

Bimestrale dell'ENEA  
Anno 56, novembre-dicembre 2010

# Energia, Ambiente e Innovazione

6/2010

**ENEA**

*Prospettive tecnologiche per  
la sostenibilità del sistema  
energetico*

*50 anni di energia nucleare  
al Centro Ricerche Casaccia  
dell'ENEA*

*Il miglioramento genetico  
del grano duro in Casaccia*

*Le competenze  
ingegneristico-civili nelle  
attività nucleari*

*La VAS nella programmazione  
comunitaria 2007-2013*

*Tecnologie alternative di  
trattamento termico dei rifiuti*



**È** questo un editoriale di commiato, poiché, a seguito della nomina del nuovo Direttore Responsabile della Rivista *Energia, Ambiente e Innovazione*, si chiude un quinquennio di attività legato alla mia gestione – quale direttore esecutivo prima e direttore responsabile poi – e a quella dell'attuale Comitato Tecnico-Scientifico.

Ritengo dunque opportuno presentare un breve bilancio delle attività svolte nei cinque anni passati.

In questo periodo, e in particolare negli ultimi tre anni e mezzo, la Rivista ha registrato un forte rilancio, che ne ha fatto non solo una vetrina delle attività dell'ENEA in Italia e all'estero, ma anche un forum di dibattito di esperti in tema di innovazione tecnologica, in campo energetico e ambientale. La Rivista si è, infatti, progressivamente aperta al panorama scientifico nazionale e internazionale, ospitando contributi di importanti personalità, riportando e valutando significativi documenti di organizzazioni e istituti internazionali. Nello stesso tempo si è dato ampio spazio ai risultati significativi della ricerca svolta nell'Agenzia e, per la prima volta, anche a quelli delle partecipate dell'ENEA.

Tutte le attività sono state portate avanti da me e dal Comitato Tecnico-Scientifico in sintonia, con entusiasmo e con un pieno impegno professionale che ha garantito il buon andamento della Rivista, anche in periodi di difficoltà e incertezza, dovuti ai cambiamenti susseguitisi ai vertici dell'Agenzia.

Per quanto riguarda gli aspetti scientifici, negli ultimi 38 numeri si contano 53 contributi di 75 personalità ed esperti nazionali e internazionali. Tra questi, per citarne solo alcuni, Dong Jinyi, Ambasciatore cinese in Italia, Andris Piebalgs, Commissario europeo per l'Energia, Paolo Soleri, architetto di fama internazionale, Hama Arba Diallo, Segretario Esecutivo Convenzione ONU contro la desertificazione, Amory Lovins, Presidente del Rocky Mountain Institute, Edward Chaplin, Ambasciatore britannico presso la Repubblica Italiana, Anil Markandya, economista di fama internazionale, Jacques Diouf, Direttore Generale della FAO, Alessandro Ortis, Presidente dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas, Stefania Prestigiacomo, Ministro dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, Guido Possa, Presidente della VII Commissione del Senato. L'alto valore scientifico degli articoli pubblicati è stato riconosciuto da più parti e numerose riviste scientifiche italiane e straniere hanno chiesto di poterne ripubblicare parecchi.

È stata inoltre profondamente rinnovata anche la veste grafica, a vantaggio della leggibilità e, dal numero 3/2009, i fascicoli sono interamente a colori.

Per promuovere la visibilità della Rivista e facilitare l'accesso dei lettori, sul sito dell'ENEA sono pubblicati i contenuti integrali di tutti i fascicoli, dall'annata 2003 fino a quella che precede di due anni l'annata corrente.

Le profonde innovazioni introdotte in questi ultimi anni nella Rivista hanno ricevuto notevoli e positivi apprezzamenti, sia all'interno dell'ENEA che all'esterno. Un numero crescente di colleghi, nonché di esperti di enti e organismi nazionali, chiedono di scrivere articoli e di ricevere la Rivista. Moltissime sono state le attestazioni di apprezzamento per il risultato finale raggiunto.

In conclusione posso affermare, con soddisfazione, che è stato realizzato un processo di rinnovamento complessivo della Rivista dal punto di vista della qualità degli articoli e dell'ampliamento della visione internazionale e nazionale, che ha fatto di *Energia, Ambiente e Innovazione* un punto di riferimento importante nel panorama scientifico italiano.

Il Direttore Responsabile  
**Flavio Giovanni Conti**

*A conclusione di un ciclo importante per la Rivista, intendiamo esprimere la nostra stima e la nostra gratitudine al Direttore uscente, Dott. Flavio Giovanni Conti, per l'opera svolta, ben sintetizzata nell'editoriale. Con lui ci onoriamo di aver condiviso gli sforzi e l'entusiasmo per il rilancio della Rivista. Al contempo facciamo i nostri migliori auguri di buon lavoro al Direttore entrante, Dott. Vincenzo Ferrara.*

**Il Comitato Tecnico-Scientifico**



## primo piano

6

**PROSPETTIVE TECNOLOGICHE PER LA SOSTENIBILITÀ DEL SISTEMA ENERGETICO**

TECHNOLOGY OUTLOOK FOR ENERGY SUSTAINABILITY

a cura dell'Ufficio Studi dell'ENEA

## riflettore su

22

**50 ANNI DI ENERGIA NUCLEARE AL CENTRO RICERCHE CASACCIA DELL'ENEA**

CELEBRATING 50 YEARS OF NUCLEAR ENERGY AT THE ENEA CASACCIA RESEARCH CENTRE

Interventi di Fabrizio Pisacane, Giovanni Paoloni, Mauro Cappelli, Agostino Mathis, Massimo Sepielli, Stefano Monti, Pietro Agostini, Stefania Baccaro, Giovanni Lelli, con due schede curate da Rocco Bove

## studi & ricerche

46

**IL MIGLIORAMENTO GENETICO DEL GRANO DURO IN CASACCIA. IL CASO CRESO**

GENETIC IMPROVEMENT OF DURUM WHEAT IN CASACCIA. THE CRESO CASE

Luigi Rossi

53

**NUCLEARE E INGEGNERIA CIVILE. LE COMPETENZE INGEGNERISTICO-CIVILI NELLE ATTIVITÀ NUCLEARI**

NUCLEAR ENERGY AND CIVIL ENGINEERING IN NUCLEAR ACTIVITIES

Giuseppe Pino, Alberto Taglioni

69

**LA GOVERNANCE DELLA VAS NELLA PROGRAMMAZIONE COMUNITARIA 2007-2013**

THE GOVERNANCE OF THE SEA IN THE 2007-2013 EU PROGRAMS  
Roberto Del Ciello, Andrea Forni, Federica Scipioni, Antonio Disi

82

**TECNOLOGIE ALTERNATIVE DI TRATTAMENTO TERMICO DEI RIFIUTI**

ALTERNATIVE WASTE THERMAL TREATMENT TECHNOLOGIES  
Pasquale De Stefanis

92

**DAL MONDO, DALL'ITALIA, DALL'ENEA, EVENTI**

- dal Mondo
- Emissioni globali di CO<sub>2</sub>: nel 2009 ferme al livello del 2008 **92**
  - La situazione energetica del Canada **92**
- dall'Unione Europea
- Prospettive di mercato buone per l'energia nucleare **93**
  - 10 anni di ricerca UE sugli OGM **93**
- dall'Italia
- Lampade "efficienti" e LED spingeranno la crescita del settore energia **94**
  - Aperto ad Assago il primo distributore di miscela metano-idrogeno **94**
- dall'ENEA
- L'ENEA alla Conferenza *India-EU and Member States Partnership for a Strategic Roadmap in Research and Innovation in India* **95**
- Lettere
- Opportunità e limiti delle agroenergie. La necessità di un approccio multicriteriale alla sostenibilità dell'energia verde **96**
  - Celle a combustibile (II edizione) **96**



Bimestrale dell'ENEA  
Anno 56, maggio-giugno 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**  
Osvaldo 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, Osvaldo 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**

Nocciolo del reattore RITMO (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**

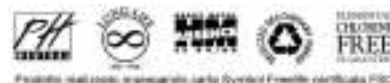
Fabiano Group srl - Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)  
Tel. 0141 827802 - Fax 0141 827830 - e-mail: info@fabianogroup.com

**Abbonamento annuale**

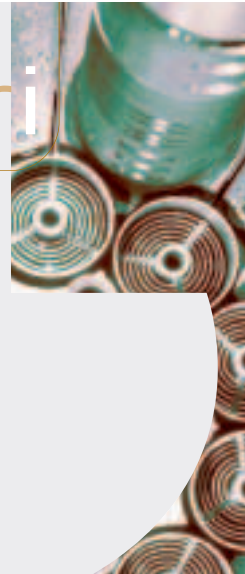
Italia € 21,00 + € 8,00 (spese di spedizione), Estero € 21,00 + € 15,00 (spese di spedizione);  
una copia € 4,20 - C.C.P. n. 12439121 intestato a Fabiano Group srl  
Tel. 0141 8278234 - Fax 0141 827830 - e-mail: ordini@fabianogroup.com

Finito di stampare nel mese di febbraio 2011

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

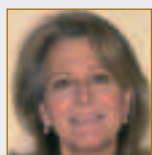


Prodotto negli stabilimenti integrati Carlo Göttsche Freemove certificata PFC



**Pietro Agostini**  
ENEA, Unità Tecnica Ingegneria Sperimentale

*pag. 22*



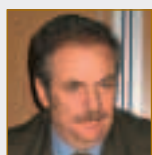
**Stefania Baccaro**  
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali

*pag. 22*



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

*pag. 22*



**Pasquale De Stefanis**  
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

*pag. 82*



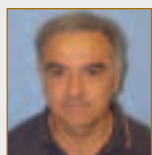
**Roberto Del Ciello**  
ENEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale

*pag. 69*



**Antonio Disi**  
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

*pag. 69*



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

*pag. 22*



**Andrea Forni**  
ENEA, Ufficio Studi

*pag. 69*



**Diego Gavagnin**  
Consulente di Comunicazione dell'Energia

*pag. 22*



**Giovanni Lelli**  
Commissario dell'ENEA

*pag. 22*



**Carlo Manna**  
ENEA, Ufficio Studi

*pag. 6*



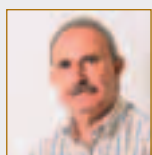
**Agostino Mathis**  
Già Dirigente ENEA

*pag. 22*



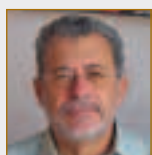
**Stefano Monti**  
ENEA, Unità Tecnica Metodi per la Sicurezza dei Reattori e del Ciclo del Combustibile

*pag. 22*



**Giovanni Paoloni**  
Università di Roma La Sapienza

*pag. 22*



**Giuseppe Pino**  
ISPRA, Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

*pag. 53*



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

*pag. 22*



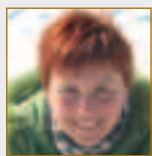
**Luigi Rossi**  
Presidente della Federazione Italiana Dottori in Scienze Agrarie e Forestali

*pag. 46*



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

*pag. 22*



**Federica Scipioni**  
UNIONCAMERE

*pag. 69*



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

*pag. 53*



## Prospettive tecnologiche per la sostenibilità del sistema energetico

a cura dell'Ufficio Studi dell'ENEA

*La transizione del sistema energetico globale verso la sostenibilità è un processo ormai avviato, segnato anche dal buon andamento degli investimenti mondiali nelle clean-technologies negli ultimi anni. Si rende necessario identificare traiettorie di sviluppo anche per il sistema energetico italiano che consentano di rispondere agli obiettivi di sicurezza energetica, sostenibilità ambientale e competitività economica*

## Technology Outlook for Energy Sustainability

*Making global energy sustainable is by far a started-up process marked by the positive trend of global investments on clean-technologies in the latest years. Also the Italian energy system needs new development paths allowing to meet objectives such as energy safety, environmental sustainability and economic competitiveness*

## Il quadro internazionale

Un panorama esaustivo del sistema energetico internazionale non può prescindere dall'esame di tre principali questioni tra loro interrelate: la produzione di emissioni di gas serra da uso di energia, la sicurezza energetica per i paesi importatori ed esportatori e la sostenibilità economica del soddisfacimento del fabbisogno energetico.

Il processo di accelerazione subito dal *global warming* non è stato accompagnato in parallelo da un andamento analogo sul terreno dei negoziati internazionali e degli impegni politici ed economici finalizzati a contrastarlo. L'ultima Conference of the Parties (COP) 15, tenutasi a Copenaghen nel dicembre 2009, il cui scopo fondamentale era quello di un superamento e aggiornamento in maniera condivisa del Protocollo di Kyoto in scadenza nel 2012, non ha fatto registrare infatti alcun cambio di marcia ed è risultata, secondo un giudizio unanime, piuttosto deludente nei risultati. I negoziati sono ripresi successivamente, a tappe intermedie, nel corso del 2010 al fine di mettere a punto le posizioni dei diversi Paesi in vista della COP 16 attualmente in corso di svolgimento a Cancun in Messico.

In quest'ottica anche le più recenti analisi di scenario sviluppate dall'Agenzia Internazionale dell'Energia (AIE) mostrano l'insostenibilità del trend attuale della domanda di energia a livello globale e indicano la necessità di portare avanti politiche in grado di favorire un processo di "accelerazione tecnologica", basato sullo sviluppo e sulla diffusione a scala mondiale di una vasta gamma di tecnologie energetiche innovative a bassa emissione di carbonio.

Importanti segnali quali la crescita dell'efficienza energetica dell'area OCSE, l'aumento degli investimenti pubblici in R&S in tecnologie a basso contenuto di carbonio, la commercializzazione di veicoli ibridi ed elettrici e la ripresa degli investimenti nel settore nucleare, dimostrano che il cammino verso la sostenibilità è ormai avviato. A ripro-

va di ciò va segnalato l'andamento degli investimenti complessivi nelle *clean technologies* che, nel corso del 2009, in controtendenza rispetto agli investimenti nelle fonti fossili, hanno tenuto molto bene alla crisi economica internazionale.

Di questi segnali prende atto l'Agenzia nel suo recente rapporto sulle prospettive delle tecnologie energetiche al 2050, sottolineando con enfasi che la "rivoluzione energetica" auspicata da tempo per rispondere alle problematiche dei cambiamenti climatici si sia di fatto avviata e che un futuro a basse emissioni di anidride carbonica sia anche la chiave per accrescere la sicurezza energetica e sostenere uno sviluppo economico sostenibile.

La capacità dei diversi paesi di dare vita a un nuovo modello di produzione e consumo dell'energia è a sua volta collegata allo sviluppo competitivo di nuove tecnologie in grado di soddisfare sia i "vincoli" imposti dalla sicurezza energetica e dalla salvaguardia ambientale che quelli di natura economica e sociale che condizionano i processi di crescita.

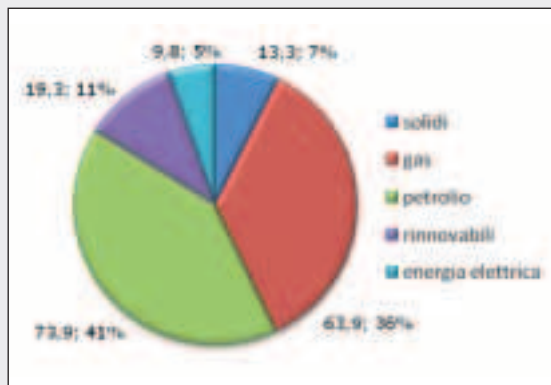
## Il sistema energetico italiano

Nel 2009 la domanda di energia primaria dell'Italia (180 Mtep<sup>1</sup>) denota un calo del 5,8% rispetto all'anno precedente ed è caratterizzata da una contrazione significativa delle fonti fossili e da una contemporanea crescita delle rinnovabili.

La composizione della domanda per fonte conferma la specificità dell'Italia rispetto alla media dell'UE(27) relativamente al maggior ricorso a petrolio e gas, all'import strutturale di elettricità, al ridotto contributo dei combustibili solidi e al mancato ricorso alla fonte nucleare (*figura 1*).

Il profilo dinamico dei consumi primari lordi nazionali (*figura 2*) mette in evidenza la contrazione significativa delle fonti fossili che interrompe i trend inversi della domanda di petrolio e gas (rispettivamente in declino ed in ascesa fino al 2008), l'andamento stabile delle importazioni di energia elettrica e la dinamica crescente delle rinnovabili.



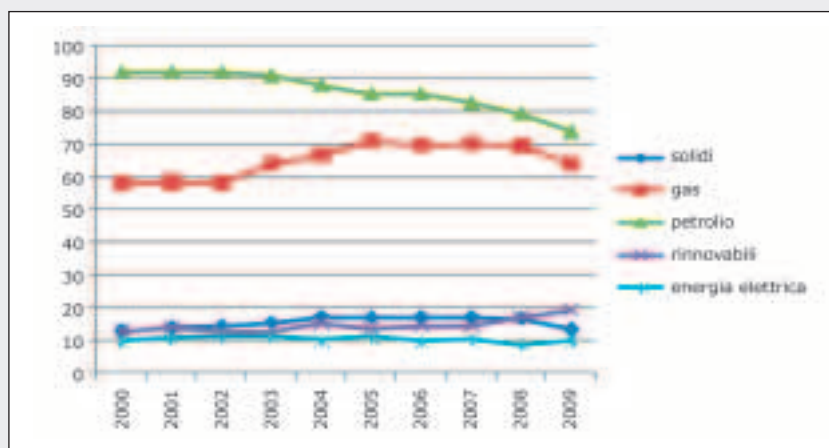


**Figura 1**  
Domanda di energia primaria per fonte. Anno 2009 (Mtep e percentuali)  
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

I consumi finali di energia evidenziano la contrazione verificatasi nell'ultimo anno: si rileva una leggera flessione dei consumi nei trasporti (-1,8%), un aumento nel settore civile (+3,5%) mentre la crisi dei settori produttivi determina una importante contrazione dei consumi industriali (-20%) (figura 3).

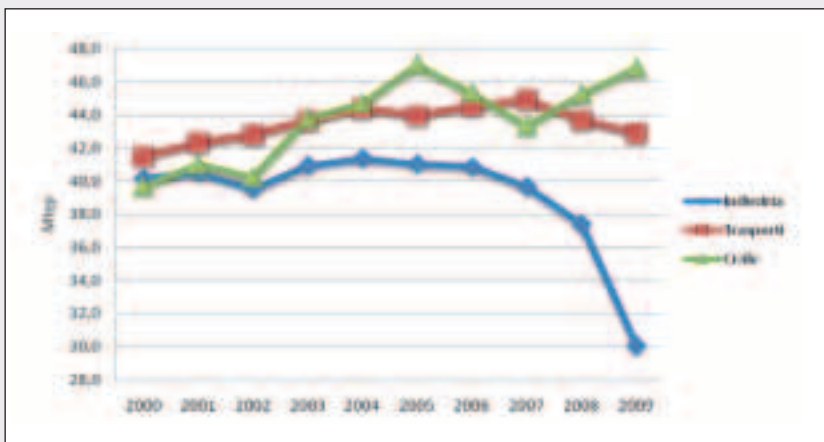
La dipendenza energetica resta sostanzialmente sui livelli 2008 (-1,5%) e si attesta attorno all'85%, superiore di 15 punti percentuali rispetto alla media dei paesi dell'UE, con una crescita della dipendenza da gas naturale, un calo della dipendenza da carbone e una sostanziale stabilità di quella da petrolio (figura 4).

Nel 2009 la produzione nazionale netta di energia elettrica (281 TWh) è diminuita dell'8,5% rispetto all'anno precedente evidenziando, da una parte il sensibile incremento di produzione da rinnovabili, dall'altra una contrazione della produzione termoelettrica tradizionale (-3,6%) basata per il 44% circa sul gas naturale. Quest'ultima, pur rimanendo la fonte predominante nella generazione elettrica denota, sempre nel corso del 2009, un calo della domanda rispetto all'anno precedente (-8%) dovuto principalmente agli effetti della crisi economico-finanziaria. Da notare, peraltro, che il ricorso alle importazioni di energia elettrica conserva un profilo storico costante. A seguito della forte riduzione delle importazioni di gas e petrolio e della dinamica dei prezzi di tali *commodities* si assiste ad una diminuzione sensibile della fattura energetica<sup>2</sup> (figura 5), che dal picco del

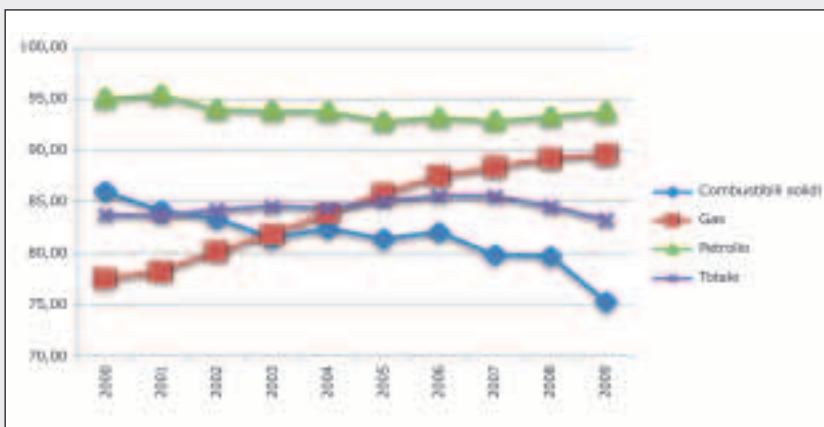


**Figura 2**  
Domanda di energia primaria per fonte. Anni 2000-2009 (Mtep)  
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

1. Dati preliminari del Ministero dello Sviluppo Economico.
2. Dati preconsuntivi del 2009, Terna (2010).



**Figura 3**  
Consumi finali di energia per settore in Italia. Anni 2000-2009 (Mtep)  
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE



**Figura 4**  
Dipendenza energetica, totale e per fonte, dell'Italia. Anni 2000-2009 (%)  
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

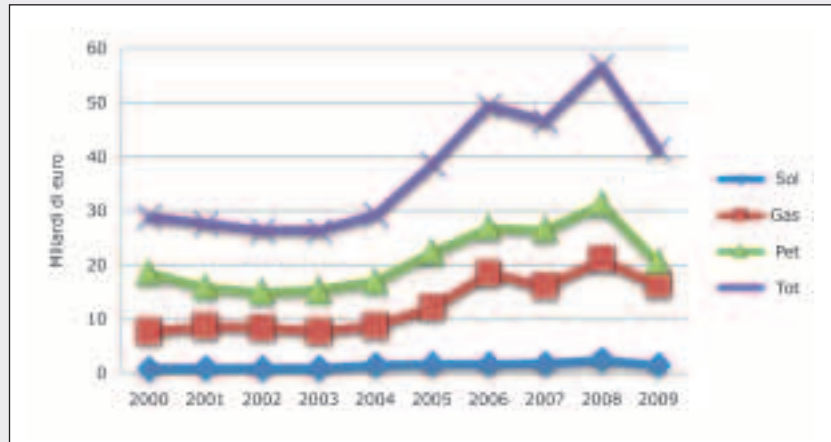
2008 (circa 57 miliardi di euro) è scesa a poco più di 41 miliardi di euro nel 2009.

