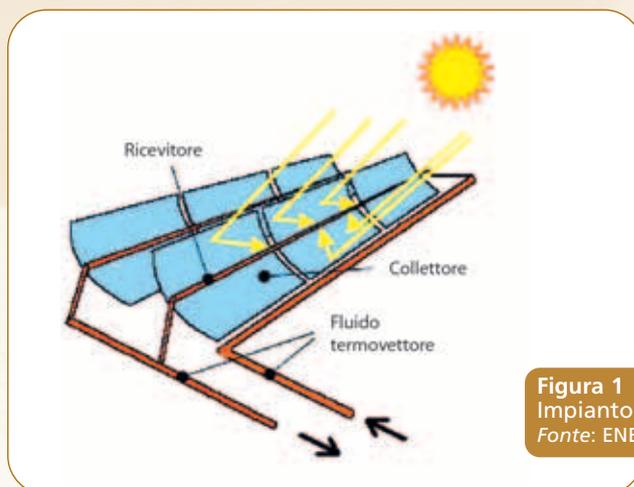
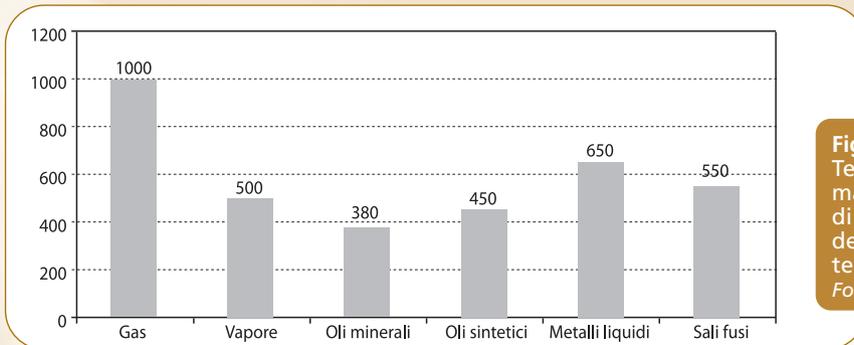


Figura 1  
Impianto solare a concentrazione  
Fonte: ENEA

I principali sistemi di trasporto del calore che è possibile adottare negli impianti solari ad alta temperatura si basano sui seguenti fluidi:

- gas;
- acqua/vapore;
- oli minerali;
- oli sintetici;
- metalli liquidi;
- sali inorganici fusi.

L'impiego di gas, come ad esempio aria, anidride carbonica o azoto, presenta il vantaggio di un basso costo della carica e la possibilità di raggiungere elevate temperature, al limite della resistenza dei materiali strutturali dell'impianto. Gli svantaggi sono legati ai bassi valori del calore specifico, della densità e del coefficiente di scambio termico: risultano quindi poco efficienti come mezzi di trasporto del calore e richiedono grosse portate volumetriche per unità di energia termica trasportata. Per aumentare la densità occorre utilizzare circuiti ad alta pressione. Tutto ciò comporta elevati costi di impianto e notevole dispendio di energia per il flussaggio.



**Figura 2**  
Temperature massime indicative di utilizzazione dei fluidi termovettori (°C)  
Fonte: ENEA

L'utilizzazione diretta del vapore (*Direct Steam Generation*) permette di alimentare direttamente le turbine senza scambiatori di calore, con maggiore efficienza energetica, ma a fronte di pressioni di esercizio molto elevate, anche oltre 100 bar, con incidenza significativa sui costi di impianto. I problemi maggiori sono legati al controllo delle instabilità conseguenti a variazioni repentine nell'irraggiamento solare e alle difficoltà di accumulo termico.

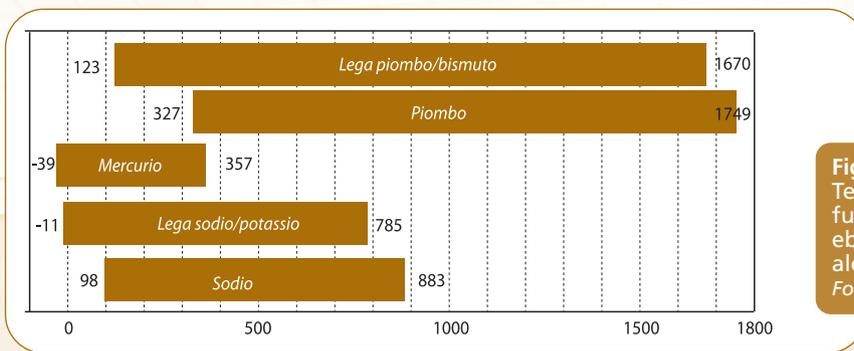
Gli oli minerali rappresentano la scelta tecnologicamente più matura. Nell'ambito dei sistemi di produzione di energia elettrica da solare termico ad alta temperatura, essi vengono utilizzati fin dal 1980 negli Stati Uniti, negli impianti tipo SEGS (*Solar Electric Generating System*).

I problemi sono legati all'alta infiammabilità, alla tossicità e all'inquinamento ambientale in caso di fuoriuscita accidentale, nonché al costo elevato e ai fenomeni di degradazione che richiedono periodici interventi di sostituzione e rigenerazione.