Nel 2009 il consumo interno lordo da fonti rinnovabili in Italia, in aumento del 16% rispetto all'anno precedente, arriva a quota 20.674 ktep<sup>3</sup>. Fon-

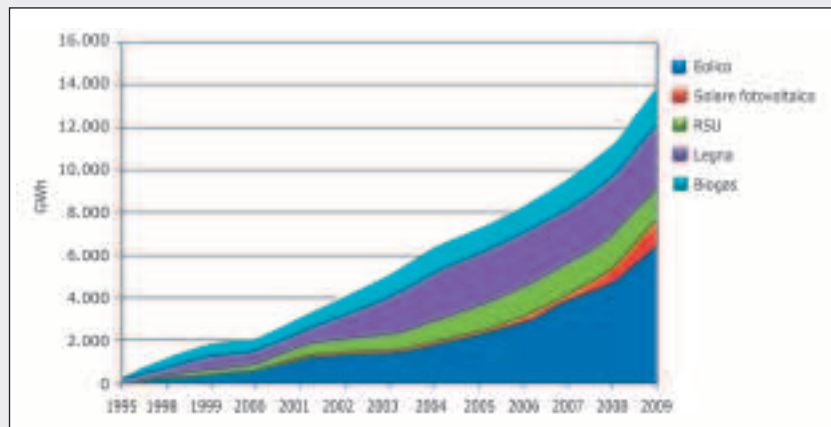
ti rinnovabili "non tradizionali" come eolico, fotovoltaico, rifiuti e biomasse presentano in termini percentuali l'incremento più significativo e incidono per una quota pari al 32% del totale. Nel 2009 la produzione di energia elettrica (68 TWh) è

3. Queste stime non coincidono con quelle del Bilancio Energetico Nazionale (BEN) riportate nel paragrafo precedente in quanto includono alcune valutazioni circa la produzione di calore da fonti rinnovabili e la produzione di energia elettrica da piccoli impianti fotovoltaici non allacciati alla rete elettrica che il BEN non considera.





**Figura 5**  
Fattura energetica italiana. Anni 2000-2009 (miliardi di euro)  
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE e UP



**Figura 6**  
Elettricità da fonti rinnovabili non tradizionali in Italia. Anni 1995-2009 (GWh)  
Fonte: elaborazione ENEA su dati Terna ed ENEA

cresciuta del 17% rispetto all'anno precedente, arrivando a quota 20% del consumo interno lordo di elettricità.

Ad oggi  $\frac{3}{4}$  circa della produzione complessiva proviene ancora dall'idroelettrico nonostante la crescita maggiore abbia riguardato le rinnovabili non tradizionali (figura 6). Nel 2009 si evidenzia anche un leggero aumento della produzione complessiva di calore da rinnovabili (+5%), prevalentemen-

te nel settore residenziale e solare termico, e una marcata crescita del consumo di biodiesel a livello nazionale (+64%).

Gli scenari ENEA analizzano due orizzonti temporali, che fanno riferimento a quelli del SET-Plan (*Strategic Energy Technology Plan*) della Commissione Europea:

- un orizzonte di breve/medio periodo, con l'interesse primario di valutare raggiungibilità, costi e

benefici degli obiettivi europei su energia e clima (cosiddetti 20-20-20);

- un orizzonte di lungo periodo, in cui, seguendo la filosofia degli scenari dell'Energy Technology Perspectives 2010 dell'Agenzia Internazionale dell'Energia, esplorare la realizzabilità di una transizione del sistema italiano verso una economia a basso tenore di carbonio, in linea con le valutazioni in atto da tempo nei principali paesi industrializzati, e sintetizzabili in una riduzione delle emissioni globali di gas serra dell'ordine di almeno il 50% entro il 2050.

Il futuro del sistema energetico italiano viene esplorato mediante un'analisi di scenario costruita attorno a quattro "incertezze critiche", rappresentate quantitativamente da altrettante "variabili-chiave" (ciascuna delle quali può evolvere lungo due traiettorie alternative).

Le seguenti variabili rappresentano in modo sintetico le caratteristiche fondamentali dell'evoluzione futura del quadro energetico globale:

- prezzo internazionale del barile di petrolio (\$/bbl al 2030): assunto come indicatore del costo dell'energia;
- valore di mercato dell'unità di emissione di gas serra (€/tCO<sub>2</sub> al 2030): rappresenta il livello di penalizzazione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, indice

della severità delle politiche assunte per fronteggiare il rischio cambiamenti climatici;

- valore del prodotto interno lordo (PIL medio annuo 2010-2030): assunto come indice di crescita economica.

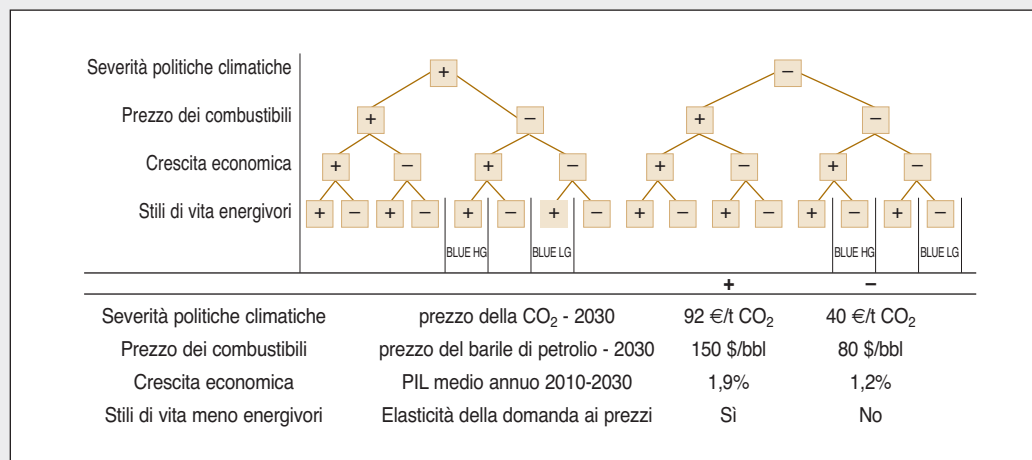
L'introduzione di un fattore di elasticità della domanda ai prezzi (diverso per settore di uso finale) tiene inoltre conto dell'adozione di stili di vita meno energivori (maggiore predisposizione verso un uso più razionale dell'energia).

Dalle diverse combinazioni delle suddette variabili chiave si genera un "albero degli scenari"; in figura 7 sono indicate le quattro combinazioni che sembrano in grado di schematizzare le opzioni energetiche base di cui valutare l'effetto sul sistema energetico.

### Scenari di riferimento

Gli scenari di riferimento (BAU) assumono la sostanziale continuazione delle tendenze in atto in ambito demografico, tecnologico ed economico e rappresentano quindi l'evoluzione tendenziale del sistema in assenza di nuovi interventi di politica energetica e ambientale.

Nello scenario BAU LG si assume una crescita economica in linea con il trend storico di lungo periodo (1990-2010); più sostenuta la crescita nello sce-



**Figura 7**  
Variabili critiche e albero degli scenari ENEA  
Fonte: elaborazione ENEA



nario BAU HG<sup>4</sup>. Per entrambi gli scenari è prevista una evoluzione moderata dei prezzi dell'energia<sup>5</sup>. Dal punto di vista delle politiche energetiche e ambientali, gli scenari *di riferimento* tengono conto solo delle misure pienamente attuate alla fine del 2009, mentre non includono tutte le misure a quella data ancora ipotetiche o possibili. È stata inoltre ipotizzata, per entrambi gli scenari, l'estensione fino al 2020 dell'attuale sistema di incentivazione alle fonti rinnovabili elettriche e una successiva riduzione progressiva con azzeramento degli incentivi nel 2030. La prosecuzione degli impegni attuali di mitigazione dei cambiamenti climatici si traduce in un moderato incremento dei prezzi dei permessi di emissione di gas serra.

### Scenari di intervento

Negli scenari di intervento (BLUE) si ipotizza l'adozione di politiche climatiche progressivamente più stringenti che portano a conseguire gli obiettivi di riduzione delle emissioni proposti dall'Unione Europea. Nello scenario BLUE LG si assume una crescita economica in linea con il trend storico di lungo periodo (1990-2010); più sostenuta la crescita nello scenario BLUE HG, in linea, come per BAU HG, con le ipotesi Primes 2009. Per entrambi gli scenari si assume un'evoluzione dei prezzi dell'energia in linea con le ipotesi di prezzi bassi del *World Energy Outlook* 2010 della IEA. Le ipotesi relative alla crescita economica e ai prezzi dei combustibili alla base degli scenari di intervento, restano uguali a quelle assunte nei rispettivi scenari di riferimento. Diverso è invece il prezzo della CO<sub>2</sub> che arriva a toccare, negli scenari BLUE, il valore di 200 €/t nel 2050, in linea con gli scenari BLUE della IEA che consente di assicurare il rispetto degli impegni nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra. Negli scenari BLUE l'"accelerazione tecnologica" viene rappresentata, con riferimento ai settori di uso finale dell'energia, assumendo l'implementazione dei molteplici regolamenti, esistenti o in via di definizione, di attuazione dalla direttiva europea EuP (*Energy using Products*) per le apparecchiature elettriche nel settore Civile e, nel settore Trasporti, attraverso il recepimento

dei livelli massimi di emissioni medie individuati dai regolamenti CE e prevedendone una ulteriore riduzione nel lungo periodo.

### Produzione e consumo di energia

Negli scenari di riferimento, dopo la forte riduzione dei consumi complessivi registrata negli ultimi anni per effetto della crisi economica, i consumi finali di energia riprendono a crescere a seconda delle differenti ipotesi di crescita economica assunte. Nello scenario BAU HG si determina infatti un aumento dai circa 130 Mtep attuali a 140 Mtep nel 2020 e oltre i 160 Mtep nel 2050. Anche nell'ipotesi di più lenta ripresa economica (BAU LG) i consumi, seppur lentamente, appaiono in costante aumento (*figura 8*).

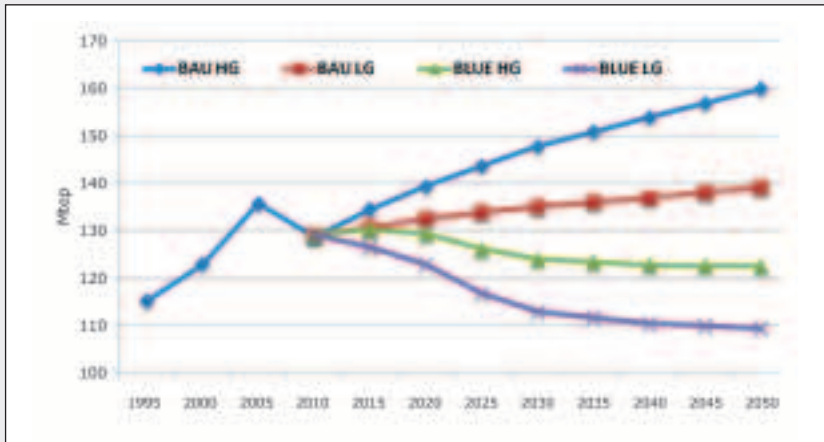
Al contrario, negli scenari *di intervento* la riduzione dei consumi energetici persiste nel corso degli anni per effetto dell'accelerazione tecnologica che porta a un sostanziale cambio di direzione nel modo di produrre ed utilizzare l'energia a seguito di interventi, misure e investimenti nel sistema energetico sia sul lato offerta che domanda. Nel 2020, infatti, i consumi scendono a 122 Mtep e 130 Mtep negli scenari BLUE LG e BLUE HG rispettivamente. Nel lungo periodo i consumi si riducono ulteriormente, arrivando nello scenario BLUE HG a un 22% in meno rispetto al corrispondente scenario di riferimento.

Nel settore elettrico, dopo la flessione del periodo 2005-10 dovuta agli effetti della crisi economica, negli scenari tendenziali i consumi riprendono a crescere seppure a un ritmo inferiore a quello dei decenni precedenti, la domanda elettrica cresce infatti fino al 2020 a tassi medi annui attorno all'1% nello scenario BAU HG e attorno allo 0,6% annuo nello scenario BAU LG.

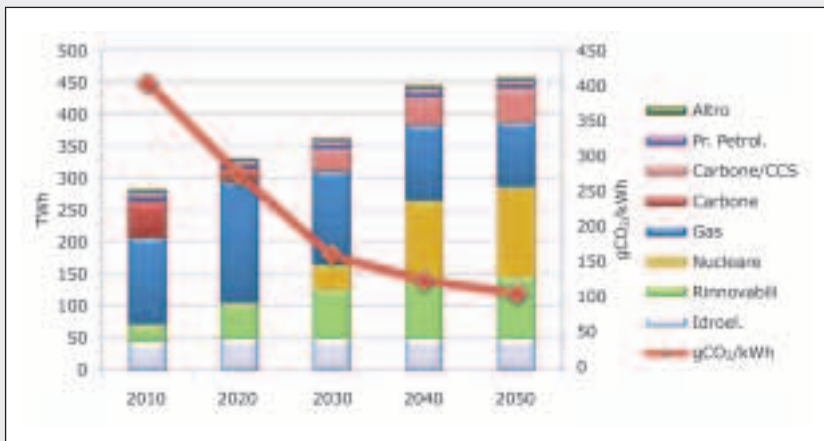
L'evoluzione del parco di generazione, attraverso tecnologie più performanti e meno inquinanti, la forte penetrazione del nucleare e il sempre maggior ricorso a fonti rinnovabili spinge ad una massiccia "decarbonizzazione" del settore elettrico, abbassando già nel 2030 le emissioni specifiche di ani-

4. In linea con le ipotesi del modello PRIMES, utilizzato dalla Commissione Europea.

5. Secondo l'ipotesi bassa del *World Energy Outlook* (2009) della IEA.



**Figura 8**  
Consumi finali lordi di energia negli scenari ENEA (Mtep)  
Fonte: ENEA



**Figura 9**  
Produzione elettrica netta ed emissioni di gas serra nello scenario di intervento BLUE HG (TWh e gCO<sub>2</sub>/kWh)  
Fonte: ENEA

drive carbonica dell'intero parco nazionale di generazione elettrica a 170 gCO<sub>2</sub>/kWh (figura 9).

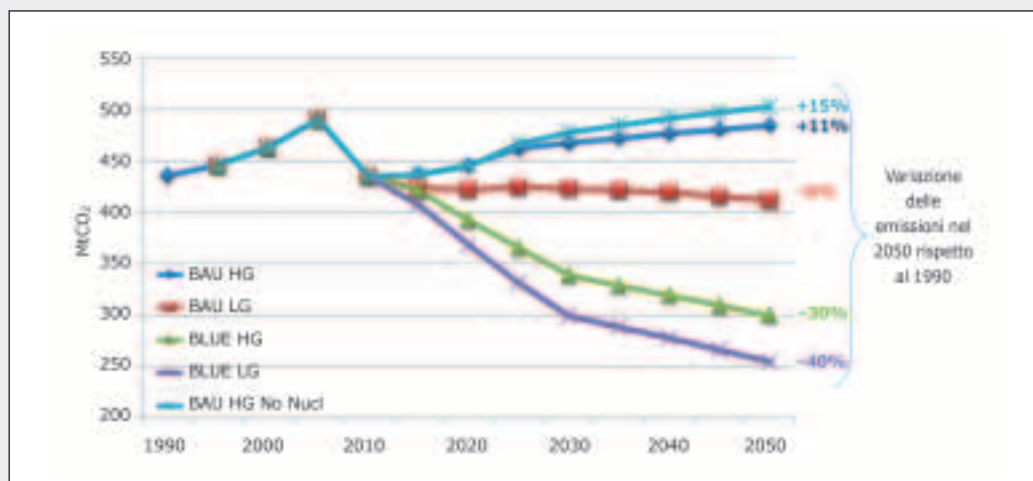
### Emissioni di CO<sub>2</sub>

La recente crisi economica ha ridotto le emissioni di gas serra di circa il 15% rispetto al 2005 per effetto del crollo dei consumi di energia (6%), ren-

dendo meno distanti gli obiettivi nazionali di mitigazione del clima. Tuttavia, come si vede in figura 10, questa tendenza a decrescere risulta temporanea in assenza di interventi strutturali nel sistema energetico.

Nella proiezione tendenziale del sistema energetico, il trend di crescita delle emissioni è frenato dalla robusta produzione di energia elettrica da





**Figura 10**  
Emissioni di CO<sub>2</sub> negli scenari (MtCO<sub>2</sub>)  
Fonte: ENEA

fonti rinnovabili sostenuta dall'estensione dell'attuale sistema di incentivazione al 2020, e dalla produzione di energia da fonte nucleare a partire dal 2025. In particolare nello scenario con crescita economica modesta (BAU LG) le emissioni tendono ad un progressivo assestamento sotto ai livelli attuali. Nello scenario con crescita economica sostenuta (BAU HG), invece, le emissioni di CO<sub>2</sub> riprendono a crescere già nel breve periodo e si avvicinano ai livelli del 2005 solo nel lungo periodo; naturalmente, in assenza del nucleare (BAU HG no nucl), tale crescita è ancora più pronunciata.

Significativa è la riduzione delle emissioni negli scenari di intervento determinata sia dalla riduzione della domanda di energia nei settori finali, come conseguenza dell'incremento di efficienza e di un uso più razionale dell'energia, sia dal graduale processo di de-carbonizzazione del parco di generazione elettrica e dalla crescita del contributo delle rinnovabili termiche (figura 11).

È interessante osservare come nel breve periodo la principale opzione tecnologica è rappresentata dall'efficienza energetica mentre nel lungo termine assume grande importanza, oltre alla decarbonizzazione del parco di generazione elettrica, anche un uso più razionale dell'energia da parte dei consumatori finali.

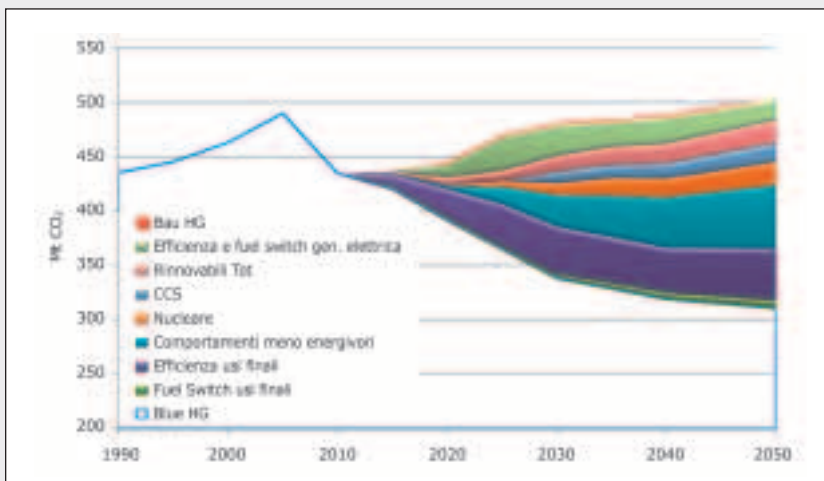
Nel 2050 la riduzione complessiva delle emissioni che avverrebbe nello scenario BLUE HG rispetto al caso tendenziale BAU HG proverrebbe per il 24% sia dal settore civile, grazie a un parco tecnologico più performante e a un peso sempre maggiore di elettricità, biomasse e fonte solare, e sia da quello dei trasporti, a seguito di un maggior ricorso ai biocarburanti, all'elettricità e alla migliore performance del parco veicoli.

Nel settore industriale il livello di emissioni nello scenario di policy sarebbe del 16% inferiore rispetto al caso tendenziale, principalmente a seguito della considerevole riduzione di consumi energetici che avverrebbe nel settore, del minor utilizzo dei combustibili fossili e dell'incremento del consumo di biomasse.

Infine il parco di generazione elettrica che nel 2050 contribuirebbe ad una riduzione delle emissioni dei gas serra di circa il 40% rispetto all'evoluzione tendenziale.

### Il raggiungimento degli obiettivi comunitari

Al fine di raggiungere gli obiettivi di mitigazione assegnati, nel giugno di quest'anno il Governo italiano ha definito il Piano d'Azione Nazionale per


**Figura 11**

Contributo per gruppo di tecnologie all'abbattimento delle emissioni nello scenario di intervento rispetto al riferimento nel caso di crescita economica alta (MtCO<sub>2</sub>)

Fonte: ENEA

le Energie Rinnovabili, che recepisce la direttiva 2009/28/CE nella quale viene stabilito un quadro comune per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili. La direttiva europea definisce infatti gli obiettivi nazionali relativi alla quota, sul consumo finale lordo di energia, di fonti rinnovabili nel settore dell'elettricità, del riscaldamento e raffrescamento e dei trasporti. Tale obiettivo, da raggiungere entro il 2020, per l'Italia è fissato al 17%.

A causa dell'aspettativa di forte crescita dei consumi del settore, l'UE ha definito inoltre un target specifico per il settore dei trasporti che fissa al 10% la quota minima di energia da fonti rinnovabili sul totale dei consumi di gasolio, benzina, biocarburanti ed elettricità nei trasporti stradali e ferroviari. In *figura 12* si riportano i risultati degli scenari ENEA in riferimento agli impegni del Paese al 2020 relativi alla riduzione delle emissioni e alla quota minima di energia da fonti rinnovabili (complessiva e nel settore trasporti).

Gli scenari ENEA mostrano come l'azione congiunta della spinta all'efficienza energetica e di un più forte ricorso alle fonti di energia rinnovabili, che caratterizza gli scenari BLUE, permette di raggiungere gli impegni di riduzione delle emissioni. Infatti, nell'evoluzione tendenziale del sistema, in cui i

consumi riprendono a crescere a causa della modesta accelerazione tecnologica, la riduzione complessiva di emissioni rispetto al 2005 arriva al 9% nel 2020. A tale risultato si perviene nonostante il ricorso alle FER (fonti di energia rinnovabile) aumenti in maniera significativa, circa 15 Mtep nel 2020 (per effetto dell'ipotesi di estensione degli incentivi alle FER elettriche).

Negli scenari di intervento, invece, l'obiettivo viene raggiunto grazie alla massiccia diffusione di tecnologie più performanti, che permettono di ridurre i consumi in maniera considerevole (oltre 10 Mtep nel 2020) e all'aumento dell'utilizzo delle fonti rinnovabili che superano i 20 Mtep nel 2020. Appare decisivo per il raggiungimento dell'obiettivo del 17% il contributo delle FER termiche (oltre 9 Mtep nel 2020).

Il ruolo dell'efficienza diviene ancora più rilevante per il raggiungimento del target di FER nel settore dei trasporti. Il tetto sul livello massimo di emissioni medie delle nuove autovetture determina, nello scenario di intervento, un parco auto molto più performante rispetto all'evoluzione tendenziale: la riduzione dei consumi, associata ad un maggior ricorso a biocarburanti (2,5 Mtep nello scenario BLUE HG contro 1,6 del BAU HG, nel 2020) e all'elettricità (18



**Figura 12**  
Posizionamento degli scenari ENEA rispetto agli obiettivi europei nel 2020 (%)  
Fonte: elaborazione ENEA

TWh contro i 10 del BAU, nel 2020), fa sì che la quota di FER nel settore passi nel 2020 da meno del 5% dell'evoluzione tendenziale al 10% negli scenari di intervento. Il ricorso all'elettricità da fonte rinnovabile utilizzata per il trasporto su gomma risulta determinante, dal momento che, ai fini del calcolo, la normativa prevede un coefficiente moltiplicativo di 2,5 (raddoppio, invece, il contenuto energetico di biocarburanti da rifiuti di seconda generazione).

### Il ruolo delle tecnologie per la riduzione delle emissioni

Il parco di generazione elettrica contribuisce nel 2020 al 31% della riduzione delle emissioni dei gas serra e per oltre il 40% nel 2050, rispetto ad un'evoluzione tendenziale del parco elettrico senza alcuna penetrazione di nucleare. Gli scenari di intervento mostrano come il perseguimento di ambiziosi obiettivi di riduzione delle emissioni nel lungo periodo dipenda, in modo sostanziale, dallo sviluppo di tre gruppi di tecnologie di generazione elettrica, in linea con il *Technology Map for the European Strategic Energy Techno-*

*logy Plan*: il nucleare da fissione<sup>6</sup>, la generazione elettrica da fonti fossili con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> (CCS) e l'insieme delle tecnologie di generazione elettrica da fonti rinnovabili. Nel medio periodo le potenzialità di abbattimento della CO<sub>2</sub> sono strettamente legate ad un incremento di efficienza nei settori di uso finale e al maggior ricorso all'uso delle fonti rinnovabili sia termiche che elettriche. Nel 2020 nel settore elettrico le rinnovabili contribuiscono alla riduzione di circa 3 Mt di CO<sub>2</sub>. Nel lungo periodo, invece, il ruolo della generazione elettrica diviene preponderante, grazie al ricorso a tecnologie *low carbon*, che permettono una riduzione nel 2050 di oltre 80 Mt di anidride carbonica nel BLUE HG rispetto allo scenario di riferimento.

Per ogni tipologia di intervento si è proceduto ad una prima valutazione dei costi di investimento relativa alle diverse tecnologie. Va sottolineato a questo riguardo che in questa analisi non sono stati considerati i costi aggiuntivi quali ad esempio l'O&M, il decommissioning del nucleare e, nelle tecnologie con cattura, il trasporto e lo stoccaggio della CO<sub>2</sub>.

6. «L'energia nucleare – ha sottolineato il direttore dell'IEA, Nobuo Tanaka – è una delle tecnologie chiave a basse emissioni di CO<sub>2</sub> che possono contribuire (insieme all'efficienza energetica, alle rinnovabili e alle tecnologie di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>) alla decarbonizzazione delle forniture di energia elettrica entro il 2050».



## Effetti dell'introduzione del nucleare

Il piano di reintroduzione del nucleare ipotizzato negli scenari ENEA è basato sulle indicazioni del Governo sul nucleare di III generazione migliorata (non ci sono prospettive temporali praticabili per le centrali di IV generazione), e prevede l'installazione del primo impianto EPR<sup>7</sup> da 1,6 GW nel 2025<sup>8</sup> fino ad una capacità totale di oltre 11 GW, corrispondenti a 7 centrali, nel 2050. L'energia nucleare contribuisce in maniera significativa a modificare il mix energetico elettrico e a ridurre le emissioni del settore. Dalla *figura 13* si nota come l'introduzione di centrali nucleari in Italia entri in competizione con la produzione elettrica da impianti a gas naturale e, nell'ultimo decennio, anche con impianti a fonti rinnovabili, arrivando a coprire fino al 20% del fabbisogno elettrico in Italia nel 2050. La generazione da gas, in particolare i cicli combinati, risulta fortemente ridimensionata passando da un'incidenza del 49% al 32% nel 2050 nello scenario di riferimento con nucleare. L'energia nucleare, come sottolineato dall'IEA nel ETP 2010, è una delle tecnologie chiave a basse emissioni di CO<sub>2</sub> che possono contribuire (insieme all'efficienza energetica, alle rinnovabili e alle

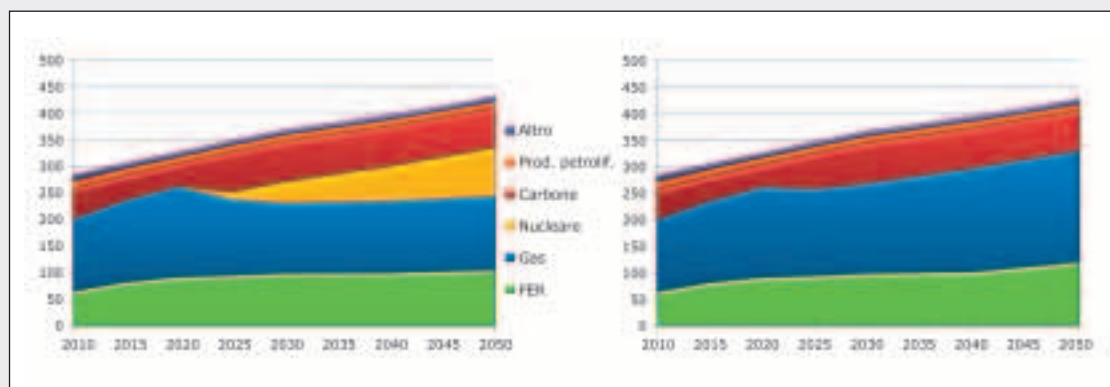
tecnologie di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>) alla decarbonizzazione delle forniture di energia elettrica entro il 2050.

Con un costo totale di investimento nel periodo considerato di oltre 35<sup>9</sup> miliardi di euro, il nucleare concorre a circa il 27% della riduzione complessiva delle emissioni di CO<sub>2</sub> imputabile al parco di generazione elettrica nel periodo 2010-2050 e quasi al 10% del totale dell'abbattimento nello scenario di intervento.

## Il futuro delle fonti fossili e il ruolo della CCS

Le scelte sulla nuova capacità del parco di generazione dipendono essenzialmente dai costi e dall'efficienza delle diverse tecnologie, oltre che dai problemi di regolazione del carico, di distribuzione dell'elettricità e di attenzione agli aspetti ambientali. La combinazione di questi fattori fa sì che gli impianti ad olio combustibile diventino residuali già nel breve periodo, mentre si affermano sempre più i cicli combinati a gas.

In tutti gli scenari ENEA, tali impianti rappresentano infatti gran parte della potenza termoelettrica installata nel medio periodo. Il loro contributo però



**Figura 13**  
Mix di produzione elettrica nello scenario di riferimento con e senza Nucleare. Anni 2010-2050 (TWh)  
Fonte: elaborazione ENEA

7. EPR = European Pressurized Reactor.
8. Il piano per il Nucleare del Governo prevede la produzione del primo kilowattora da Nucleare nel 2020.
9. Sono esclusi i costi di *decommissioning*; valore a moneta corrente.

tende a diminuire nel lungo periodo per effetto della penetrazione del nucleare e, specie negli scenari di intervento, degli impianti a fonti rinnovabili. In particolare, il ricorso al carbone risulta in diminuzione nel medio periodo in entrambe le proiezioni. Nel lungo periodo la produzione elettrica da carbone torna invece ad aumentare:

- negli scenari di riferimento per l'effetto congiunto del prezzo del gas (ipotizzato in aumento) e della disponibilità di nuovi impianti a carbone ad elevati rendimenti;
- negli scenari di intervento per la penetrazione di impianti con sequestro e confinamento della CO<sub>2</sub> (CCS<sup>10</sup>), favoriti dal prezzo della CO<sub>2</sub> in costante aumento, che penalizza le tecnologie tradizionali.

In scenari attenti alle politiche di mitigazione del clima, quindi, il ricorso al carbone nel parco di generazione elettrica risulta possibile solo se associato a cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>.

Negli scenari di intervento è previsto, infatti, un progressivo sviluppo di impianti CCS a partire dal 2030 con investimenti complessivi nell'arco temporale di indagine degli scenari ENEA di 10 Mld€ per una capacità installata di quasi 7 GW. Le tecnologie CCS contribuiscono, perciò, al controllo dei gas serra per un 21% del settore elettrico e il 9% del totale dell'abbattimento nel 2050.

### Il ruolo delle tecnologie da fonte rinnovabile

La produzione di energia da fonti rinnovabili cresce fino al 2020 a ritmi elevati in tutti gli scenari ENEA, per effetto dell'ipotesi di estensione dell'attuale sistema di incentivazione (figura 14).

Negli scenari di riferimento, però, essa subisce nel lungo periodo un rallentamento, stabilizzandosi intorno al 24% del Consumo elettrico Interno Lordo di elettricità (CIL). I motivi sono da ricercare nell'ipotesi di graduale azzeramento dei sussidi, nell'effettiva disponibilità delle risorse (nel caso dell'eolico per effetto della riduzione di siti ad elevata producibilità) e nella produzione di natura "intermittente".

Negli scenari di intervento invece la produzione da FER continua ad aumentare nel lungo periodo, raggiungendo il 30% del CIL e il 35% della produzione elettrica nel 2050. In particolare la tecnologia *on shore* nel lungo periodo arriva a raggiungere il massimo potenziale sfruttabile in Italia secondo le attuali conoscenze, ed anche le installazioni *off-shore* risultano in aumento.

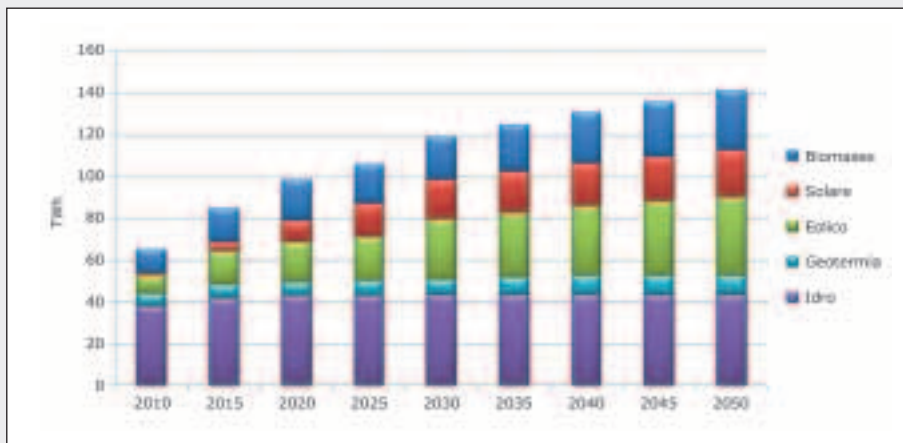
Altra tecnologia di generazione da fonti rinnovabili che si afferma in maniera significativa negli scenari di mitigazione è rappresentata dagli impianti a biomasse. Nel lungo periodo questa diviene un'importante opzione rinnovabile seconda solo all'eolico, da un lato per effetto del progressivo esaurimento della disponibilità dei siti eolici terrestri ad elevata producibilità, da un altro per il miglioramento della competitività della tecnologia a biomasse, sia in termini di costi che di rendimento.

La produzione elettrica da impianti fotovoltaici e a concentrazione, che negli scenari di riferimento appare ancora legata agli incentivi nel breve periodo, risulta in costante crescita negli scenari di intervento: nel BLUE HG, per effetto del graduale aumento del prezzo della CO<sub>2</sub> e per la riduzione dei costi della tecnologia, la produzione da fonte solare raggiunge nel 2050 i 21 TWh (figura 14). In figura 15 si evidenzia la dinamica di sviluppo in termini di investimenti e di capacità installata delle principali tecnologie di generazione elettrica da fonte rinnovabile che, nel lungo periodo, presentano le maggiori potenzialità di abbattimento della CO<sub>2</sub>.

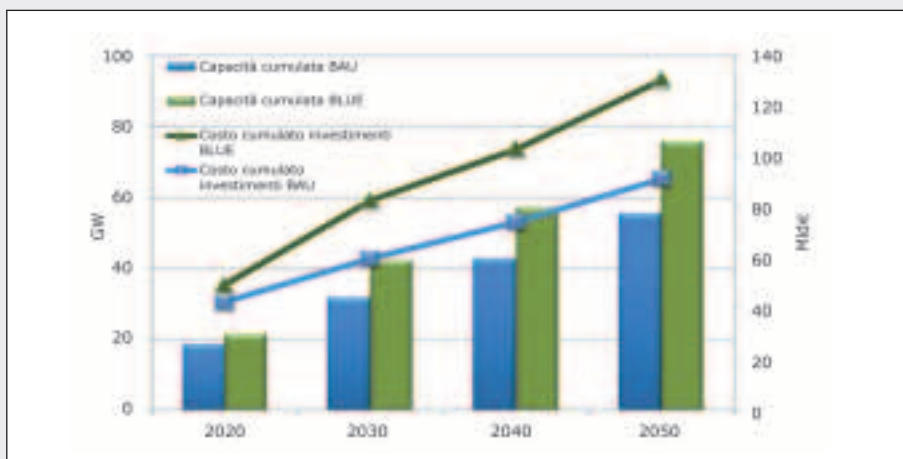
Gli investimenti sulle tecnologie rinnovabili aggiuntive rispetto allo scenario di riferimento sono ingenti già all'orizzonte 2020, circa 4 miliardi di €, e superano i 37 miliardi di € cumulati nel 2050. La capacità installata cresce soprattutto nel lungo periodo, anche grazie all'ipotesi di una progressiva riduzione del costo delle tecnologie. Le tecnologie chiave nel settore rinnovabili sono naturalmente il solare fotovoltaico e a concentrazione, l'eolico e le biomasse che nel 2050 hanno rispettivamente un potenziale di abbattimento delle emissioni del 6%, 8% e 7% del totale del parco di generazione elettrica.

10. Carbon Capture and Storage.

11. Sono esclusi i costi per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub>.



**Figura 14**  
Produzione elettrica da fonti rinnovabili nello scenario BLUE HG (TWh). Anni 2010-2050  
Fonte: elaborazione ENEA



**Figura 15**  
Potenzialità di riduzione delle emissioni, costi e capacità cumulata negli scenari ENEA<sup>12</sup> (GW e Mld€/05)  
Fonte: elaborazione ENEA

### Effetti economici dell'“accelerazione tecnologica”

Gli scenari ENEA mostrano come lo spostamento del sistema energetico lungo una traiettoria a minori emissioni di gas serra possa rappresentare un'op-

portunità per il Paese, piuttosto che un “onere” da sostenere. Una prima indicazione che va in questo senso si ricava dall'analisi effettuata con il modello TIMES-Italia sul costo complessivo del sistema energetico confrontando, nel caso di crescita economica, lo scenario di intervento con quello tendenziale.

12. Costi non scontati.



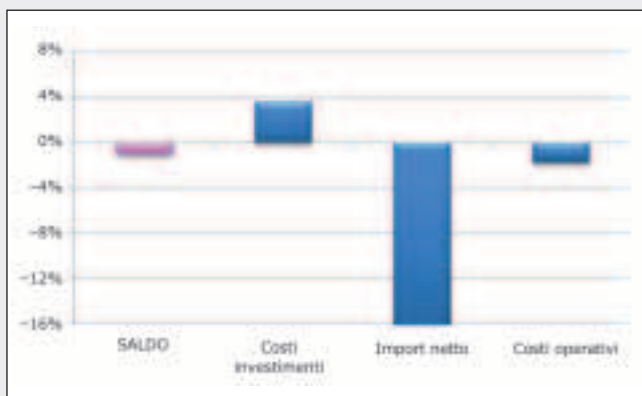
Pur non considerando i benefici che un'accelerazione tecnologica potrebbe portare al sistema paese, in termini di impatto occupazionale ed extra gettito fiscale, gli scenari di intervento appaiono economicamente convenienti se valutati rispetto alle principali voci di costo del sistema energetico quali: investimenti in impianti di produzione e trasformazione di energia e in tecnologie di uso finale; costo delle importazioni nette (*import-export*) di energia; costi fissi, di manutenzione e sussidi.

Il maggiore sforzo negli investimenti, necessari per ridurre i consumi di energia e le emissioni di gas

na voce di costo presa in esame nelle due traiettorie di intervento e tendenziale.

La spesa aggiuntiva grava sia lato domanda di energia, ovvero sulle tecnologie di uso finale (automobili, elettrodomestici) innovative, più efficienti, ma anche più costose, che lato offerta (impianti per la produzione, conversione e trasporto dell'energia) e risulta complessivamente il 3,6% maggiore nello scenario di intervento rispetto all'evoluzione tendenziale. I costi operativi, intesi come somma di costi fissi, di manutenzione e sussidi, risultano invece complessivamente inferiori nello scenario di intervento, in virtù della razionalizzazione dell'utilizzo dell'energia, per effetto di comportamenti meno energivori da parte dei cittadini.

Attraverso l'accelerazione tecnologica, nello scenario BLUE HG, la spesa per le importazioni di energia si riduce in maniera significativa: nel solo anno 2020 si ottiene un risparmio sulla bolletta energetica del Paese dell'ordine di circa 5 miliardi di euro<sup>13</sup>, il 13% circa (nel 2050 si arriva ad una riduzione annua dei costi dell'import netto del 40% rispetto al caso tendenziale).



**Figura 16**  
Variazione complessiva dell'onere del sistema e delle singole voci di costo tra gli scenari BLUE HG e BAU HG. Periodo 2010-2050 (%)  
Fonte: elaborazione ENEA

serra, risulta infatti, nel lungo periodo, più che ripagato dalla riduzione complessiva dell'import netto di fonti energetiche: nel BLUE HG la spesa complessiva tra investimenti, import e costi operativi è infatti inferiore di circa il 1% rispetto allo scenario tendenziale. In figura 16 si riporta la variazione complessiva dell'onere del sistema e di ciascu-

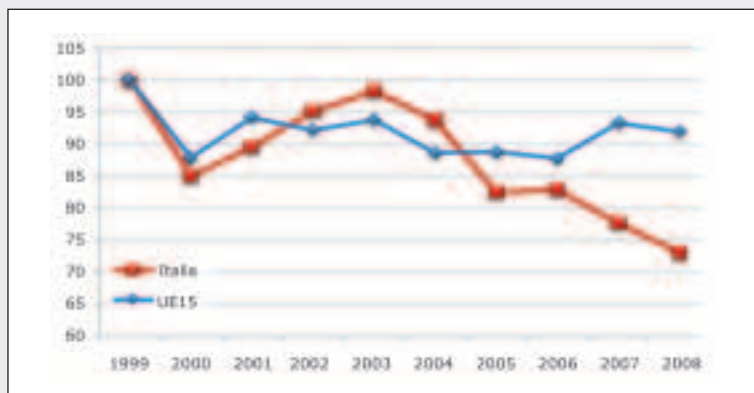
## Green Economy

A dispetto delle più fosche previsioni collegate alla crisi economica internazionale, e nonostante l'abbassamento dei prezzi petroliferi, gli investimenti mondiali<sup>14</sup> nelle *renewable energy technologies* (ascrivibili per la quasi totalità ai paesi del G-20) hanno mostrato una buona vitalità per tutto il corso del 2009.

Con un totale di 162 miliardi di dollari nel 2009, equivalenti al 37% di quanto investito nell'industria del gas e del petrolio, gli investimenti nelle tecnologie "verdi" hanno riportato rispetto al 2005 (anno del loro decollo) un incremento del 230%, determinando la prosecuzione di un trend sempre più riconosciuto come lo stabile segnale della nascita di una nuova industria su scala globale.

13. Valore attualizzato al 2006.

14. I dati sugli investimenti nelle *renewable energy technologies* sono tratti da The PEW Charitable Trusts (2010), *Who's Winning the Clean Energy Race? Growth, Competition and opportunity in the World's Largest Economies* e da Unep (2010), *Global Trends in Sustainable Energy Investment 2010* (tutti i dati sono fonte Bloomberg - New Energy Finance).



**Figura 17**  
 Dinamica della quota di esportazioni mondiali nelle *renewable energy technologies*: confronto Italia ed UE15 (1999=100)  
 Fonte: elaborazione ENEA su dati OCSE ITCS Database

All'interno di questo quadro l'Italia manifesta difficoltà nella tenuta competitiva della propria base industriale proprio nei nuovi settori delle tecnologie *low-carbon*. Non diversamente da una larga maggioranza di paesi europei, il Paese negli ultimi anni ha iniziato a modificare il mix della propria produzione energetica incrementando la quota rappresentata dall'uso di fonti rinnovabili. Tuttavia, al progressivo adeguamento della domanda di energie rinnovabili il Paese non ha, quantomeno finora, corrisposto con correzioni del mix dell'offerta produttiva di tecnologie energetiche, con esiti già visibili dall'andamento divaricante rispetto alla media europea delle quote sulle esportazioni mondiali di *renewable energy technologies* (figura 17).

Le evidenze più recenti mostrano una propensione ad importare componenti per la produzione di energia da fonti rinnovabili superiore a quanto mediamente è riscontrabile nella media dell'UE15, e con una accentuazione di questa tendenza nel caso del fotovoltaico.

La possibilità di un rilancio economico del paese attraverso la promozione e l'incentivazione delle fonti di energia rinnovabile richiede, pertanto, un cambiamento significativo degli approcci adottati per quanto attiene l'azione dell'intervento pubblico, che deve mirare non solo ad obiettivi di sviluppo a livello settoriale attraverso una specifica proget-

tualità comprendente un importante sostegno della R&S pubblica, ma anche a politiche tese a rafforzare la capacità di innovazione di tutto il sistema produttivo.

In Italia, infatti, le politiche d'incentivazione alle rinnovabili non hanno prodotto risultati soddisfacenti relativamente allo sviluppo di una filiera industriale nazionale, a differenza di altri paesi come la Germania che, attraverso l'effetto congiunto di un sistema tariffario collaudato, buone opportunità di finanziamento, un'ampia disponibilità di aziende specializzate, ha riconquistato la leadership mondiale, in particolare nel settore solare fotovoltaico. La Germania è infatti riuscita a sviluppare un'industria leader a livello europeo e altamente competitiva sul mercato mondiale grazie all'ampio ventaglio di incentivi previsti per i potenziali investitori (rimborso dei costi diretti d'investimento, prestiti a tassi agevolati, garanzie pubbliche alle banche, incentivi per i costi del personale e per attività di ricerca e sviluppo).

Si rende quindi necessario anche per l'Italia identificare traiettorie di sviluppo dell'intero sistema energetico nazionale in grado di realizzare uno scenario che insieme risponda, da un lato, agli obiettivi di sicurezza energetica e sostenibilità ambientale e, dall'altro, a quelli di competitività economica e sviluppo industriale.