Gli oli sintetici presentano migliori prestazioni riguardo la temperatura massima di utilizzo e la stabilità nel tempo, e comportano costi maggiori e analoghi problemi riguardo i rischi.

La tecnologia dei metalli liquidi come termovettori è stata sviluppata soprattutto in campo nucleare ed in particolare l'ENEA ha svolto notevole lavoro sperimentale sull'utilizzazione del sodio nei reattori veloci. Il vantaggio nell'uso dei metalli liquidi è legato alle loro eccellenti proprietà termiche ed alla possibilità che essi hanno di raggiungere temperature molto elevate.

I metalli liquidi maggiormente considerati come fluidi termovettori sono il sodio, le leghe sodio/potassio, il mercurio, il piombo e le leghe piombo/bismuto. I problemi sono legati alla forte reattività con l'aria e con l'acqua (sodio e potassio), alla tossicità (mercurio) e alla complessità dei circuiti e dei sistemi di controllo.



**Figura 3**  
Temperature di fusione e di ebollizione di alcuni metalli (°C)  
Fonte: ENEA

I sali fusi sono principalmente di due tipi: miscele binarie e miscele ternarie. La principale miscela binaria è costituita da nitrato di sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) e nitrato di potassio ( $\text{KNO}_3$ ) in rapporto ponderale 60%-40%. Questo tipo di miscela è largamente utilizzato nell'industria, ad esempio per i trattamenti metallurgici, e presenta una serie di vantaggi: innanzitutto essa non comporta rischio di incendio (è classificata come 'ossidante' e, poiché negli impianti solari non si utilizzano combustibili, non può esplicare l'azione di favorire la combustione); inoltre, in caso di fuoriuscita accidentale, solidifica rapidamente a contatto con l'ambiente esterno e può essere facilmente recuperata dal terreno con mezzi meccanici. Queste sostanze sono comunemente utilizzate in agricoltura come fertilizzanti; pertanto, eventuali limitate dispersioni nell'ambiente non possono provocare problemi di inquinamento. Questi sali sono ampiamente disponibili e il loro costo di approvvigionamento è abbastanza limitato rispetto ad altri fluidi.

Le miscele di sali fusi hanno eccellenti caratteristiche termiche. Rispetto ai gas e al vapore hanno valori più elevati per il coefficiente di scambio termico, il calore specifico e la densità; complessivamente hanno quindi migliore capacità di trasporto del calore, oltre al vantaggio di poter operare a pressioni molto inferiori. Queste caratteristiche permettono un dimensionamento meno oneroso per le apparecchiature dell'impianto e minore utilizzo di energia per il pompaggio.

Le miscele di sali fusi presentano buona compatibilità con i materiali strutturali dell'impianto. Possono essere usate convenientemente anche come mezzo di accumulo termico: la soluzione tecnologica sviluppata dall'ENEA utilizza la stessa miscela di sali fusi per il trasporto del calore e per l'accumulo termico.

L'accumulo dei sali fusi in grandi serbatoi coibentati consente di immagazzinare notevoli quantità di energia: 1 kWh di energia termica alla temperatura di 550 °C richiede solo 5 litri di sali fusi e quindi 50 litri di miscela equivalgono al contenuto energetico di circa 1 litro di gasolio.

Il problema principale nell'utilizzo dei sali fusi è il rischio di solidificazione all'interno delle tubazioni e delle apparecchiature di impianto; infatti la miscela nitrato di sodio / nitrato di potassio solidifica intorno ai 230 °C. Per questo motivo, negli impianti solari le parti interessate alla circolazione della miscela di sali fusi richiedono un buon isolamento termico, in modo da limitare le dispersioni termiche e quindi l'abbassamento della temperatura vicino ai valori di solidificazione.

Per lo stesso motivo il fluido termovettore viene fatto circolare nell'impianto solare anche in assenza di insolazione: in questo modo si utilizza una parte del calore accumulato durante il giorno per compensare le dispersioni termiche dell'impianto nelle ore notturne mantenendo la temperatura del fluido sempre al di sopra del punto di solidificazione. Inoltre è previsto un sistema ausiliario, in genere alimentato elettricamente, che provvede al riscaldamento dell'impianto in caso di emergenza e nelle operazioni di avvio, iniziali e dopo fermate di manutenzione straordinaria.

Le miscele ternarie contengono un terzo componente, per esempio nitrito di sodio ( $\text{NaNO}_2$ ), che abbassa la temperatura di solidificazione della miscela e riduce le complicazioni impiantistiche per prevenire i problemi di solidificazione del fluido. Lo svantaggio di queste miscele è legato alla minore temperatura massima raggiungibile e al maggior costo di approvvigionamento rispetto alle miscele binarie.

La possibilità di realizzare sistemi di accumulo termico a basso costo è un elemento decisivo nelle prospettive di sviluppo della tecnologia solare ad alta temperatura; la scelta ENEA di puntare sulle miscele binarie di sali fusi come fluido termovettore appare quindi una soluzione vincente nelle future applicazioni delle fonti energetiche rinnovabili.





**ENER**