## 50 anni di energia nucleare al Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA

Interventi di Fabrizio Pisacane<sup>1</sup>, Giovanni Paoloni<sup>2</sup>, Mauro Cappelli<sup>1</sup>, Agostino Mathis<sup>3</sup>, Massimo Sepielli<sup>1</sup>, Stefano Monti<sup>4</sup>, Pietro Agostini<sup>5</sup>, Stefania Baccaro<sup>6</sup>, Giovanni Lelli<sup>7</sup>, con due schede curate da Rocco Bove<sup>1</sup>. Le visite agli impianti TAPIRO e TRIGA sono state curate dai responsabili Orlando Fiorani<sup>1</sup> ed Emilio Santoro<sup>1</sup>

1. ENEA, Unità Tecnica Tecnologie e Impianti per la Fissione e la Gestione del Materiale Nucleare
2. Università di Roma La Sapienza
3. Già Dirigente ENEA
4. ENEA, Unità Tecnica Metodi per la Sicurezza dei Reattori e del Ciclo del Combustibile
5. ENEA, Unità Tecnica Ingegneria Sperimentale
6. ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali
7. Commissario dell'ENEA

*Il Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA ha compiuto 50 anni. Nonostante le diverse trasformazioni intercorse negli ultimi decenni, il Centro non ha mai abbandonato la sua iniziale vocazione di luogo di eccellenza scientifica e tecnologica in ambito nucleare. In tutti questi anni ricercatori e tecnici hanno continuato a lavorare all'interno di infrastrutture di ricerca e impianti di qualificazione industriale, mantenendo quell'insieme di conoscenze e competenze che rappresentano oggi un patrimonio di invidiabile valore*

## Celebrating 50 Years of Nuclear Energy at the ENEA Casaccia Research Centre

*The ENEA Casaccia Research Centre is celebrating 50 years since its very foundation. Despite its several transformations in the last few decades, the Centre never abandoned its initial role as a place of technical and scientific excellence in the nuclear field. During all of these years researchers and technicians kept on working within research facilities and industrial qualification plants holding its precious asset of know-how and expertise together*



Il Centro Ricerche Casaccia, il più grande complesso di laboratori e impianti dell'ENEA, ha compiuto i suoi primi cinquanta anni. Le vicende storiche del centro sono strettamente legate all'intreccio di eventi di natura scientifica e politica che hanno coinvolto l'Ente. Nel 1952 nasce, presso il CNR, il CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari) il cui scopo è acquisire e diffondere conoscenze scientifiche sulle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare alle scienze biologiche, agricole, alla fisica dei materiali e all'elettronica.

Nel 1960 il Governo italiano cede all'Euratom il Centro Ricerche di Ispra del CNRN e, sull'onda del grande entusiasmo seguito alla prima Conferenza sull'uso pacifico dell'energia nucleare organizzata a Ginevra nel 1955 dall'ONU, il Parlamento trasforma il CNRN in CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare). Il CNEN si organizza come struttura di sviluppo tecnologico in stretto collegamento con l'industria, per la progettazione e realizzazione di impianti nucleari e del ciclo del combustibile. Gran parte della ricerca tecnologica sviluppata presso il Centro di Ispra viene trasferita nel Centro della Casaccia, che diventa il cuore della ricerca nucleare applicata in Italia, nonché il luogo nel quale formare i tecnici italiani nel campo dei reattori nucleari.

Negli anni 70 la crisi energetica accelera la realizzazione di nuove centrali per la produzione di energia elettrica. Il CNEN ha il compito di sviluppare la ricerca e la promozione industriale. La "Casaccia" conosce in questi anni un grande sviluppo con la nascita di laboratori e impianti di livello internazionale.

Nei primi anni 80, l'interesse per le energie da fonte rinnovabile porta alla trasformazione del CNEN in ENEA (Comitato per la ricerca e lo sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative), con lo scopo di affiancare alla ricerca nucleare anche quella sulle fonti rinnovabili, l'uso razionale dell'energia e il suo impatto ambientale.

L'incidente di Chernobyl nel 1986 porta a riconsiderare la politica energetica nucleare italiana e per tutti gli anni 90 le attività di ricerca della Casaccia si concentrano prevalentemente nei settori dell'energia da fonte rinnovabile, dell'ambiente e delle nuove tecnologie.

Ma anche dopo l'uscita dell'Italia dal programma nucleare e le ulteriori riforme dell'Ente avvenute nel 1999, 2003 e nel 2009 (anno in cui l'Ente viene soppresso e trasformato in Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) il Centro non ha mai abbandonato la sua iniziale vocazione. Ricercatori e tecnici hanno continuato a lavorare all'interno di infrastrutture di ricerca e impianti sperimentali, mantenendo quell'insieme di conoscenze e competenze che rappresentano oggi per il Paese un patrimonio di invidiabile valore.

Nel corso dell'evento del 20 ottobre scorso, con il quale si sono festeggiati i 50 anni del Centro, si sono susseguiti i numerosi interventi che si riportano nel seguito, insieme alle schede dei due reattori nucleari di ricerca TAPIRO e TRIGA RC-1 che, per celebrare nel modo migliore il mezzo secolo di attività, sono stati riavviati ufficialmente e portati alla criticità, pronti per nuove attività di ricerca e sviluppo.

## **L'eredità di Fermi e la nascita del programma nucleare in Italia**

### **Dialogo sulle origini del nucleare**

**Fabrizio Pisacane incontra Giovanni Paoloni**

#### **Fabrizio Pisacane**

Il ruolo che nel secolo scorso Enrico Fermi ha giocato nello sviluppo delle scienze fisiche e della tecnologia – tra cui voglio, a titolo di esempio, ricordare l'approccio computazionale allo studio dei fenomeni fisici e all'ingegneria (strumento oggi in possesso della stragrande maggioranza dei gruppi di ricerca) – è stato notevole. Ma il contributo all'uso pacifico dell'energia nucleare, e non penso solo alla produzione di energia ma a tutte quelle attività indotte legate alla medicina, all'agricoltura, alla ricerca di base, è stato determinante. Tutto ciò è successo tramite la scoperta e la comprensione di tre fenomeni fisici fondamentali. Gli anni in cui ciò è avvenuto sono il 1934 ed il 1942.

Siamo nel 1934, primi mesi dell'anno. Partendo dalle esperienze delle due Curie, Maria ed Irene (nell'ordine radioattività naturale e radioattività artificiale indotta dal bombardamento di nuclei atomici con particelle alfa), molti gruppi di ricerca in tutta Europa iniziavano ad occuparsi della *nuova scienza*. Il gruppo dei ragazzi di via Panisperna (qui li ricordiamo: E. Fermi, E. Segré, F. Rasetti, E. Amaldi, ai quali si aggiunsero B. Pontecorvo, E. Maiorana e O. D'agostino) a partire dal 1932 iniziarono a pianificare prima (con la progettazione e realizzazione di specifici apparati di misura) e realizzare dopo, una campagna sperimentale di bombardamento di nuclei per produrre radioattività artificiale. Nel perfetto stile di Fermi la campagna sperimentale si svolgeva, "a tappeto", su tutti gli elementi della Tabella Periodica: essi infatti utilizzarono circa 60 elementi ottenendo radioattività artificiale da circa 40 elementi diversi. Ma la grande intuizione fu quella di utilizzare proiettili elettricamente neutri (neutroni appunto), caratteristica questa che consentiva al proiettile di non risentire della carica elettrica opposta relativa al bersaglio (il nucleo atomico). Il primo mattone fu posto. In fisica, non sono rari i casi in cui scoperte e invenzioni sono il frutto del "caso fortuito". Questo è uno dei più eclatanti anche se, trovandoci di fronte a Fermi, la possibilità che l'intuizione abbia giocato un ruolo preponderante (quello che gli anglosassoni chiamano serendipity: appunto, caso e sagacia) è tutt'altro che remota.

È la mattina del 20 ottobre 1934 (esattamente 76 anni fa) ed Enrico Fermi durante le sue ricerche sulla radioattività artificiale indotta da neutroni si trovava da solo nel laboratorio mentre i suoi collaboratori ed allievi erano impegnati in lezioni e sessioni d'esame. Impaziente ed irrequieto com'era, decise di avviare subito le procedure previste, ma un istante prima di iniziare ebbe un'intuizione e sostituì il cuneo di piombo con un pezzo di paraffina. I risultati, e cioè l'induzione di radioattività artificiale, furono straordinari, ben oltre ogni più rosea previsione, del tutto inattesi e, al momento, incomprensibili. Fu chiaro in seguito che il successo dell'esperimento si doveva proprio alla paraffina, sostanza ricca di idrogeno, che rallentava i neutroni incidenti amplificando la loro efficacia nel determinare la radioattività artificiale.

Emilio Segré ricorda: *"In principio io credevo che un contatore si fosse semplicemente guastato e desse indicazioni arbitrarie, come ogni tanto accadeva. Andammo a casa a colazione e per la solita siesta ancora sorpresi e confusi dalle osservazioni della mattinata. Quando tornammo Fermi, aveva già formulato un'ipotesi per spiegare l'azione della paraffina."*

La sera stessa Fermi ed i suoi colleghi scrissero un breve articolo per la rivista del CNR Ricerca Scientifica. L'articolo venne intitolato *Azione di sostanze idrogenate sulla radioattività provocata da neutroni*, in cui gli autori avanzarono come possibile spiegazione: *"I neutroni per urti multipli contro nuclei di idrogeno perdono rapidamente la propria energia. È plausibile che la sezione d'urto neutrone-protone cresca al calare dell'energia e può quindi pensarsi che dopo alcuni urti i neutroni vengano a muoversi in modo analogo alle molecole diffondentesi in un gas, eventualmente riducendosi fino ad avere solo l'energia cinetica"*

*competente all'agitazione termica. Si formerebbe così intorno alla sorgente qualcosa di simile a una soluzione di neutroni nell'acqua o nella paraffina."*

Avendo compreso immediatamente il ruolo fondamentale degli elementi leggeri, due giorni dopo, il 22 ottobre, effettuarono l'ormai leggendario esperimento della fontana con i pesci rossi, utilizzando l'acqua come moderatore, ossia la sostanza in grado di diminuire l'energia dei neutroni incidenti e ponendo il secondo caposaldo verso la realizzazione del primo reattore nucleare.

E si arriva al dicembre del 1942. Tutto è pronto per tentare la prima reazione nucleare a catena controllata: portare cioè il reattore in condizioni di sicurezza in grado di autosostenersi, o criticità in termini più tecnici, e quindi spegnerlo.

Nella trasmissione *See-It-Now* del 1952, condotta da Ed Murrow (un famoso anchorman statunitense di quegli anni), si vede un Fermi protagonista; è ancora la figura propulsiva, ed infatti così sarebbe stato se, di lì a due anni, la malattia non l'avesse portato alla morte. Infatti a Varenna, due anni dopo, ancora ignaro della terribile diagnosi che lo aspettava al rientro negli Stati Uniti, affermava: *"Ho ancora tanto da fare; direi che ho fatto un terzo delle cose che ho in mente"*.

Siamo ora al decennale della prima criticità. CP-1 (Chicago Pile-1) ha mantenuto le sue promesse ed ha consentito uno sviluppo tecnologico enorme su quell'idea. Infatti, quasi un anno dopo (l'8 dicembre del 1953) Eisenhower propone davanti all'Assemblea Generale delle Nazioni Unite la creazione di una organizzazione per promuovere l'uso pacifico dell'energia nucleare...

### Giovanni Paoloni

Grazie! C'è da dire innanzitutto che, dopo la tragedia della guerra, l'Italia aveva delle forti motivazioni legate alla ricostruzione del Paese e al desiderio di promuoverne la crescita in modi più moderni e più sostenuti di come questo fosse avvenuto in precedenza. Le capacità e le motivazioni non mancarono e il primo passo, alla fine del 1946, fu la costituzione del CISE, Centro Informazioni Studi Esperienze, un nome nel quale l'energia nucleare e le ricerche nucleari, anzi le ricerche, puramente e semplicemente, non comparivano neppure... Si trattava di un consorzio, una società di ricerche, a cui partecipavano aziende sia private che a partecipazione pubblica, interessate allo sviluppo dell'energia e in particolare a questa nuova fonte di energia.

Il compito era molto difficile, perché sulle esperienze che erano state fatte negli Stati Uniti non si disponeva di alcun tipo di informazione veramente utilizzabile dal punto di vista tecnologico. Il programma di lavoro del CISE, dunque, che come obiettivo massimo aveva la realizzazione di un reattore nucleare di concezione e di fabbricazione totalmente nazionale, era estremamente ambizioso, richiedeva investimenti enormi e presentava problemi non banali quali, ad esempio, quello della disponibilità dell'uranio, o quello della fabbricazione dell'acqua pesante, o addirittura quello di poter disporre della poca letteratura scientifica utilizzabile per queste attività... Il CISE sembrava arrivato ad un punto dal quale poteva essere difficile andare ulteriormente avanti ed era necessario a questo punto un sostegno esplicito istituzionale; è in questa fase della storia che, cinque anni dopo, nel 1951, fu costituito il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari, che raccoglie intorno a un tavolo tutti i protagonisti, tecnici, politici ed economisti, portandoli a confrontarsi per mettere in piedi un programma nazionale. Ed è proprio in questa fase di elaborazione del programma nazionale che ci fu il discorso di Eisenhower del dicembre del 1953...

L'8 dicembre 1953 gli Stati Uniti presero una grande iniziativa. Parlando all'ONU, il Presidente Eisenhower disse: *"Molti provvedimenti dovranno essere presi e molti mesi passeranno prima che il mondo possa guardarsi in faccia e rendersi conto che un nuovo clima di reciproca e pacifica fiducia è apparso sulla terra, ma soprattutto dobbiamo cominciare fin da ora a prendere questi provvedimenti"*.

Eisenhower propose la fondazione di un Ente internazionale per l'energia nucleare con il compito di acquistare prodotti nucleari dalle varie nazioni aderenti e di mobilitare ovunque scienziati, al fine di migliorare il benessere dell'umanità, sfruttando la forza dell'atomo.



Nel 1954 gli scienziati di 16 nazioni, riuniti all'Università del Michigan, tennero la prima Conferenza internazionale sull'energia atomica. Nel novembre dello stesso anno, la prima biblioteca atomica composta di migliaia di libri e documenti fu presentata dagli Stati Uniti al Giappone. Biblioteche simili furono offerte in seguito a più di 40 nazioni.

Per gli studiosi nucleari di tutto il mondo questi trattati aprivano un nuovo e vasto campo di studio. Durante la successiva riunione dell'Assemblea Generale dell'ONU nel 1954 i delegati di molti paesi risposero con entusiasmo alla proposta di Eisenhower. Gli Stati Uniti e la Gran Bretagna si offrirono di fornire materiale fissile ad altri paesi a scopo di ricerca e per incrementare la costruzione di nuovi reattori sperimentali in questi paesi. La Francia e il Canada si dichiararono pronti ad accettare studenti stranieri nei loro istituti nazionali, condividendo così con altri paesi il risultato della loro esperienza.

Nel settembre 1956, lavorando appunto in questo senso, i delegati di 82 nazioni si riunirono alle Nazioni Unite per discutere e approvare la Carta del nuovo Ente internazionale atomico.

Era giunto il momento di coronare tre anni di arduo lavoro e di difficili negoziati. I rappresentanti delle nazioni del mondo posero la loro firma sulla carta del nuovo Ente.

Fu un momento storico nella lotta dell'umanità per mettere l'atomo al servizio della pace.

Il 25 marzo 1957, a Roma, sei paesi firmarono il Trattato per la Comunità Europea dell'Energia Atomica, noto come EURATOM, in base al quale i vari paesi si impegnavano a sviluppare un programma comune di ricerche per lo sviluppo dell'energia nucleare in Europa a scopo di pace.

Questi sviluppi internazionali cambiarono completamente la scena nella quale il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari si trovava ad operare, perché improvvisamente molti problemi tecnologici, che avrebbero richiesto anni di lavoro e ingenti investimenti, potevano essere facilmente superati attraverso la condivisione di tecnologie e di materiali; e l'Italia fu il primo paese nel 1955 a stabilire un accordo di collaborazione con gli Stati Uniti nel campo delle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare.

Questo fu l'innesco di una serie di attività molto importanti per la ricerca e lo sviluppo nel nostro Paese. Innanzitutto il progetto di costruire delle centrali nucleari. Ne furono programmate e avviate tre negli anni tra il 1955 e il 1958: la centrale di Latina, quella del Garigliano e la centrale di Trino, basate ciascuna su tecnologie diverse. E si pose il problema di gestire questa attività in una maniera "attiva": questo prevedeva, cioè, di non limitarsi ad acquistare licenze, proprietà e progetti chiavi in mano, ma di formare tecnici, introdurre innovazioni, fare ricerca nella prospettiva di acquisire capacità tecnologiche autonome che avrebbero potuto svilupparsi molto meglio ora che una serie di problemi di base si potevano condividere attraverso delle collaborazioni.

In secondo luogo, al di là dei progetti industriali di avvio delle centrali, il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari si dedicò soprattutto a progettare e realizzare un Centro di ricerche nucleari nel quale formare tecnici e avviare progetti. La costruzione di questo centro venne decisa nell'Italia settentrionale, presso il Lago Maggiore; la località si chiamava Ispra. E nell'ottobre del 1957 i bulldozer entrano in azione e cominciano a lavorare sui 150 ettari che saranno occupati dal Centro.

Attraverso il grande portale, costruito per consentire l'entrata delle apparecchiature, che verrà successivamente chiuso, il pesante cilindro preparato con vernici anticorrosive fa il suo ingresso nell'edificio del reattore. Sollevato come un fuscillo, nonostante le sue 22 tonnellate...

Sopra la soletta si è provveduto intanto a costruire un apposito binario. Consentirà il trascinamento dello schermo appoggiato su un carrello scorrevole fino alla sua posizione definitiva nel centro della sala.

Lo schermo termico è costituito da due lamiere d'acciaio concentriche distanti fra loro circa 4 centimetri; nell'intercapedine creata per permettere il passaggio di due serpentine di raffreddamento, verrà poi colato del piombo. Messa in bolla e fissato nel suo alloggiamento, lo schermo termico, destinato ad assorbire il 90% dell'energia dei raggi gamma, verrà rivestito internamente di uno strato di borax allo scopo di ridurre a zero il flusso dei neutroni.

Il primo dei laboratori dei quali si inizia la costruzione è quello dei servomeccanismi, dove verranno studia-

ti tutti i problemi di controllo, regolazione e comando a distanza che possono presentarsi durante l'esercizio del reattore e degli altri laboratori del Centro.

40 mila metri quadrati di superficie saranno occupati da edifici; di questi, 8 sono i laboratori dei servomeccanismi, fisica e calcolo del reattore; di ingegneria del reattore; di elettronica; di fisica sanitaria; di chimica generale; di fisica dello stato solido; di biologia; di fisica nucleare.

Sui vari piani, il cilindro, in depressione, è collegato con l'edificio annesso attraverso 3 sistemi di porte automatiche a tenuta stagna. Accanto ad ogni porta è uno speciale apparecchio, detto "monitore mani e piedi", costruito dai tecnici del Centro per poter controllare la radioattività degli operatori.

Quando si apre la seconda parte che dal *air lock* immette nel reattore, nessuno degli uomini che lavorano ad Ispra saprà trattenere un sorriso. Ci sono ammirazione e orgoglio per aver partecipato alla creazione di questo meraviglioso complesso!

*(Nel filmato sul centro di Ispra che scorre sullo sfondo la colonna sonora è di Luciano Berio, ndr). Avete notato che la colonna sonora del filmato è stata creata da Luciano Berio...*

Molti artisti italiani, in vari campi, dal disegno industriale alla pittura, alla musica, all'arte, hanno avuto dagli anni 50 fino alla seconda metà degli anni 60 delle interazioni molto forti con le aziende pubbliche e private, con ottimi risultati dal punto di vista della comunicazione e spesso dal punto di vista dei prodotti. È inutile ricordare che quella è stata la grande stagione della produzione industriale italiana e del design.

Tornando al nostro campo, si può notare che il settore di ricerca nucleare è importante non solo per quanto riguarda le tecnologie più strettamente collegate alla realizzazione dei reattori e alla produzione di energia; in realtà il nucleare è uno straordinario volano di sviluppo di tutta una serie di campi di ricerca che investono tecnologie e produzioni senza le quali, al di là della realizzazione dei reattori, tutto questo settore non può essere gestito. Dunque si sono avuti straordinari sviluppi collegati, guidati e spinti dalle ricerche nucleari in campi diversi, che vanno dall'elettronica alla biologia... Nel Centro di Ispra tutto ruotava intorno alla necessità di ottenere dei risultati e di acquisire anche in questi settori delle capacità scientifiche e industriali...

Abbiamo anche visto che nel 1957 nasce EURATOM... EURATOM prevede la realizzazione di Centri comuni di ricerca in diversi paesi. L'Italia aveva il Centro di Ispra, che venne dato dal nostro Paese a EURATOM come Centro comune di ricerca. Era dunque necessario realizzare un altro Centro di Ricerca in cui spostare le attività esistenti ad Ispra ed incrementarle.

Era l'anno 1958....

## ***Dal campo gamma ai giorni nostri: le attività nucleari della Casaccia***

### ***Due generazioni di ricercatori ENEA a confronto***

***Agostino Mathis (AM) a colloquio con Mauro Cappelli (MC)***

(Scorrono le immagini del filmato "PQ2 Anno Terzo". A nord di Roma, nella zona del Lago di Bracciano, un complesso di edifici dalla linea funzionale si stacca nel verde paesaggio della campagna romana: è il Centro di Studi Nucleari della Casaccia, il maggiore dei centri di ricerca del Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, l'Ente che sovrintende alle attività scientifiche e tecniche nel settore delle applicazioni pacifiche dell'energia atomica. Esteso su un'area di 65 ettari, questo Centro si è sviluppato nel giro di pochi anni fino a raggiungere le dimensioni attuali che lo pongono anche in campo europeo tra le più



**Figure 1-2**  
Fasi di costruzione del Centro della Casaccia  
Fonte: archivio ENEA



importanti sedi di un'attività generalmente considerata come uno dei maggiori fattori del progresso economico e tecnologico. Nel centro lavorano 1.300 persone con un'altissima percentuale di ricercatori e di tecnici. Quattro reattori nucleari sperimentali sono in attività, un quinto è in fase di realizzazione. Nell'area del Centro vi è anche un Campo Gamma per le esperienze di genetica vegetale).

**MC:** È l'inizio degli anni Sessanta: la scelta di puntare su un grande centro nazionale, situato proprio qui, nell'area della Casaccia, e in grado di addensare le principali attività legate allo sviluppo delle tecnologie nucleari, è ormai presa. Alla Casaccia si andranno poi affiancando altre sedi impegnate in specifiche attività di avanguardia (Bologna, Saluggia, Trisaia). Ormai la classe dirigente del Paese ha infatti ben compreso come le grandi scoperte della fisica atomica dei decenni precedenti non siano destinate soltanto alle applicazioni militari, ma possano essere opportunamente sfruttate per dare avvio alla rivoluzione che porterà l'energia da fonte nucleare anche nel nostro Paese. Era stata la Conferenza di Ginevra del 1955 ad aprire la strada al nucleare civile al mondo intero. In quell'occasione gli Stati Uniti decidono infatti di pubblicare una grande quantità di dati e informazioni relativi alle tecnologie nucleari, al fine di rendere possibile una ampia diffusione del loro utilizzo a scopi pacifici. L'Italia intuisce che per questa strada può passare un'importante fetta della modernizzazione del Paese. Sempre più persone si convincono della necessità di costruire centri scientifici multidisciplinari di grandi dimensioni, dove possano operare ricercatori a pieno tempo, su impianti e apparati anche molto impegnativi, per la messa a punto di nuovi tipi di reattori nucleari per la produzione di energia, o per lo studio degli effetti delle radiazioni nucleari.

Come è stato ricordato, inizialmente il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari, costituito nel 1952, scelse Ispra, sulla riva lombarda del Lago Maggiore, come sede del centro di ricerca e sviluppo per le tecnologie nucleari. La costruzione e la gestione del centro e degli impianti venne affidata alla controllata Nucleit. L'impianto più qualificante del nuovo centro fu il reattore denominato Ispra-1.

*(Scorrono le immagini del filmato girato al Centro di Ispra, ndr)*

**MC:** In questo filmato abbiamo visto un giovane ingegnere che insieme all'Ing. Franco, responsabile dell'impianto, porta a criticità Ispra-1. Questo giovane si chiamava Agostino Mathis, e così continua a chia-



marsi, vero Prof. Mathis? Allora, Prof. Mathis, ci racconta come ha iniziato a lavorare ad Ispra e come è arrivato fino alla Casaccia?

**AM:** Mi ero laureato in Ingegneria Elettrotecnica, anche perché non esisteva ancora la laurea in Ingegneria Nucleare... L'anno successivo frequentai un Corso di Perfezionamento in Ingegneria Nucleare, e verso la fine del Corso inviai alcune lettere alle numerose nuove aziende che si formavano nel settore nucleare (FIAT Nucleare, AGIP Nucleare, SENN, SELNI, CISE, e Nuclit). Quest'ultima mi rispose con un telegramma, invitandomi al più presto a Milano. Mi diplomai in Ingegneria Nucleare un venerdì sera del novembre 1958 e mi presentai il lunedì seguente alla sede Nuclit di Milano, dove mi ricevette il Presidente, Prof. Salvetti: breve esame del curriculum, negoziazione dello stipendio, e venni assunto per andare a Ispra nel cantiere di costruzione di quel reattore, dove si era deciso di lavorare su tre turni per battere sul tempo altri reattori in corso di costruzione in Italia.

Nella prima notte di lavoro misuravo la densità del "calcestruzzo pesantissimo" (magnetite al posto della sabbia e punzonatura di ferro al posto della ghiaia), che veniva colato nello "schermo termico" del reattore. Dopo pochi mesi, già nella primavera del 1959, il reattore Ispra-1 venne portato alla criticità, e poi a piena potenza, sotto la mia responsabilità in quanto ingegnere capo-turno. La gara alla criticità era motivata da un premio posto in palio dalla Commissione Atomica degli Stati Uniti (se ben ricordo, di 300 milioni di lire), che noi conseguimmo battendo sul tempo il reattore a piscina della Sorin di Saluggia.

Nel 1960 il centro di Ispra venne ceduto all'Euratom e gran parte del personale e delle attrezzature rimaste all'Italia vennero trasferite nel centro della Casaccia, che divenne quindi il principale centro italiano di ricerca e sviluppo per le tecnologie nucleari.

**MC:** Il trasloco mi pare non fu peraltro facile... Le cronache raccontano che la decisione del trasferimento a Roma non fu presa molto bene...

**AM:** In effetti, a Ispra si lavorava ormai da diversi anni, e molti laboratori, oltre al reattore, erano già operativi. Inoltre Ispra si trova nel baricentro di una delle aree già allora tra le più tecnologicamente evolute d'Europa (Piemonte, Lombardia, Svizzera: previa telefonata, in poche ore arrivavano componenti speciali dal Canton Ticino): si tratta della stessa area dove si sviluppò la aeronautica italiana d'avanguardia tra le due guerre mondiali. Un problema fu ad esempio il trasporto da Ispra a Casaccia, via Autostrada del Sole solo fino a Firenze, e poi sulla Cassia Antica (compreso Radicofani), delle grandi "calcolatrici analogiche", da noi progettate e costruite a Ispra per l'analisi dinamica ed il progetto dei sistemi di controllo degli impianti nucleari. Il problema fu risolto soltanto quando si trovò un trasportatore disposto a rivestire di una adeguata imbottitura l'interno di un grande autotreno. Forte di quella esperienza, tuttavia, quel trasportatore divenne negli anni successivi uno dei più importanti vettori di macchine elettroniche, ed anche di materiale radioattivo.

**MC:** Comunque alla Casaccia ben presto, nell'arco di pochi anni, furono attivi molti laboratori. La grande intuizione fu quella di affiancare personale esperto, della generazione di Fermi e dei suoi epigoni Amaldi, Ippolito, Salvetti, con una nuova generazione di ricercatori e tecnici in grado di introdurre nel mondo del nucleare le nuove tecnologie che si andavano sempre più rapidamente sviluppando (macchine di calcolo, apparecchiature di telecomando e di controllo a distanza, tecniche avanzate per la preparazione e il ritrattamento dei combustibili nucleari...). Tutti laboratori di primo ordine guidati da personaggi di livello internazionale... Vogliamo ricordare qualche nome?

**AM:** Possiamo ricordare il laboratorio di Fisica e Calcolo guidato prima da Alberto Bracci e poi da Ugo Farinelli. Oppure la Divisione Tecnologica con a capo Sergio Barabaschi e comprendente tra l'altro il la-

laboratorio di Ingegneria Nucleare da me guidato e il Laboratorio Servomeccanismi guidato da Carlo Mancini. Poi il Laboratorio di Fisica Nucleare Applicata guidato da Sebastiano Sciuti, e comprendente il reattore TRIGA. Il laboratorio per il Trattamento Elementi di Combustibile guidato da Maurizio Zifferero e quello dei Gas ionizzanti guidato da Bruno Brunelli. Senza contare i laboratori rivolti alle bioscienze, come quelli di Biologia e Protezione Sanitaria di Carlo Polvani, o quello di Agrobiotecnologie di Gian Tommaso Scarascia Mugnozza...

**MC:** Ogni settore che poteva in qualche modo intersecare il mondo del nucleare era coinvolto nel Programma... un approccio al nucleare che potremmo definire "a tutto tondo" e che mirava a coinvolgere l'intero sistema-paese...

**AM:** Esattamente. Pensiamo al Campo Gamma. È stato all'origine di una delle storie di maggior successo della scienza agronomica italiana. Il suo promotore, il Prof. Scarascia Mugnozza, avendo partecipato alla Conferenza di Ginevra del 1955, individuò fin d'allora le opportunità offerte dalle tecnologie nucleari in agricoltura: irraggiamento delle sementi per la generazione di nuove varietà vegetali; sterilizzazione di insetti dannosi per la difesa delle colture; tracciamento con radioisotopi per le analisi fisiologiche.

Dal primo di questi filoni fu originata la nuova varietà di grano duro denominata Creso, molto produttiva e resistente, che si diffuse largamente in Italia ed in altri paesi e che, solo in Italia, già negli anni 80, si stima abbia prodotto un incremento di produzione del valore di 100 miliardi di lire all'anno (questa ricaduta positiva, da sola, potrebbe giustificare gran parte degli investimenti fatti negli anni per il Centro della Casaccia).

**MC:** Certo, mettere insieme tutti questi ricercatori e tecnici con competenze tra loro molto diverse, peraltro provenienti da tutta Italia, immagino non sia stato facile...

**AM:** Per alcuni versi sì; la cosa più difficile fu semmai attivare, in un contesto sostanzialmente agricolo e preindustriale come la Campagna Romana, una rete di rapporti che permettessero di proseguire efficacemente le linee di sviluppo avviate a Ispra. Alla lunga ciò fu almeno in parte realizzato, anche grazie a più o meno spontanei rapporti con gli Istituti Tecnici e l'Università. D'altra parte il fatto di aver realizzato un unico centro multidisciplinare fu alla base di sviluppi inattesi in molti campi: ricordo ad esempio che negli anni 90 proprio da contatti informali, anche in mensa, si originò la collaborazione tra esperti di supercalcolo e biologi operanti nella genomica, avviando così un proficuo filone di bioinformatica. Anzi, a partire da questo filone è stata poi costituita una società spin-off dell'ENEA, la Ylichron, presieduta da Vittorio Rosato.

**MC:** Ad ogni buon conto, come è stato l'inserimento nei nuovi laboratori della Casaccia? Non credo ci fosse molto tempo per l'ambientamento... In pochi anni furono attivati moltissimi programmi di ricerca e progetto. Penso al Reattore Tecnologico e Metallurgico (RTM), la cui progettazione iniziò nel 1962 sotto la guida di Mario Ovazza, o alle ricerche con i reattori RANA e ROSPO guidate da Alberto Bracci...

**AM:** Negli anni seguenti al trasferimento in Casaccia, con il mio laboratorio ebbi infatti modo di svolgere sin da subito attività di ricerca e progetto nel campo dei sistemi di controllo e sicurezza degli impianti nucleari, collaborando ai principali progetti allora in corso in Italia: reattore a liquido organico PRO e sua *critical facility* ROSPO, reattore per la nave nucleare Enrico Fermi, reattore ad acqua pesante CIRENE, reattori a neutroni veloci TAPIRO e RAPTUS. Ad esempio, per il reattore TAPIRO, tuttora funzionante qui in Casaccia, ho fatto l'analisi di sicurezza, utilizzando "calcolatrici analogiche" da noi progettate e costruite.

**MC:** Il TAPIRO, che è oggi uno dei due festeggiati, risulta essere l'unico reattore veloce esistente nell'Europa a 27. Comunque tutto questo entusiasmo durò ancora a lungo, le attività nucleari continuarono



**Figura 3**  
Reattore nucleare di ricerca TAPIRO: sala controllo  
Fonte: archivio ENEA

ad andare avanti ancora diversi anni, nuovi progetti vennero avviati anche se non sempre conclusi in modo pienamente soddisfacente...

**AM:** Esatto. Nei decenni successivi, fino al referendum che di fatto interruppe i programmi nucleari in Italia, i laboratori della Casaccia continuarono a collaborare ai principali progetti in corso nel Paese. In particolare, al progetto ed alla costruzione del reattore prototipo CIRENE (Clise REattore a NEbbia), che poneva ardui problemi di stabilità e regolazione, e per il quale le attività di simulazione e progetto dei sistemi di controllo si svolgevano in Casaccia, mentre quelle relative alla neutronica ed alla termofluidodinamica si svolgevano al CISE di Milano. Anche per il reattore a neutroni veloci PEC (Prova Elementi di Combustibile), in costruzione al Brasimone, le attività di simulazione e progetto dei sistemi di controllo si svol-



**Figura 4**  
Simulatore di ingegneria ES-1000  
Fonte: archivio ENEA

riflettore su



gevano in Casaccia, e le altre a Bologna. Infine per il Progetto Unificato Nucleare (PUN), e cioè lo standard prescelto per la serie di centrali che avrebbero dovuto essere costruite in Italia negli anni 80 e 90 dopo Montalto di Castro, cominciando da Trino 2, in Casaccia venne costruito un grande simulatore con una realistica Sala Controllo.

**MC:** Poi ci fu la nota pausa ventennale a seguito del referendum, con una interruzione seppur parziale delle attività di ricerca e con un forte iato generazionale... Ecco, secondo la sua esperienza, ora che ci apprestiamo a ripartire, quali sono gli aspetti chiave che occorre affrontare sin da subito?

**AM:** Beh, sicuramente i due problemi principali che dovranno essere affrontati sono quelli della sicurezza degli impianti e della formazione del personale.

**MC:** Ecco partiamo dalla sicurezza, un problema molto sentito oggi e a cui Lei si è già dedicato sin dai primi anni 60.

**AM:** Su questo punto sarà bene porre in evidenza le profonde differenze di condizioni al contorno tra la situazione pionieristica in cui si trovava la tecnologia nucleare or sono 50 anni, e la situazione di oggi. Allora, anche per un paese come l'Italia poteva forse avere senso tentare molte linee di sviluppo, benché eterogenee (sia pure con alto rischio di fallimento); oggi invece, se si vuole riequilibrare al più presto il mix energetico dell'Italia, la tecnologia da considerare non può che essere quella dei reattori di III generazione, più sicuri, affidabili ed economici rispetto a quelli in servizio dagli anni 1970-1980, e che costituiranno le macchine di riferimento della produzione elettroniculare per gran parte del XXI secolo. Questi reattori si trovano ormai "a catalogo" di ditte come Areva, Toshiba-Westinghouse, General Electric ecc.

**MC:** Un altro degli aspetti solitamente indicati come più critici per l'avvio di un organico programma di costruzione e gestione di impianti nucleari in Italia è la disponibilità di risorse umane adeguate in numero e qualità. Forse bisognerebbe invece coglierne gli aspetti positivi, e cioè la grande opportunità di attivare un rilevante numero di posizioni di lavoro stabili e di alta qualificazione, preziosi quanto mai in questo momento in Italia. Anche se, occorre ammetterlo, a seguito dell'abbandono dell'opzione nucleare, malgrado alcune lodevoli eccezioni, gli specialisti nel campo nucleare non sono stati molti negli ultimi decenni...

**AM:** Senza alcun dubbio. Infatti, nel caso delle fonti fossili, il costo del kWh è per gran parte dovuto all'acquisto all'estero dei combustibili, mentre nel caso dell'opzione elettroniculare quel costo è per la maggior parte dovuto all'investimento nella costruzione dell'impianto, e cioè ad attività progettuali e manifatturiere di altissima qualificazione: ciò permetterebbe oggi in Italia di valorizzare una rilevante quantità di qualificate risorse giovanili, che attualmente come noto sono largamente sotto-occupate, e darebbe loro prospettive di impiego anche per l'intera durata della vita lavorativa. A fronte di questo impegno qualificante dell'attuale generazione di giovani tecnologi e ingegneri, il sistema-paese porrebbe a disposizione delle prossime generazioni una infrastruttura energetica ad alto livello di affidabilità ed a costi stabili nel tempo. In tal modo, finalmente, l'attuale generazione opererebbe anche nell'interesse delle future generazioni (diversamente da quanto è avvenuto nel recente passato...).

**MC:** Anche perché, malgrado la percezione che generalmente se ne ha, forse non esageriamo dicendo che, mediamente, l'attuale generazione giovanile possiede una preparazione scolastica migliore rispetto a quella di cinquant'anni fa. Basti pensare all'alfabetizzazione informatica che da caratteristica specialistica rappresenta oggi un fenomeno di massa e una base professionale su cui contare...

**AM:** Certo, anche se per affrontare una sfida tecnologica ed industriale come quella sopra descritta occorre al più presto attivare, o potenziare, iniziative di formazione strettamente mirate all'impiantistica nucleare, proprio per sopperire alla lunga fase di letargo verificatasi in questo settore nel nostro Paese durante gli scorsi decenni...

**MC:** E magari, come cinquant'anni fa si andavano affiancando la generazione degli "anziani", i contemporanei di Fermi, e dei "giovani", cioè la Sua, così adesso sarebbe il caso di affiancare la generazione di quanti hanno portato avanti il nucleare negli anni 60 e 70 a quella delle nuove leve, di "noi giovani"... Lei Professore c'è sempre ovviamente, anche se stavolta non più "in quota giovani"...

**AM:** Eh sì, ma ancora a disposizione per fornire un possibile mio supporto!

## **Viaggio nei laboratori e negli impianti della Casaccia**

*Diego Gavagnin (DG) intervista Massimo Sepielli (MS), Stefano Monti (SM), Pietro Agostini (PA) e Stefania Baccaro (SB), responsabili ENEA delle attività di ricerca e qualificazione nucleare*

**DG:** Allora, Sepielli, come si sta riorganizzando il settore? E come l'ENEA può contribuirvi?

**MS:** Vengo subito alla domanda, però lasciami un attimo ringraziare, come Unità Tecnica dell'ENEA che ha ideato e proposto questa giornata celebrativa dei 50 anni, tutti coloro che hanno contribuito alla sua riuscita; noi celebriamo i 50 anni della Casaccia, i 50 anni del nucleare alla Casaccia. Celebriamo i nostri due reattori, i nostri due gioielli di famiglia: il Triga e il Tapiro che hanno sempre funzionato, hanno sempre permesso di portare avanti attività scientifiche, ma che ultimamente avevano bisogno di un po' di *lifting*. Questo *lifting* è stato fatto e adesso, orgogliosamente, li abbiamo riavviati e portati alla criticità. E a questo proposito vorrei ringraziare tutto il personale del Laboratorio dei reattori di ricerca, quello del Triga e del Tapiro, i due Responsabili di impianto, perché in questo momento in cui noi festeggiamo, loro sono al reattore. E quindi un grazie di cuore, perché in pochi mesi è stato fatto un miracolo! Devo ringraziare anche l'Ingegnere Lelli, il Commissario dell'ENEA che, dopo un periodo, lasciatemelo dire, di oscurantismo *middle age*, non so come chiamarlo, ha permesso di poter riparlare di nucleare da fissione dentro questo Ente, ora Agenzia, cosa non molto facile negli ultimi dieci anni e anche più...

Come ci stiamo riorganizzando? Intanto io vorrei parlare di "italianità", concetto che è emerso in tutta la retrospettiva di questa mattina. Italiano è Enrico Fermi, italiano è il gruppo che ha portato avanti e scoperto la fissione nucleare e che ha realizzato il primo reattore con il Chicago Power One; italiano, lasciatemi dire, è Felice Ippolito che ha portato avanti la ricerca negli anni 60-70, italiano era Enrico Mattei, un propulsore della parte, diciamo, più petrolifera, petrolchimica, come vogliamo chiamarla... Quindi, con questi riferimenti importanti, stiamo provando a ripartire. Dobbiamo ringraziare anche il Governo Italiano perché finalmente ha potuto, ha voluto, rilanciare il discorso del nucleare: anche questo che non era particolarmente scontato...

Noi siamo stati dunque un riferimento. Adesso i paesi si dividono fra quelli che hanno il nucleare e quelli che entrano nel nucleare; noi siamo una realtà un po' particolare, perché siamo dei *new comer* ma anche degli *old comer*, quindi potremmo definirci degli *old new comer*. Siamo in una situazione molto speciale: abbiamo insegnato il nucleare all'estero e adesso dobbiamo andare un po' ad impararlo dall'estero. Mi riferisco in particolare al modello francese, al quale ci stiamo ispirando e con il quale ci stiamo collegando, devo dire giustamente, attraverso tutta una serie di accordi internazionali, dei quali poi ci parlerà an-

cor meglio il collega, l'Ingegnere Stefano Monti. Quindi, con accordi a livello di governo, accordi a livello industriale, ENEL-EDF, accordi a livello ENEA, con CEA e con CRSN. Abbiamo poi ricostituito quel quadro normativo che fa da cornice al rilancio del nucleare in Italia. Quali sono queste leggi? In particolare la Legge Sviluppo, la 99 del 2009, nella quale sono previste varie cose molto importanti, tra le quali la ristrutturazione di SOGIN, di ENEA come Agenzia, la scelta delle tecnologie, i rapporti con le popolazioni e quindi poi la scelta delle aree idonee e dei siti. Questo quadro legislativo permette anche con il Decreto più recente, n. 31 del 15 febbraio 2010, di rilanciare tutto il programma nucleare italiano che, ricordo, prevede un 25% di energia elettrica da nucleare, entro il 2030, e la partenza dei primi reattori italiani, endogeni, entro il 2020.

Il sistema nucleare italiano non si è mai fermato come non si è mai fermata la ricerca. Abbiamo qui Ansaldo Nucleare, Sogin, ENEL, tantissimi rappresentanti dell'industria che non nomino per non fare torto a qualcuno... Mangiarotti, Techint..., non voglio dimenticare nessuno... Tutte queste realtà hanno continuato a lavorare nel settore; non potendolo fare in Italia, ovviamente l'hanno fatto all'estero. In particolare ENEL che, lo sappiamo tutti, è all'interno di collaborazioni con la Slovacchia, la Francia, la Spagna. L'Ansaldo è andata a costruire in Romania e adesso in Cina. Quindi il settore industriale italiano è sempre rimasto molto attivo.

Il ruolo dell'ENEA? Noi non abbiamo mai smesso di fare ricerca. I due reattori che dicevamo precedentemente hanno sempre operato. E non solo questo. Nei nostri dieci Centri, nelle nostre Unità Tecniche, esistono una serie molto numerosa di laboratori, impianti sperimentali, oltre alle tre Unità Nucleari che sono rappresentate qui dai Responsabili, l'Unità di Casaccia, l'Unità di Bologna e l'Unità del Brasimone, abbiamo anche il programma di qualificazione industriale di cui ci parlerà successivamente Stefania Baccaro, abbiamo tutta un'altra serie di laboratori, penso per esempio alle tavole sismiche, come pure ai laboratori di termofluidodinamica, all'ICT... Tutte queste strutture, sinergicamente, possono aiutarci a rilanciare questo programma. L'ENEA è ricerca, l'ENEA è ricerca applicata, è supporto industriale, siamo intenzionati a dare il massimo apporto all'Agenzia per la Sicurezza che si sta costituendo, stiamo già lavorando su progetti avanzati per la "famosa" chiusura del Ciclo del Combustibile, in modo da risolvere i problemi di sostenibilità.

Concluderei sottolineando l'importanza dell'ENEA anche nel settore formazione e comunicazione.

Formazione, perché l'ENEA, come tecnostuttura pubblica, ha gli impianti, ha i laboratori per poter ospitare e formare i giovani; abbiamo in piedi collaborazioni internazionali con altri Governi, altri Stati per lo scambio di conoscenze e di personale qualificato, questo anche insieme al Cirten, alle Università che hanno portato avanti con gli anni programmi di ingegneria nucleare, insieme a società di formazione di tipo privato.

Comunicazione, perché l'ENEA può dare alla popolazione - al popolo italiano in generale ma alle popolazioni locali in particolare, interessate dall'eventuale prossima installazione di siti nucleari - tutta la comunicazione tecnico-scientifica di cui ha bisogno. È necessario in primo luogo spiegare che energia nucleare vuol dire elettricità. Quando Ippolito andava a parlare in qualunque consesso diceva: "Prima che io arrivi lì, togliete la luce elettrica per mezz'ora.". Perché forse la gente non sa che il 20% dell'energia elettrica in questa sala è di provenienza nucleare; l'altro 80%, escluso il 15% dell'idroelettrico, è gas ed olio combustibile. C'è quindi da scegliere: o immettitori di gas serra o il nucleare. Bisogna che lo sappiano con chiarezza anche i movimenti che fanno opposizione...

E non si tratta poi solo di una questione di energia elettrica: è anche questione di tecnologia. Tutta la tecnologia che noi oggi utilizziamo - i cellulari, la macchina, gli elettrodomestici - ha bisogno di energia. E di questo la gente deve rendersi conto fino in fondo.

Concludo parlando di formazione. Con i nostri due reattori, il Triga e il Tapiro, faremo formazione sulle giovani generazioni. Ed è importante che questa formazione non si faccia solo al Liceo o all'Università: si dovrebbe cominciare dalla scuola elementare. Nel cortometraggio iniziale, c'era mio figlio che recitava...



Se si comincia dalle elementari a dare una corretta informazione sull'utilizzo dell'energia, è più facile in seguito essere formati più correttamente. E magari si arriverebbe ad avere anche avere meno contestazioni...



**DG:** Monti, io ho un timore: posto che un paese voglia partecipare alla competizione mondiale, senza una ricerca nucleare importante è come se andasse con un braccio legato dietro la schiena... È una mia preoccupazione, ma c'è modo di radicare una nuova ricerca nell'era della globalizzazione, una nuova industria nucleare che possa sopravvivere anche ad eventuali ulteriori problemi che in Italia non possiamo escludere, sul piano della realizzazione degli impianti? Una cintura di sicurezza possono essere le relazioni internazionali? Come si incardina il vostro lavoro attuale a livello mondiale?

**SM:** A livello internazionale il primo contesto di riferimento per l'Italia, e in particolare per l'ENEA, è ovviamente l'Europa. Anche negli anni bui del dopo referendum che prima ricordava il collega Sepielli, l'ENEA, ma anche altri soggetti italiani, ha ampiamente partecipato ad un numero notevole di progetti dei vari programmi quadro EURATOM nei settori classici della sicurezza nucleare, della gestione e stoccaggio dei rifiuti radioattivi e dello sviluppo dei sistemi innovativi. Ovviamente negli anni 90 ciò è voluto dire R&S nel campo della sicurezza dei reattori di III generazione che sono ora in fase di commercializzazione. E qui vorrei ricordare che l'Italia ha fornito contributi importanti per la certificazione dei reattori attuali: basti pensare alla sperimentazione a supporto del reattore AP600. Il sistema Italia ha partecipato al licensing di questo reattore con la prova integrale di AP600 presso la SIET di Piacenza, e se a quel tempo facevamo attività di ricerca, sviluppo e anche di qualifica di componenti per i sistemi di III generazione, oggi, *mutatis mutandis*, lo facciamo per quelli di IV generazione, per i quali le caratteristiche di sicurezza possono venire rimesse in discussione da nuovi ambiziosi obiettivi progettuali, quale ad esempio la capacità di "bruciare" gli attinidi minori. Altro grande tema è quello della gestione e riduzione dei rifiuti radioattivi. Ovviamente anche qui il nostro impegno è stato soprattutto rivolto alle tecnologie innovative, quali i metodi di separazione degli attinidi e la loro trasmutazione. Negli ultimi 10-15 anni siamo stati impegnati in parecchi progetti europei e internazionali nel campo della trasmutazione mediante sistemi critici e sottocritici (qui forse si ricorderà che qualche anno fa era stata lanciata l'idea di utilizzare il Triga per un esperimento in questo campo). Infine, parlando sempre del contesto europeo, l'impegno dell'ENEA è anche rivolto allo sviluppo concettuale dei reattori innovativi: stiamo parlando di quelli di IV generazione, con particolare riferimento ai reattori veloci in grado di minimizzare i rifiuti radioattivi e sfruttare molto meglio il combustibile nucleare. Ovviamente, l'intervento dell'ENEA non può, come dire, rimpiazzare quello dell'industria: lo sviluppo concettuale del sistema nel suo complesso è effettuato dalle aziende, quindi in Italia in primis dall'Ansaldo Nucleare, ma noi siamo in grado di fornire un supporto fondamentale in termini di sviluppo metodi e sperimentazione. Mi riferisco soprattutto alle attività teoriche e sperimentali riguardanti l'utilizzo dei metalli liquidi pesanti come refrigeranti dei reattori veloci, un settore in cui siamo considerati uno dei riferimenti internazionali.

C'è poi tutta l'attività di simulazione e sviluppo modelli: per la progettazione dei sistemi nucleari innovativi c'è la necessità di sviluppare modelli di calcolo avanzati che vanno poi qualificati sperimentalmente. Ciò vuol dire accoppiamento dell'attività sperimentale con quella di modellistica.

Ma in Europa non partecipiamo soltanto ad attività di ricerca e sviluppo; diamo il nostro – direi importante – contributo anche alla definizione delle strategie europee per il nucleare cosiddetto sostenibile:

- siamo membri, insieme ad altri *stakeholder* italiani, della piattaforma tecnologica europea sul nucleare sostenibile;

- abbiamo partecipato alla definizione della *road map* del nucleare sostenibile, ovvero di quello che dovrebbe essere il nucleare in Europa nei prossimi 50-100 anni;
- supportiamo l'industria italiana per quanto riguarda l'iniziativa industriale denominata *European Sustainable Nuclear Industrial Initiative* (ESNII), che dovrebbe portare alla realizzazione, all'orizzonte del 2020-2030, di un primo dimostrativo di reattore veloce di IV generazione in Europa;
- partecipiamo alla progettazione di un impianto a spettro neutronico veloce in Belgio, in grado di dotare l'Europa di una facility di irraggiamento per lo sviluppo e la qualificazione dei materiali e dei nuovi combustibili da utilizzare nei reattori veloci di IV generazione.

Per quanto riguarda i materiali, che sono poi il punto chiave attorno a cui ruota la possibilità di sviluppare in tempi ragionevoli i reattori di IV generazione, siamo i coordinatori italiani della *European Energy Research Alliance* sui materiali innovativi, ovvero dell'altra gamba, insieme alla sopracitata ESNII, del cosiddetto Set-Plan, il piano energetico europeo delle tecnologie innovative a bassa emissione di CO<sub>2</sub>.

Abbiamo mantenuto una significativa presenza anche a livello internazionale sia per alcune attività progettuali (a tale proposito ricordo le varie attività che abbiamo condotto negli ultimi 10-15 anni in particolare con l'americana Westinghouse), sia per la partecipazione a comitati e gruppi di lavoro nelle grandi Agenzie Internazionali:

- l'Agenzia di Vienna (IAEA), dove ad esempio abbiamo sempre assicurato la partecipazione ai vari *Technical Working Groups* sui LWR, sui FR, sul combustibile ecc.;
- l'Agenzia nucleare di Parigi (NEA), una presenza importantissima perché è questa l'agenzia internazionale che produce i rapporti più autorevoli sui vari aspetti dell'energia nucleare: dagli studi economici a quelli per la gestione dei rifiuti radioattivi e del ciclo del combustibile, dagli aspetti regolamentatori a quelli della sicurezza ecc. Moltissimi colleghi hanno partecipato e partecipano a questi studi, oltre che alle attività di carattere più teorico, di modellistica e di benchmarking dei codici di calcolo.

Il terzo ambito, e concludo, è quello degli accordi bilaterali, che sono altrettanto importanti quanto il contesto internazionale. In particolare, nell'ultimo anno abbiamo riannodato i rapporti, peraltro mai interrotti, col sistema di ricerca francese. Quindi, in primis, grazie al Commissario Lelli, abbiamo dato nuovo impulso all'accordo con il CEA francese su una serie di tematiche, che vanno dalla modellistica alle tecnologie di quarta generazione, alle tecnologie di punta per la qualifica di componenti e sistemi degli attuali reattori. Stiamo cominciando anche a valutare in maniera approfondita la possibilità, per il sistema italiano, di partecipare alla realizzazione ed utilizzo del più grande reattore sperimentale in Europa, lo Jules Horowitz Reactor, attualmente in costruzione a Cadarache in Francia... Un'occasione da non perdere.

Concludo con l'altro accordo francese altrettanto importante che dovrebbe costituire la base della possibilità per ENEA di svolgere il ruolo di supporto tecnico-scientifico all'Agenzia di sicurezza nucleare: ultimamente abbiamo infatti siglato l'accordo con l'Istituto di Radioprotezione e Sicurezza Nucleare francese. Si tratta di un accordo estremamente importante, nell'ambito del quale abbiamo già lanciato alcuni progetti. Uno dei più importanti riguarda la nostra partecipazione allo sviluppo presso IRSN del simulatore ingegneristico dell'EPR. Due nostri giovani, uno di questi stamattina era tra i presentatori, andranno a congiungersi ai gruppi di lavoro dell'IRSN a partire da quest'altro anno proprio per partecipare allo sviluppo di questo simulatore, sia per quanto riguarda gli aspetti informatici della macchina, sia per quanto riguarda lo studio dei transistori mediante i modelli di calcolo che già conosciamo. E tutto ciò con l'obiettivo di dotarci delle necessarie competenze e capacità per acquisire e gestire nel prossimo futuro un simulatore analogo presso il Centro della Casaccia.

Ci sarebbero tantissime altre cose, perché ripeto in questi anni di cose a livello internazionale ne abbiamo fatte tantissime... Ho cercato brevemente di raccontare quelle più importanti...



**DG:** E allora, Agostini, Ingegneria Sperimentale, Brasimone. Per la grande incompiuta della storia nucleare entriamo un pochino di più nel dettaglio di cosa possiamo fare per il futuro.

**PA:** Sì, vorrei dire che ciò che stiamo facendo, come nel passato, è ancora ricerca e sviluppo; ricerca e sviluppo nel campo tecnologico.

Stamattina si è parlato molto di fisica, la storia della fisica; però vorrei ricordare che senza l'ingegneria, senza la tecnologia, senza la scienza dei materiali, la fisica arriva, ma fino ad un certo punto... Ha bisogno della fatica quotidiana, del sudore delle persone che lavorano sugli impianti, nei laboratori, dove si fanno tentativi e si trovano soluzioni che spesso non sono a portata di mano...

Questo lo dico anche a proposito dei reattori di quarta generazione che rappresentano un po' l'ultima frontiera del nucleare da fissione, quelli di cui si parla oggi che d'altra parte sono anche inseriti in una programmazione europea. Come diceva Stefano Monti esiste anche un piano europeo che prevede la realizzazione di questi reattori, di cui vengono studiate almeno tre tipologie.

Questi reattori sono molto promettenti perché sono quelli sostenibili e non proliferanti. Sostenibili, perché promettono di produrre 50 volte più energia di quella che viene prodotta per kg di uranio rispetto a quelli di terza generazione. Non proliferanti, perché siccome bruciano, utilizzano, smaltiscono il plutonio, lo tolgono, lo eliminano, e quindi questo non è più disponibile per gli ordigni nucleari. E questo, in termini di geopolitica e di sopravvivenza del genere umano, è un aspetto molto importante...

Questi reattori sono molto promettenti, ma hanno grosse difficoltà tecnologiche, perché i materiali con cui verranno costruiti devono incontrare tutta una serie di severe condizioni di funzionamento. Prima di tutto la corrosione da metalli liquidi, perché questi reattori, a differenza dell'80% dei reattori esistenti ad acqua, avranno per refrigerante dei metalli liquidi: sodio, piombo, lega di piombo, bismuto, addirittura, è anche possibile, sali fusi... In ogni caso refrigeranti non convenzionali: questo è dunque un primo aspetto che crea delle novità tecnologiche da risolvere.

Il secondo aspetto è quello delle temperature. Le temperature d'impiego di queste macchine sono tutte di circa 200 gradi più alte di quelle dei reattori attualmente funzionanti. E poi esiste il danneggiamento neutronico: dato che si tratta di progetti basati sui neutroni veloci, il danneggiamento che questi esercitano sui materiali strutturali è di circa dieci volte maggiore di quello dei reattori tradizionali.

Questo tipo di ricerche hanno anche una continuità perché, ad esempio, noi sappiamo che anche per la fusione nucleare i materiali rappresentano il punto da risolvere, e nella fusione queste caratteristiche sono ancora più esaltate: le temperature salgono ancora, il danneggiamento neutronico sale ancora e anche i fluidi con cui si trovano a contatto sono abbastanza complessi, come quelli dei reattori di quarta generazione. Siamo quindi nel campo della ricerca e sviluppo, non siamo nel campo della commercializzazione, come per i reattori di terza generazione che sono un po' il perfezionamento finale dei reattori ad acqua. Per questo motivo esistono dei programmi internazionali, appunto, in cui si cerca di concentrare gli sforzi di tutti i paesi europei.

L'Europa sta facendo grossi investimenti per sostenere questo tipo di ricerca. In Italia, in particolare, esiste un Sistema Italia che è orientato sulla filiera dei reattori refrigerati a piombo per i reattori di quarta generazione. In questo sono impegnati sicuramente l'ENEA, ma anche gruppi industriali come l'Ansaldo, ed aziende più piccole che comunque sono estremamente aggressive dal punto di vista progettuale. E poi naturalmente l'Università: l'Università di Pisa e di Roma sono impegnate in questo tipo di ricerche.

Questo è un sistema che porterà di qui a dieci anni alla costruzione dei primi reattori: le strade sono ancora abbastanza difficili da percorrere, ma questa è tuttavia una prospettiva molto interessante. Oggi il sistema italiano è leader sulla linea dei reattori di quarta generazione a piombo in Europa, in cui esistono le tre linee del piombo, del sodio e del gas. Sul piombo, appunto, siamo i primi e siamo anche quelli che, insieme ad altri attori internazionali, belgi, tedeschi, svedesi, olandesi, spagnoli, cominciano a produrre dei brevetti, a progettare dei componenti, a provarli.

Al Brasimone facciamo questo tipo di sperimentazioni sui metalli liquidi, su eventi incidentali che si manifestano per rotture del generatore di vapore, vediamo quali sono le conseguenze, cerchiamo di tenerle sotto controllo, facciamo sperimentazione sulla fluidodinamica, sullo scambio termico, sulla qualifica di componenti.

Quest'inverno è stato sperimentato uno scambiatore di calore di concezione italiana da un Megawatt. È stato un esperimento rilevante, che ci ha insegnato molto sulla trasmissione del calore dentro i metalli liquidi, che hanno un comportamento completamente diverso dall'acqua. Anche i codici di calcolo che menzionava l'Ingegnere Monti sono un qualcosa che deve essere completamente revisionato, sono liquidi a bassissimo numero di Prandtl: cambia tutto nello scambio termico e quindi anche i codici e gli approcci numerici devono essere rivisti. Questo crea delle prospettive a lungo termine, ma valide per l'industria italiana. E questo è molto importante perché noi oggi veniamo da un periodo, qualcuno l'ha detto, di oscurantismo nucleare. Da un periodo in cui non si è riusciti ad essere presenti nel campo dei reattori di terza generazione. Potremmo fornire alla nostra industria molte commesse, ma sempre come subfornitori; qui invece siamo progettisti ed esiste quindi questo coordinamento italiano, esistono anche degli accordi bilaterali con la Francia in cui noi collaboriamo sia sui reattori a sodio che su quelli a gas. Non tralasciamo nessuna di queste linee tecnologiche.

**DG:** Mi ricordo, dopo Chernobyl, un colloquio con Umberto Colombo e altri. Si diceva all'epoca: il futuro del nucleare sarà autofertilizzante, sicurezza intrinseca e dimensioni. La Babcock, negli Stati Uniti, sta studiando un reattore da 300 MW. Su questo c'è qualche filone di ricerca?

**PA:** Ho mandato in questi giorni una persona negli Stati Uniti perché c'era la presentazione di un reattore a piombo di 100 MW, piccolino, di cui loro stanno avviando il *licensing*; i russi, che stanno facendo qualcosa del genere sempre a piombo e sempre ordine di grandezza 100 MW, ci hanno contattato per una collaborazione sullo sviluppo delle pompe di circolazione, per utilizzare i nostri impianti che sono i più grandi d'Europa. Siamo in trattative, perché ci chiedono delle condizioni abbastanza complesse. Però questa taglia di 100 MW con cui si può fare un reattore completamente stagno che loro immaginano di poter portare in zone desertiche come se fosse un generatore, un diesel d'emergenza, e farlo funzionare per nove, dieci anni senza interventi, senza ricariche, è sicuramente una strada da considerare anche da parte nostra.

**DG:** Anche perché chiaramente il mondo occidentale si va sempre più densamente popolando. Insomma un piccolo nucleare è possibile; ed è anche più facile godere dell'accettazione sociale...



**DG:** Baccaro, funzione di promozione industriale, aiuto alle imprese, assistenza... C'è movimento, si danno da fare queste imprese?

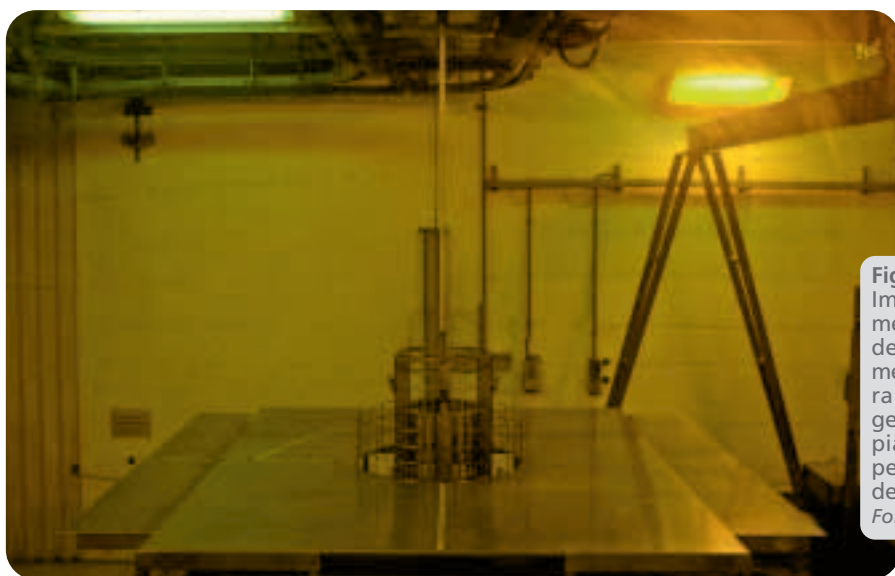
**SB:** Sì, molto...

**DG:** Sono disposte anche a rischiare dei soldi loro?

**SB:** Devono farlo, ma vorrei dire soprattutto che quello della qualificazione nucleare è un problema che si inserisce in quello della sicurezza nucleare e che quindi è molto sentito, molto importante, su cui non si possono trovare alternative. Il processo della qualificazione rientra nelle normative internazionali e quindi è costituito da una serie di prove molto complesse a cui vengono sottoposti i sistemi, i componenti



che devono funzionare ovviamente anche in condizione di rischio di incidente per un tempo di vita molto lungo. Ricordo che nelle vecchie centrali si parlava di 20 anni di tempo di vita, oggi siamo a 60. Per cui la prova di qualifica è anche onerosa per le aziende. In questo senso c'è da dire che l'ENEA si candida anche a supportarle in quello che è il processo precedente a quello di qualifica, che è una procedura molto stringente, rigorosa e costosa, con delle lunghe tempistiche. Da questo punto di vista, avete trovato nella vostra cartellina una brochure in cui viene indicato il processo della qualificazione nucleare e quello che l'ENEA può fare, che si candida a fare, anche a supporto dell'Agenzia di sicurezza nucleare recentemente costituita, perché c'è una serie di competenze che spaziano su moltissime attività. Voglio dire che noi stiamo parlando della terza generazione: quello che riusciamo a fare dal punto di vista della qualificazione copre sia i reattori EDF, che quelli del tipo AP-1000 Westinghouse, perché i cardini delle normative internazionali sono costituiti dai principi della qualificazione che trovano essenzialmente, in particolare presso la Casaccia, la possibilità di essere coperti per il grosso della loro richiesta. Vale a dire: prove ambientali, prove sismiche, prove elettromagnetiche, prove di irraggiamento gamma che hanno continuato ad operare, costituite come impianti negli anni 80. Io stessa ho fatto le ultime qualifiche delle centrali nucleari presso l'impianto Calliope, che ha trovato dopo Chernobyl altre attività e altre possibilità per continuare ad operare.



**Figura 5**  
 Impianto di irraggiamento  $\gamma$  Calliope: vista della cella di irraggiamento e della rastrelliera contenente le sorgenti di  $^{60}\text{Co}$ ; in primo piano la piattaforma per il posizionamento dei campioni  
 Fonte: archivio ENEA

Questi impianti sono pienamente funzionanti e si inseriscono in un discorso più generale che va dalla qualificazione per gli acceleratori di Ginevra, alle prove sismiche anche per usi civili, che sono operazioni tutte molto complesse.

Tornando alla domanda iniziale, l'ENEA ha stipulato un accordo con Confindustria, nel quale rientra anche la qualificazione per le imprese, che sono fortemente interessate ad essere presenti, perché l'ambito non è solo quello italiano, è anche un ambito europeo, dove noi siamo presenti anche grazie alle nostre partecipate. Alla fine del mio intervento vedrete un filmato sulla SIET, in cui è possibile fare delle prove di qualifica LOCA (*loss-of-coolant accident*, ndr), che è l'ultimo stadio della qualificazione nucleare. Quindi siamo in grado di coprire veramente tutte la possibilità. Le aziende sono poi molto interessate anche alla formazione. Anche in questo senso stiamo già facendo degli accordi: il problema è quello della rico-

struzione di una cultura nucleare, che spazia dagli aspetti tecnologici a quelli della sicurezza e le industrie sono intenzionate a riposizionarsi, se già non lo sono, in un contesto internazionale di alto livello. Devo dire che in questo l'ENEL sta portando avanti un processo di qualifica dei fornitori che va dalle aziende ai singoli componenti e sistemi.

Da questo punto di vista noi abbiamo già predisposto – lo potete trovare sul sito web e scaricare gratuitamente – un dossier sulla qualificazione di sistemi e componenti dove troverete anche tutti i laboratori che possono dare un contributo a vario livello per le industrie, dalla messa a punto per esempio di materiali particolari, di test, tutta la parte dell'Istituto di radioprotezione, l'Istituto di metrologia delle radiazioni ionizzanti... Mi piace a questo punto riprendere il discorso del Professor Paoloni: l'ENEA è presente, dall'innovazione alla qualifica, che è un aspetto determinante per posizionare i componenti, ma in generale nella formazione che va da quella universitaria a quella di personale tecnico presso le imprese, a stage per tecnici interessati ad operare sugli impianti...

**DG:** Bene, grazie. Diciamo che quello che è avvenuto in questi ultimi due, tre anni se non altro è il diritto alla parola; se penso all'ANSALDO che lavorava in Romania di nascosto per il terrore che qualcuno la fermasse... Raccomando a chi non avesse visto il Triga di andare a visitarlo. Mi piace ricordare l'attività dei colleghi ENEA che ricavavano i neutroni per la medicina per l'Ospedale dell'Isola Tiberina, tutta quella parte di attività...

**SB:** La parte radiofarmaci è ancora presente...

**DG:** Sì, ma quando io dico che è come stare con un braccio legato dietro la schiena è proprio questo; certo l'ENEA ha poi provato a diffondere, qualcuno all'epoca diceva, a dissipare... Però il problema è la continuità. Ma come garantirla? Il referendum chiuse le centrali, non chiuse la ricerca; fu il progressivo depauperamento anno dopo anno... Quello che è sopravvissuto, è stato salvato con le unghie e con i denti, diciamo così. Adesso finalmente si è riconquistato il diritto alla parola...

## ***Il nuovo corso dell'Agenzia ENEA***

***Intervento del Commissario ENEA Giovanni Lelli***

L'ing. Lelli apre il suo intervento leggendo la lettera inviata dal Sottosegretario al Ministero dello Sviluppo Economico con delega all'Energia, On. Stefano Saglia.

«Caro Gianni, sono spiacente di non poter intervenire come avrei vivamente desiderato oggi al 50° anniversario del Centro di Ricerche ENEA. Sopraggiunti impegni istituzionali non differibili, mi impediranno di testimoniare personalmente la grande attenzione e il particolare interesse con cui il Governo segue queste tematiche e iniziative che verranno presentate e approfondite nel corso dell'evento. Il problema energetico, come quello climatico e ambientale, è globale. Il Governo italiano si è dato la sua formula: 50, 25, 25. Intende raggiungere il livello della domanda energetica interna con un razionale 50% da combustibili fossili, un necessario 25% da fonti rinnovabili e un concreto 25% da nucleare. L'energia nucleare sta vivendo una rinascita a livello globale. Oggi nel mondo ci sono 436 impianti in esercizio in 30 paesi di 4 continenti, con una capacità di produzione elettrica pari ad oltre 70 GW. Per quanto riguarda il futuro, ci sono 56 reattori in costruzione in 14 paesi per oltre 118 GW e circa 250 reattori sono in fase di proposta e considerazione per circa altrettanti GW. Oggi poi due reattori, Triga e Tapiro saranno "riaccesi" per di-

ventare il punto di riferimento delle prove sperimentali che accompagneranno il ritorno del nucleare in Italia.

Mi sembra quindi che il trend di crescita sia evidente, anzi stiamo tornando ai livelli della prima corsa al nucleare.

Il Governo italiano, con l'approvazione del Decreto Legislativo n. 31 del 15 febbraio 2010, ha inteso tra le altre cose, portare l'Italia nel club del nucleare dal quale era uscita nel 1987. Si tratta di un club sempre più numeroso e che garantirebbe al sistema Italia di accrescere il proprio rango, ruolo e prestigio a livello internazionale, oltre naturalmente a mantenere gli impegni presi a livello ambientale e migliorare e rendere più efficiente il mix energetico del Paese.

La cosa che vorrei sottolineare è che non ci stiamo lanciando in un'avventura pionieristica ma in una tecnologia collaudata da decenni in cui l'Italia ha avuto il primato fino alla fine degli anni 80. La filiera nucleare civile nel suo complesso può contare su oltre 13.100 anni reattore di esperienza in tutto il mondo. La tecnologia nucleare si basa sulla conoscenza accumulata nel tempo e sul presidio della catena del valore dalla ricerca allo studio dei materiali, dalla componentistica al ciclo del combustibile, dalla sicurezza allo smantellamento e gestione dei rifiuti. Sotto il profilo strettamente tecnologico è importante sottolineare che a breve entreranno in esercizio commerciale reattori di terza generazione. Gli obiettivi che dobbiamo raggiungere sono: il miglioramento della sicurezza, la riduzione delle conseguenze di un eventuale malfunzionamento, la maggiore economicità d'impianto, la standardizzazione dei requisiti dei reattori e la diminuzione dei tempi di realizzazione. Inoltre sono in fase avanzata di studio i reattori di quarta generazione che dovrebbero essere realizzati non prima del 2050.

Il nostro Paese è membro del Generation Forum International Forum come paese EURATOM ed ha maturato una notevole esperienza e competenza su due dei progetti della quarta generazione. Reattori veloci al sodio, reattore veloce al piombo grazie al lavoro svolto in questi anni da Ansaldo Nucleare ed ENEA. L'atomo è riconosciuto come un pilastro della Low Carbon Society, perché l'energia nucleare è una tecnologia carbon free durante l'intero ciclo produttivo, che ha già dato prova della sua fattibilità nel fornire prove su larga scala.

La storia dell'energia nucleare dimostra come l'atomo sia competitivo e sostenibile in presenza di una forte e snella regolamentazione. Il governo, con la legge 99/2009 e con il decreto sopra citato, quello del febbraio, ha definito un'architettura stabile ed efficiente della normativa, ricoprendo l'opzione nucleare in Italia.

Il percorso normativo dunque è quasi completo; resta ancora da definire la composizione dell'Agenzia per la sicurezza nucleare il cui Presidente è stato individuato nei giorni dai ministri Romano e Prestigiacomo in Umberto Veronesi. Nei prossimi giorni anche quest'ultimo passo verrà completato e l'Agenzia potrà iniziare ad operare. La scelta di Umberto Veronesi ad un Organo così importante, rappresenta un fiore all'occhiello per il nostro Governo e per l'intero Paese per due differenti motivi: il primo, è la particolare esperienza che è garanzia di sicurezza per tutti i cittadini e per tutte le popolazioni in cui le centrali verranno individuate; il secondo è che la scelta è ricaduta su un esponente non espressione della maggioranza che sostiene il Governo, a rappresentare la struttura massima che si vuole dare ad un progetto così ambizioso. Il ritorno al nucleare è dunque una scelta coraggiosa che abbiamo voluto fortemente intraprendere creando tutte le condizioni di sicurezza. Non resta ora che continuare su questa strada.»

riflettore su

Questo era il messaggio che il Sottosegretario Saglia, non potendo intervenire per motivi istituzionali, mi ha chiesto di leggere e che io accolgo con un applauso.

Consentitemi adesso due battute, due... È stata una giornata molto interessante ma anche lunga. Faticosa per gli attori che hanno parlato da qui, ma faticosa per tutte le persone interessate, che hanno seguito senza interruzione per tutto questo tempo...

Io vorrei dire che questa è stata una giornata molto, molto significativa, molto bella! Raramente in Italia si può assistere a eventi come questo...

50 anni fa è stato creato questo Centro su alcune centinaia di ettari, interamente dedicato al nucleare. Il nostro Paese di lì a qualche anno diventò il terzo paese al mondo per la produzione di energia elettrica da nucleare. Si pensava di coprire tutti i vari aspetti del ciclo di vita del combustibile, tutti i vari aspetti della filiera. Nel CNEN di allora, nella Casaccia in particolare, ci si occupava di ciclo a monte del combustibile. Come si fa il combustibile? Come si fanno i reattori? Abbiamo sentito parlare anche del ciclo a valle, cioè di come si chiude il ciclo del combustibile...

Bene, poi c'è stato Chernobyl, andiamo velocemente... Da un certo punto di vista per l'ENEA – il CNEN nel frattempo era diventato ENEA – è stato un fatto positivo, perché noi, in questi 25 anni, abbiamo avuto la possibilità di dimostrare che le tecnologie nucleari non servono solo alla produzione del Kilowattora, ma servono per il vivere civile di tutti i cittadini; abbiamo avuto la possibilità di diversificare, applicandole ai settori più vari. Ne è stato fatto un cenno prima e voglio riparlare: dal campo gamma per lo studio delle mutazioni genetiche sul grano che ha dato quel bel risultato che conosciamo tutti e frutta ancora delle royalties all'ENEA, è nato il settore delle ricerche in campo agro-industriale, che vede l'ENEA competitivo nel contesto degli enti di ricerca del Paese. Dallo studio degli effetti delle radiazioni ionizzanti sono nate macchine per la diagnosi medica e per la cura delle malattie dei tessuti molli. Ricordo che è di pochi giorni fa l'accordo che abbiamo firmato con l'Istituto Superiore di Sanità, con l'IFO e con la Regione Lazio per la realizzazione dell'acceleratore Top Implart per la cura di tumori superficiali.

Per non citare i sistemi di calcolo, le tecnologie dei materiali, quelle della componente convenzionale dell'impianto e così via... Noi abbiamo vissuto questi 25 anni dopo Chernobyl con finanziamenti sempre calanti, cercando progetti, finanziamenti nel mercato pubblico della ricerca in settori diversi e questo va a merito di tutti quelli che hanno lavorato in questo Centro. Che hanno fatto sì che la Casaccia sia oggi quello stesso Centro di prima, con lo stesso tipo di motivazione, ma diventato in aggiunta un Centro integrato di competenze diverse per applicazioni diversificate.

La Casaccia, da questo punto di vista, è un pezzo di patrimonio del Paese, è uno dei Centri europei più grandi, una cosa della quale il Paese deve essere giustamente orgoglioso.

Guardiamo ai successivi 40 anni. Nella legge n. 99 a cui si è fatto cenno, nell'art. 37, si colloca la riforma dell'ENEA da Ente ad Agenzia. Questo è significativo; io faccio sempre riferimento a questo aspetto perché per la prima volta la riforma dell'Ente ENEA viene presa non di per sé, ma inserita in un contesto più ampio che è quello dello sviluppo economico sostenibile, che è la ratio di quella legge.

Bene, noi siamo diventati Agenzia, abbiamo davanti un futuro che è fatto di sviluppi nel settore dell'energia, una fetta della quale è energia nucleare, dell'innovazione tecnologica e dello sviluppo economico sostenibile. Quindi il nucleare è una fetta delle molte attività che si fanno in questo Centro e tutte insieme queste attività, e chiudo, sono il core, per usare un termine di casa nostra, dell'innovazione tecnologica, della competitività del Paese, che rappresenta l'unico modo per uscire definitivamente dalla crisi economica che stiamo vivendo tutti. Io sono certo che con l'approssimarsi del momento in cui i finanziamenti aumenteranno le cose andranno ancora meglio, ma fino ad ora sono andate benissimo grazie alle competenze sviluppate qui dentro in 50 anni, che sono state trapassate, passate a generazioni più giovani.

Vi ringrazio tutti di questa bellissima giornata, grazie!

*Si ringrazia Marina Fortuna dell'Unità Informazione e Promozione dei Progetti ENEA per il delicato ed oneroso lavoro di trascrizione di tutti gli interventi.*



## SCHEDA 1

## Reattore nucleare di ricerca TAPIRO

A cura di Rocco Bove



**Figura 6**  
Colonna epidermica del reattore nucleare di ricerca TAPIRO: portello schermante rimosso per accesso al vano di irraggiamento  
Fonte: archivio ENEA

**Caratteristiche principali**

- potenza massima: 5 kW
- flusso neutronico max:  $4 \cdot 10^{12}$  n  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  @ 5 kW
- riflettore in rame
- raffreddamento mediante He
- facilities di irraggiamento:
  - 2 canali radiali orizzontali
  - 2 canali verticali
  - 1 canale diametrale
  - 1 canale tangenziale
  - 1 colonna termica (volume max:  $1,6 \text{ m}^3$ ).

Il reattore nucleare di ricerca TAPIRO (TAratura Pila Rapida a potenza zero) è una sorgente di neutroni veloci. Può fornire una vasta gamma di spettri neutronici e può, pertanto, essere utilizzato in molti settori per: la validazione dei codici di calcolo di nocciolo impiegati nella progettazione dei reattori di IV Generazione; lo studio del danneggiamento dovuto a neutroni veloci; la sperimentazione per la produzione di dati nucleari; la valutazione del danno indotto da neutroni su componentistica esposta a campi neutronici; la qualificazione di catene di rivelazione innovative; supporto didattico nei corsi di Ingegneria Nucleare. Potenziali utenti: università ed enti di ricerca del settore nucleare e medico, industrie coinvolte nella realizzazione di componenti nel settore nucleare. Il progetto del reattore è stato realizzato dall'ENEA ed è basato, come concezione generale, sull'AFRS (Argonne Fast Source Reactor - Idaho Falls). Il reattore ha raggiunto la sua prima criticità nel 1971 ed è stato utilizzato per l'analisi in attivazione neutronica, il danneggiamento da neutroni veloci, lo studio degli effetti biologici dei neutroni veloci, epitemici e termici ecc.

Tra le attività realizzate di recente, si ricordano:

- lo studio del danneggiamento indotto da neutroni veloci su alcuni dispositivi del *Large Hadron Collider* (CERN LHC) come i rivelatori *Monitored Drift Tubes* (MDT) dello spettrometro di muoni di ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*) e gli *Avalanche Photodiodes* (APD) del calorimetro elettromagnetico CSM (*Compact Muon Solenoid*);
- lo studio dell'influenza di campo neutronico veloce su dispositivi elettronici utilizzati per l'aerospazio;
- BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*) e, in generale, lo studio degli effetti delle radiazioni neutroniche su cellule cancerogene.

Il reattore sarà impegnato in futuro in:

- test per la determinazione della suscettività dei dispositivi a semiconduttori in seguito alla degradazione dovuta a neutroni veloci (qualificazione di dispositivi elettronici);
- esperienze per la validazione dei codici neutronici per lo studio di sistemi nucleari caratterizzati da un elevato grado di eterogeneità come nel caso dei sistemi HTGR (*High Temperature Gas-cooled Reactor*);
- attività didattiche nel campo delle tecnologie e dell'ingegneria nucleare;
- test e irraggiamento di materiali.

SCHEDA 2

## Reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1

A cura di Rocco Bove



**Figura 7**  
Reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1  
Fonte: archivio ENEA

### Caratteristiche principali

- potenza massima: 1 MW
- flusso neutronico max:  $2,7 \cdot 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  @ 1 MW
- raffreddamento ad acqua in circolazione naturale
- facilities di irraggiamento:
  - 1 canale centrale
  - 40 postazioni in rastrelliera girevole
  - 1 colonna termica
  - 1 fascio di neutroni collimati
  - 5 canali orizzontali di estrazione di neutroni

Il reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1 (*Training, Research, Isotopes, General Atomics - Reattore Casaccia 1*) è una sorgente di neutroni termici che può essere utilizzata per: radiografia e tomografia con neutroni; produzione di radio farmaci; irraggiamento neutronico di materiali; qualificazione di rivelatori di neutroni; supporto alla didattica dei corsi di Ingegneria Nucleare.

Potenziali utenti: università ed enti di ricerca del settore industriale e medico, produttori di reattori e componenti nucleari, organi della Magistratura.

TRIGA RC-1 è stato realizzato nel 1960 nella versione a 100 kW nell'ambito dell'iniziativa USA Atoms for Peace e portato nel 1963 alla potenza di 1 MW su progetto ENEA.

È un reattore termico a piscina, con il nocciolo sistemato all'interno di un riflettore cilindrico di grafite, sul fondo di un contenitore di alluminio. Tale contenitore è riempito con acqua demineralizzata che funge da moderatore, mezzo refrigerante e schermo biologico.

Il combustibile è costituito da elementi cilindrici in lega ternaria di Zr, H e U arricchito in U-235 al 19,9%. Di conseguenza, la moderazione non è affidata soltanto all'acqua di refrigerazione, ma anche all'idruro di zirconio della lega, responsabile dell'elevato coefficiente negativo pronto di temperatura.

L'asportazione della potenza termica prodotta dal nocciolo viene effettuata per circolazione naturale

di acqua. L'acqua della piscina, a cui tale potenza viene ceduta, viene mantenuta a temperatura costante per mezzo di un apposito circuito di raffreddamento munito di scambiatori di calore e di torri di refrigerazione.

Il reattore TRIGA trova applicazioni in tutti quei settori della ricerca applicata nei quali si renda necessario l'utilizzo di una sorgente intensa di neutroni. In particolare:

- analisi per attivazione neutronica per la determinazione di elementi in tracce e in ultratracce in campioni provenienti dal mondo della ricerca, dell'industria, della medicina, dell'arte, nel settore forense (perizie) ecc.;
- radiografia e tomografia a neutroni per lo studio in vari settori dell'industria (aerospaziale, automobilistica, petrolifera ecc.) nel campo delle analisi non distruttive (corrosione, analisi strutturale ecc.), associata e complementare alla radiografia x;
- indagini nel campo della conservazione del patrimonio artistico (indagini su dipinti e reperti archeologici, analisi strutturale di statue e manufatti ecc.);
- studi di diffrazione e di spettrometria a neutroni (ricerca di base nel campo della struttura della materia);
- produzione di radioisotopi per la diagnostica industriale;
- produzione di radioisotopi per la diagnostica (Fluoro 18 per la PET) e la terapia medica con studi su radiofarmaci non commerciali e di nuova generazione e sviluppo di protocolli innovativi di cura (alcuni già brevettati e in uso);
- calibrazione di rivelatori per neutroni;
- *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT);
- valutazione del danno da radiazione su componenti elettronici nel campo della protezione di apparati in ambienti ostili;
- dosimetria;
- studi di ricerca di base nel campo delle reazioni nucleari a bassa energia nella materia condensata;
- autoradiografia per conto dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (rigenerazione fotografie antiche);
- training e attività didattica in collaborazione con università (tesi, corsi, master e formazione); lezioni di complemento e approfondimento per i corsi di laurea in ingegneria e in fisica (esercitazioni in prove nucleari, attività storicamente svolta sul TRIGA);
- produzione di Tecnezio 99 per il mercato europeo, fortemente limitata dalla prossima messa in manutenzione del principale impianto che attualmente lo produce;
- prove in appoggio ai sistemi *Accelerator-Driven Systems* (ADS).

## Il miglioramento genetico del grano duro in Casaccia

### Il caso Creso

Luigi Rossi

Presidente della Federazione Italiana Dottori in Scienze Agrarie e Forestali

Già Direttore del Dipartimento Biotecnologie, Agroindustria e Protezione della Salute dell'ENEA

*La varietà di grano duro Creso ha determinato una vera e propria rivoluzione cerealicola in Italia. Nata presso il Centro Ricerche del CNEN (ora ENEA) della Casaccia grazie alle conoscenze sugli effetti delle radiazioni sulle piante, fu ottenuta irradiando con raggi X la varietà Cappelli e, iscritta nel 1974 nel Registro Nazionale delle varietà di grano duro, in pochi anni diventò la varietà più coltivata in Italia*

## Genetic Improvement of Durum Wheat in Casaccia. The Creso Case

*The Creso durum wheat variety brought about a real cereal revolution in Italy. Selected at the former CNEN (now ENEA) Casaccia Research Centre, thanks to the knowledge on the radiation effects on plants, it was obtained by irradiating the Cappelli wheat variety with X rays. In 1974 it was then released in the National Register of durum wheat varieties and in a few years it became the most cultivated variety in Italy*



A seguito della *Conferenza di Ginevra Peaceful Uses of Atomic Energy* del 1955, il Prof. G.T. Scarscia Mugnozza, che aveva partecipato alla Conferenza in qualità di consigliere tecnico della delegazione italiana, scrisse un articolo su *“La Ricerca Scientifica”* (Anno 26°, n. 1, 1956) in cui indicava 4 linee di ricerca interessanti per l'agricoltura italiana:

- *“l’induzione di mutazioni nel migliorare le colture agrarie”;*
- *“un nuovo mezzo di lotta biologica ... la tecnica degli insetti sterilizzati con irradiazione gamma”;*
- *“l’applicazione del metodo dei radioisotopi allo studio delle relazioni terreno-fertilizzanti-pianta”;*
- *“l’irradiazione degli alimenti al fine di assicurarne la conservazione”.*

Tali linee si svilupparono molto rapidamente nel Laboratorio Applicazione delle Radiazioni in Agricoltura del *Centro Ricerche Casaccia del CNEN* (ora ENEA), costruito alla fine degli anni 50, e hanno rappresentato un filo conduttore per le attività del Centro nel corso degli anni. In particolare, l'attività di ricerca scientifica relativa all'induzione di mutazioni di interesse agrario, nata con la radiogenetica, si è espansa con il miglioramento genetico ed evoluta attraverso le colture in vitro e l'ingegneria genetica fino alle attuali scienze omiche applicate alle piante di interesse agrario.

L'azione mutagenica dei raggi X era stata scoperta negli anni 1927 e 1928 e una folta schiera di genetisti aveva studiato l'effetto mutagenico di agenti fisici e, successivamente, anche chimici, su diversi organismi mutanti, tra cui molte piante superiori. È risultata chiara molto presto la possibilità di indurre, anche in queste ultime, modificazioni ereditarie del patrimonio genetico e di ottenere in tal modo un ampliamento talvolta prezioso della variabilità già esistente in natura

in virtù dei processi di mutazione spontanea, ibridazione e ricombinazione. Furono così considerati gli aspetti e le possibilità di effettiva utilizzazione della mutagenesi nel miglioramento genetico. (D. Bagnara, *Genetica Agraria*, 1971).

Numerosi problemi relativi alla scelta dei mutageni, dosi, tecniche e modalità di trattamento, nonché di isolamento e selezione delle mutazioni indotte, sono stati affrontati e risolti. Tra i vari tipi di radiazione ionizzanti usati, si ricordano i raggi X, pericolosi per l'operatore e penetranti nei tessuti trattati; i raggi gamma, simili ai precedenti ma più penetranti; i neutroni (veloci, lenti e termici), ottenibili nei reattori e acceleratori, molto pericolosi e molto penetranti; i raggi beta, i raggi alfa. I più noti mutageni chimici utilizzati sono le mostarde solforate (es. etil 2 cloroetil solfuro), le mostarde azotate (es. 2 cloroetil dimetilamina), le etilene imine, i sulfonati e i nitroso composti.

La loro azione è influenzata da tutti quei fattori biochimici ed ambientali che interagiscono con essa. Nel caso delle radiazioni ionizzanti sono: volume nucleare, contenuto in acqua, contenuto in ossigeno e in anidride carbonica dell'atmosfera, stadio di sviluppo dei tessuti ecc.

Nel caso dei mutageni chimici devono essere considerati soprattutto: pre-immersione dei semi, pH della soluzione mutagenica, addizione di ioni metallici quali  $Zn^{++}$  e  $Cu^{++}$ , uso di carriers che facilitino la penetrazione attraverso le membrane biologiche ecc.

Negli anni 50 e 60 molti esperimenti furono condotti in vari paesi per individuare i mutageni più efficaci ed efficienti. Nel Centro Ricerche della Casaccia fin dal 1958 si erano sviluppati studi per l'acquisizione di conoscenze sugli effetti delle radiazioni sulle piante ai vari livelli: dal morfologico al cromosomico, dal genetico al biochimico; e si erano pertanto sviluppate competenze di radiobiologia, radiogenetica, mutagenesi e genetica



**Figura 1**  
 Campo gamma nel Centro Ricerche Casaccia  
 Fonte: archivio ENEA

**NB:** Gli esperimenti, dapprima volti a conoscere la radiosensibilità delle piante, furono ben presto indirizzati allo studio degli effetti genetici delle radiazioni (Radiogenetica), e poi a determinare mutazioni utili nelle piante agrarie (Mutagenesi)

agraria. Gli studi erano iniziati su grano duro e grano tenero, estesi poi ad orzo, pisello, pomodoro, peperone, pesco, ciliegio, olivo, vite, agrumi, piante da fiore ecc.

Nel caso del grano duro si osservò l'alta frequenza di mutazioni clorofilliane a seguito di trattamento con neutroni e con EMS (Etil-metil-sulfonato) e l'alta frequenza di mutanti morfologici indotta da neutroni veloci e termici a seconda delle varietà utilizzate. Si affermò tuttavia che ogni generalizzazione appariva difficoltosa e incauta, essendo evidente la diversità di risultati a seconda del tipo di mutazione considerato e del genotipo sottoposto a trattamento, pur considerando cultivar nell'ambito dello stesso livello di ploidia e probabilmente diploidizzate in eguale misura.

I trattamenti mutageni possono essere applicati all'intera pianta o a parti ben definite di essa, così come a cellule e tessuti in colture in vitro. Grande è tuttavia la differenza tra le parti di una stessa pianta sia per la maggiore o minore difficoltà di trattamento, sia per quanto concerne la radiosensibilità di tessuti e organi.

Il trattamento all'intera pianta veniva eseguito nel *Campo gamma*. Una vasta area circolare, circondata da un argine di protezione, con al centro una sorgente di Cobalto 60 normalmente inter-

rata. Per effettuare gli irraggiamenti la sorgente veniva alzata, ovviamente a distanza, e le radiazioni si diffondevano orizzontalmente su tutto il campo gamma, nel quale erano collocate le varie piante da irraggiare, con dosi di radiazioni programmate sulla base della distanza dalla sorgente e del tempo di irraggiamento.

Il trattamento del polline, dei gameti e degli zigoti, cioè di stadi unicellulari, presenta vantaggi analoghi, cioè la possibilità di ottenere piante mutate non chimeriche, ossia con settori mutati e altri non mutati.

La dose o concentrazione del mutageno viene scelta sulla base degli effetti rilevabili nella generazione M1 (piante ottenute dal seme trattato); a dosi più elevate corrispondono, in linea generale, una minor sopravvivenza ed un maggior danno in M1, nonché una maggior frequenza di mutazioni. Poiché la grande maggioranza delle mutazioni indotte si comporta come recessiva, è di norma in M2, cioè nella prima generazione segregante, che una parte almeno delle mutazioni stesse si rende fenotipicamente manifesta.

In questa sede non si intende approfondire i vari tipi di mutazioni ottenibili (genomiche, cromosomiche, geniche, extranucleari), quelle fenotipicamente rilevabili (clorofilliane, morfologiche), né la loro analisi genetica e citogenetica, ma sol-

tanto sottolineare lo straordinario lavoro di ricerca scientifica di base perseguito intorno alla mutagenesi negli anni 50-70, in equilibrio con la ricerca applicata che fornisse risultati di interesse economico e sociale.

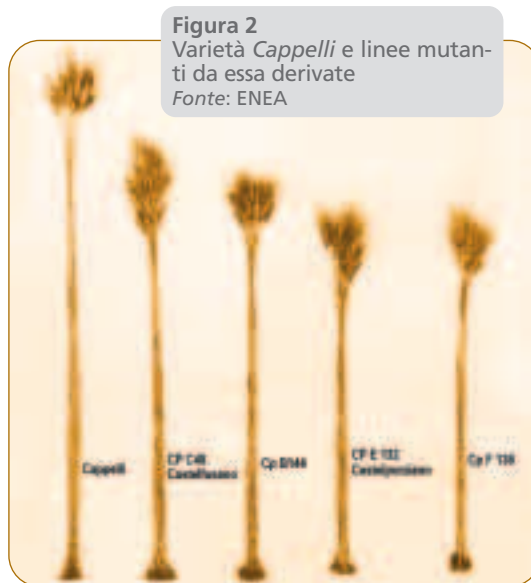
## Il miglioramento genetico del grano duro

La scelta del grano duro non era stata casuale. Particolare impegno fu dedicato a tale specie per una duplice motivazione: una di carattere scientifico, in quanto pianta poliploide e quindi interessante per studi di mutagenesi; l'altra di carattere pratico, in quanto pianta mediterranea, fino a quel momento trascurata dal miglioramento genetico.

Negli anni 1965-70 il fabbisogno annuo di grano duro nei paesi della CEE di allora si aggirava sui 40 milioni di quintali. Il 50% di tale fabbisogno era soddisfatto con la produzione interna, il 30% importato soprattutto da Canada, USA e Argentina, il 20% costituito da grano di frumento tenero. La produzione italiana era intorno ai 17 milioni di quintali, con una produttività media di 12 quintali per ettaro. Le previsioni indicavano per il 1975 un fabbisogno per la CEE di 50 milioni di quintali. La produzione interna veniva pertanto incentivata con una integrazione significativa. Il prezzo del grano duro pagato all'agricoltore era di circa 10.000 lire al quintale (lire 6.900 + lire 2.172 di integrazione) contro le 7.000 lire al quintale del grano tenero.

La coltivazione di tale grano in Italia era limitata sostanzialmente alle aree meridionali, in particolare Sicilia e Puglia, ed era sinonimo di ambiente agro-pedo-climatico povero, produttività bassa con forti oscillazioni annuali. Le sementi utilizzate dagli agricoltori per oltre il 90% non erano certificate.

Fino agli anni 60 tutte le varietà di grano duro erano caratterizzate da una taglia molto alta, 140-180 cm, che le rendeva fortemente soggette agli allettamenti, cioè al ripiegamento della pianta fino a terra, che arrecava gravissimi



**Figura 2**  
Varietà *Cappelli* e linee mutanti da essa derivate  
Fonte: ENEA

danni alla coltura, sia in termini quantitativi che qualitativi.

Per superare tale grave problema, che non consentiva di adottare alcuna innovazione (l'uso dei fertilizzanti azotati aumentava notevolmente il rischio di allettamento!), si erano ricercate possibili fonti genetiche di bassa taglia nelle varie collezioni mondiali, oppure tentato di abbassare la taglia delle singole varietà incrociandole con quelle di grano tenero, con una riduzione della qualità pastificatoria.

Con la mutagenesi fu possibile selezionare molti mutanti a taglia bassa e con caratteristiche agronomiche assai positive. Alcuni furono iscritti nel Registro Nazionale delle Varietà: Castelfusano e Castelporziano, entrambi selezionati tra i mutanti del Cappelli, furono iscritti nel 1969. Essi rappresentano le prime varietà di grano duro a taglia significativamente ridotta ad essere coltivate, ed erano resistenti all'allettamento e consentivano anche di applicare con successo le concimazioni azotate. Furono i primi grani duri ad essere coltivati anche nei terreni fertili.

Per migliorare le caratteristiche dei mutanti e per trasferire i "caratteri mutati" in nuove varietà, fu realizzato un ampio programma di incroci, con successive selezioni genetiche per caratteristiche di interesse agronomico (resistenza all'alletta-

mento, precocità, resistenza alle malattie, produttività) e per caratteristiche qualitative della granella (peso ettolitrico, proteine, capacità pastificatoria).

### Il Creso: un esempio di innovazione nel sistema agroalimentare

Tra le nuove linee selezionate apparve subito emergere la linea FB55, con piante basse e vigorose, spighe molto fertili, resistente alle malattie e in particolare alle ruggini. Fu iscritta con il nome Creso. Selezionata nei laboratori del Centro della Cassaccia da un incrocio fra un grano mutante (B144) radio indotto dal Cappelli e una linea del Centro Internacional de Mejoramiento de Maize & Trigo, si rivelò ben presto di grande interesse agronomico e industriale per l'elevata produttività in campo e la buona qualità di pastificazione.

Iscritta nel 1974 nel Registro Nazionale delle varietà di grano duro, in pochi anni diventò la varietà più coltivata in Italia (già nel 1982 rappresentava il 60% della semente di grano duro certificata) facendo raddoppiare la produzione italiana di grano duro a parità di superficie. La varietà incontrò subito il favore degli agricoltori più preparati che, impiegando moderne tecniche agronomiche di coltivazione, raggiunsero in Italia centrali produzioni uguali o superiori a quelle del frumento tenero. L'agricoltore fu favorevolmente impressionato dall'aspetto della granella di Creso, dalla adattabilità di tale varietà e dalla positiva risposta ad ogni miglioramento della tecnica colturale.

Le industrie di trasformazione (mugnai e pastai) accettarono e apprezzarono la qualità tecnologica del prodotto che risultò assai elevata sia per le caratteristiche genetiche sia per le migliorate tecniche colturali. Il Creso si diffuse rapidamente in tutta l'Italia Centrale (Lazio, Toscana e Marche in particolare), nelle zone Adriatiche del Nord a clima non rigidamente continentale e nel Mezzogiorno. Secondo i dati Istat, la superficie coltivata a Creso è passata da poche decine di ettari nel 1973 a 77.000 ettari nel 1976, a oltre

400.000 ha nel 1982. Nel 1983 il Creso era coltivato su 26.971 ha in Emilia Romagna, 31.573 ha in Toscana, 81.782 ha nelle Marche, 46.538 ha nel Lazio, 38.754 nelle Puglie, 22.900 ha in Basilicata, 22.118 in Calabria, 60.000 ha in Sicilia, 9.739 ha in Sardegna, 9.299 ha in Campania, 16.300 ha in Molise, 11.949 ha in Abruzzi, 3.810 in Umbria, 755 ha in Veneto, 788 ha in Lombardia, e anche 8 ha in Friuli Venezia Giulia. Per meglio comprendere la rapida ed eccezionale diffusione del Creso si può evidenziare che tale varietà, iscritta nel 1974, aveva già raggiunto nel 1984 il 58,3% di tutto il seme certificato di grano duro in Italia. È importante sottolineare che mentre all'inizio degli anni 70 la percentuale di seme certificato, sul totale di quello impiegato per la semina, non superava il 15%, nel 1983 tale percentuale raggiungeva il 29%. Una eccezionale azione di promozione sul settore sementiero era stata pertanto esercitata dal Creso che nel 1983 registrava un quantitativo di ben 578.613 quintali di semente certificata dall'ENSE (Ente Nazionale Sementi Elette).

La promozione del settore sementiero è la chiave di volta per il passaggio da una coltura povera e primitiva a una coltura ricca e moderna ed è espressione di un sistema produttivo efficiente e capace di gestire anche altre innovazioni genetiche.

L'utilizzo della varietà Creso, accompagnato da una sempre più appropriata tecnica colturale, ha significato per l'agricoltore evidenti benefici economici in qualche modo calcolabili. Non è certo facile valutare l'impatto di una innovazione, specialmente se agronomica, in termini economici. Tuttavia il contributo dovuto all'introduzione di una nuova varietà risulta forse più chiaramente definibile di quello di altri fattori (fertilizzanti, erbicidi, fitofarmaci, lavorazione del terreno). Ciò anche perché, una volta noti le superfici coperte, le produzioni ottenute e il prezzo del prodotto finito, le conclusioni sono rapportabili a semplici operazioni aritmetiche. Da uno studio effettuato dall'ENEA sulla base di dati ufficiali, pubblicati da organismi preposti al rilevamento (ISTAT



e IRVAM) e sulla base di dati forniti da industrie sementiere si constata che dal 1973 al 1982, in soli dieci anni, il grano Creso passa in percentuale da 0% a oltre il 25% di tutta la superficie a grano duro in Italia.

La produzione totale ha raggiunto nel 1983 circa 15 milioni di quintali. Il valore in moneta corrente ha superato i 500 miliardi di lire nel 1982 e i 600 miliardi nel 1983. La stima dell'incremento di produzione dovuta alle intrinseche caratteristiche di maggior produttività del Creso rispetto alle varietà preesistenti, è passata dai 600 mila quintali del 1976 ai 3,7 milioni di quintali del 1984.

Poiché il Creso ha sostituito il grano tenero in molte aree del Centro-Nord, l'incremento globale in produzione nazionale di frumento duro è stato ben maggiore e tale da annullare, a quel tempo, il grosso deficit dell'Italia per tale prodotto. Complessivamente gli agricoltori italiani hanno prodotto nei primi dieci anni di diffusione circa 100 milioni di quintali di granella di Creso. L'incremento in produzione lorda vendibile supera nel 1982 e 1983 i 100 miliardi annui.

L'ENEA quale Ente costitutore della suddetta varietà, incassa le *royalties* dalle industrie sementiere concessionarie; nel 1983 tale introito è stato di 130 milioni di lire. Fino al 1982 l'ENEA ha incassato complessivamente 180 milioni di lire di *royalties*. Si tratta di una cifra significativa, pure irrisoria rispetto sia al quantitativo certificato e commercializzato (578.613 quintali nel solo 1983), sia ai benefici economici diretti e indiretti determinati in Italia.

Se il Creso è avvantaggiato dall'adozione di moderne tecniche agronomiche, si può altresì aggiungere che esso ha agito come veicolo di promozione tecnologica (e non solo tecnologica) presso le aziende agrarie, le Società sementiere e le industrie di trasformazione. In quegli anni, nei paesi della CEE la produzione di grano duro si aggirava sui 45 milioni di quintali con una punta di 60 milioni nel 1984. In tale anno le favorevoli condizioni climatiche determinarono una produzione eccezionale anche in Italia (46 milioni di quintali).

Si può pertanto affermare che il Creso rappresenta il frutto di una intima connessione tra ricerca scientifica e apparato produttivo. Stimolata da quest'ultimo, infatti, l'innovazione si è realizzata per merito delle ricerche in un Centro di alto livello scientifico.

Grazie al fenomeno Creso si è potuto provare come l'innovazione genetica costituisca un fattore estremamente importante di sviluppo e promozione del sistema agro-industriale, il quale ha dimostrato in tale occasione buone capacità di gestire l'innovazione quando essa è valida e richiesta dal mercato, pur in presenza di carenze strutturali e organizzative. Di queste, anzi, l'innovazione può funzionare da "sistema di rilevamento", ma può anche, come sperabile, suggerire le vie e le azioni più idonee al loro superamento. (L. Rossi, *Un esempio di innovazione in agricoltura: il grano Creso. Riv. Energia e Innovazione. ENEA, 1984*).

Ancora oggi, dopo oltre 30 anni dalla sua registrazione, il Creso è coltivato nel nostro Paese su un'area superiore al 20% della superficie totale a grano duro. Il Creso è stato utilizzato nei programmi di miglioramento genetico del grano duro anche in molti paesi, dalla Cina all'Australia, all'Argentina, agli USA, al Canada e presso i grandi Centri di Ricerca Internazionali (CIMMYT, ICARDA, CSIRO ecc.). È impossibile enumerare tutte le varietà di grano duro che sono derivate dal Creso; è certo che buona parte della relativa produzione mondiale è ottenuta con varietà da esso derivate.

## Conclusioni

La varietà Creso è stata determinante per una vera e propria rivoluzione cerealicola in Italia, che ha fatto crescere tutta la coltura del grano duro. Da sinonimo di povertà economica, agronomica, varietale, quella del grano duro è diventata una coltura ad alta tecnologia: seme certificato, tecniche agronomiche accurate; l'industria molitoria e quella pastaria sono diventate le prime del mondo.

La tecnologia, sempre più sviluppata e ampliata, ha richiamato nuova tecnologia, inclusa quella organizzativa, determinando il successo di una coltura, di una filiera, di una economia. E la pasta è rimasta un prodotto tipico, anzi si è affermata come prodotto tipico, piatto tipico italiano. Senza la ricerca e l'innovazione, la competitività del grano duro nei confronti di quello tenero sarebbe venuta meno. E anche il prodotto tipico pasta di solo grano duro, sarebbe rimasto una nicchia nel mercato globale.

Il Creso ha dimostrato che anche i prodotti tipici si avvalgono con successo del contributo della ricerca e dell'innovazione. L'Italia è un grande mercato di tecnologie, in gran parte importate. Sui prodotti tipici dobbiamo sviluppare ricerca e innovazione tecnologica; non possiamo illuderci di acquistare fuori le tecnologie adatte a dare competitività ai prodotti del nostro Paese.

A fronte dei vantaggi ottenuti dalla varietà Creso occorre considerare che essa, come tutte quelle a taglia bassa ed alta produttività, richiede diserbanti, concimi chimici, tecniche colturali moderne, e rappresenta un esempio di forte intensificazione colturale: il Creso è paragonabile ad una *Ferrari* che per esprimersi in tutta la sua potenzialità richiede una pista di Formula Uno. In un virtuale confronto la tradizionale varietà Cappelli, da cui il Creso è derivato, è paragonabile ad una *jeep* che può viaggiare su strade di ogni genere.

Il caso del grano, il cui miglioramento è stato avviato sulla base di una concezione *technology intensive*, ci fa rendere conto come, anche in relazione alle problematiche ambientali, si sia resa necessaria una evoluzione verso una concezione di tipo *knowledge intensive*, comprensiva di molti altri aspetti, oltre a quello agronomico.

All'agricoltura oggi si richiede di soddisfare le

esigenze alimentari primarie, di accontentare le sempre crescenti e diversificate aspettative del moderno consumatore, di adottare le più avanzate tecnologie e di garantire, nel contempo, la sostenibilità ambientale, nonchè di essere competitiva sul mercato globale! A chi opera in agricoltura si chiede una responsabilità specifica riguardo alla produzione e alla fornitura di cibo sano e di qualità, la salute e il benessere di uomini e animali, la conservazione della natura e delle risorse naturali primarie (acqua, suolo, risorsa biologica). La scienza e la saggezza devono essere il supporto dello sviluppo di tutto ciò, per soddisfare il fabbisogno di cibo delle generazioni presenti e future.

E la mutagenesi? La tradizionale mutagenesi, in cui vengono indotte mutazioni in modo casuale, ha consentito di ampliare la biodiversità naturale, di accumulare una serie di dati utili per conoscere la genetica delle piante e la loro naturale evoluzione. Essa ha portato alla costituzione di almeno 2.000 varietà coltivate nel mondo. Tale mutagenesi è tuttora riconosciuta come strumento prezioso per aumentare la variabilità genetica di una specie e per conseguire specifici obiettivi di miglioramento genetico.

Con le nuove tecniche di biologia molecolare, già dal 1978, è stato possibile "creare" una mutazione in modo selettivo, in un particolare sito di una molecola di DNA, solitamente un plasmide. Questa tecnica, denominata di *mutagenesi sito diretta*, ha acquistato un ruolo di tale importanza nella biologia molecolare e nella biochimica che Michael Smith, il suo ideatore, divise il premio Nobel per la chimica nell'ottobre 1993 con Kary B. Mullis, l'inventore della PCR (*Polymerase Chain Reaction*). Era incominciata la genomica a cui si sono poi affiancate le altre scienze omiche!

## Nucleare e ingegneria civile

### Le competenze ingegneristico-civili nelle attività nucleari

Giuseppe Pino<sup>1</sup>  
Alberto Taglioni<sup>2</sup>

1. ISPRA, Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale
2. ENEA, Unità Tecnica Metodi per la Sicurezza dei Reattori e del Ciclo del Combustibile

*I principali aspetti ingegneristico-civili connessi alle attività nucleari sono relativi alle fasi di localizzazione, progettazione, costruzione, esercizio e dismissione delle installazioni necessarie. Le problematiche che l'ingegneria civile affronta in campo nucleare sono strettamente legate al contesto ambientale ed antropico; è necessario quindi che ogni risorsa, umana ed organizzativa ad essa afferente, possieda il più alto grado di qualificazione e affidabilità, e venga coordinata in modo ottimale*

## Nuclear Energy and Civil Engineering in Nuclear Activities

*The main aspects of civil engineering associated with nuclear activities are related to siting, design, building, running and dismission of the required facilities. The issues that civil engineering is faced with in the nuclear field are strictly connected with the environmental and anthropic contexts. Therefore every human and organizational resource related to it needs to be provided with the utmost grade of qualification and reliability and to be optimally coordinated*

Nell'imminenza delle decisioni governative prope-  
deutiche la ripresa della produzione di energia elet-  
tronucleare e delle attività ad essa connesse, nel  
nostro paese è necessaria una verifica delle compe-  
tenze tecnico-scientifiche, professionali e industria-  
li tuttora esistenti in questo settore.

Competenze di questo tipo erano numerose fino  
alla fine degli anni 80, quando, in seguito all'inci-  
dente di Chernobyl e al successivo referendum, fu  
deciso l'abbandono di ogni attività volta alla produ-  
zione energetica di origine nucleare. E anche se le  
attività nucleari nel territorio italiano non si sono  
completamente arrestate, dovendosi procedere  
allo smantellamento degli impianti dismessi, car-  
atterizzati dalla presenza di materiali radioattivi,  
e alla sistemazione di questi in un apposito im-  
pianto di smaltimento, e pur non mancando com-  
messe estere, quelle competenze hanno da allo-  
ra subito una forte riduzione.

Il ridimensionamento degli obiettivi ha infatti pro-  
dotto una riallocazione di molte risorse, con la lo-  
ro conseguente riconversione, ed inoltre si è do-  
vuto registrare un progressivo calo di iscrizioni al-  
le facoltà di Ingegneria nucleare e fisica nucleare.  
Stessa sorte è toccata anche a quelle competen-  
ze di tipo convenzionale (civile, industriale e ge-  
stionale), specificatamente indirizzate alle applica-  
zioni in campo nucleare, che rappresentavano un  
patrimonio prezioso, la cui costituzione fu stimola-  
ta a partire dai primi anni 60 dai programmi di co-  
struzione di centrali nucleari, e oggi in via di esa-  
urimento.

Queste competenze altamente specializzate, per  
la maggior parte svolgevano la loro attività nell'in-  
dustria realizzativa (Ansaldo, Belleli, Breda, Fabbri-  
cazioni Nucleari, Nucleco, Eni ecc.), nel campo del-  
la ricerca (CNEN, ora ENEA), nell'esercizio degli im-  
pianti (ENEL) e nei processi autorizzativi (CNEN-DI-  
SP, ora ISPRA), ma anche studi professionali e im-  
prese di costruzione avevano acquisito la specifi-  
ca cultura.

In particolare, gli aspetti ingegneristico-civili ad es-  
sa afferenti possedevano un alto contenuto tec-  
nico-scientifico, come testimonia la significatività  
delle opere civili delle principali installazioni nu-  
cleari a suo tempo realizzate.

Oltre a quelle, avveniristiche per l'epoca, dei com-

pletati impianti di Trino (VC), Latina, Garigliano  
(CE) e Caorso (PC), si citano quelle di impianti mai  
entrati in funzione, come la Centrale Alto Lazio di  
Montalto di Castro e il Reattore sperimentale CIRE-  
NE, nei pressi di Latina.

Analogamente vanno anche ricordati gli impor-  
tanti studi strutturali svolti dall'ENEL nella redazio-  
ne del PUN (Progetto Unificato Nucleare) e, in tem-  
pi più recenti, dall'ENEA nel progetto concettua-  
le del Deposito nazionale per i rifiuti radioattivi,  
ora sviluppato da SOGIN.

Attualmente, e parallelamente agli studi su reat-  
tori innovativi, è attiva la ricerca volta all'introduzio-  
ne nei nuovi impianti delle tecniche di isolamen-  
to sismico, che si stanno diffondendo esponen-  
zialmente in campo convenzionale: l'argomento  
è di strategica importanza, e l'ENEA, le cui risor-  
se sono coinvolte nei programmi internazionali,  
costituisce il riferimento italiano.

Ritenendo opportuna un'evidenziazione del ruo-  
lo che l'ingegneria civile ha ricoperto e dovrà rico-  
prire ai fini della causa nucleare, viene fatta una  
sintetica esposizione delle tematiche tecniche che  
essa abbraccia, e che rappresentano la più stret-  
ta interfaccia con il contesto ambientale al con-  
torno, che oggi più che mai ha assunto una va-  
lenza decisiva.

### L'oggetto delle competenze civili

In un'attività nucleare, il decisivo apporto dell'in-  
gegneria civile si manifesta già nella preliminare  
fase di *siting*, vale a dire nel processo per la localiz-  
zazione delle installazioni necessarie, ove per ogni  
aspetto ambientale (in particolare quello sismo-  
tettonico) ed antropico di un sito devono essere  
individuate primariamente ed esaustivamente tut-  
te le possibili ricadute a livello di progetto struttu-  
rale; successivamente le specifiche competenze  
non solo intervengono nella progettazione e rea-  
lizzazione impiantistica, ma sono proiettate nel-  
l'intero orizzonte temporale delle opere, fino a so-  
vraintenderne la dismissione e l'eventuale sman-  
tellamento strutturale.

In quanto segue, l'impianto nucleare viene posto  
al centro della trattazione, pur non esaurendosi le  
succitate competenze nella sua mera implementa-



**Tabella 1 – Coinvolgimento delle competenze ingegneristico-civili nelle fasi previste dall'iter approvativo dell'ENEA-DISP di una centrale nucleare**

<b>Fase operativa operativa esercente</b>	<b>Attività ingegneristico-civili (consulenti, fornitori)</b>	<b>Azioni dell'organo di controllo (*)</b>	<b>Atti approvativi e autorizzativi (*)</b>
Localizzazione	Studi di idoneità del sito	Emissione di linee guida	Nulla osta a progettazione
Progettazione di massima	Metodologie di analisi e verifica	Emissione linee guida	Approvazione progetti particolareggiati
	Fattibilità strutturale	Attività istruttoria	
Progettazione esecutiva	Calcoli, verifiche, disegni	Vigilanza tecnica	Nulla osta a costruzione
Costruzione	Direzione lavori Collaudi statici	Vigilanza tecnica	Licenza di esercizio
Esercizio	Controlli, interventi, modifiche, adeguamenti	Ispezioni, prescrizioni, autorizzazioni	Rinnovi licenza di esercizio
Dismissione	Smantellamento strutturale	Vigilanza tecnica	Autorizzazioni specifiche

(\*) La costituenda Agenzia di Sicurezza Nucleare (Legge 23 luglio 2009, n. 99, art. 29) prevede un iter autorizzativo semplificato, a seguito del rilascio di "autorizzazione unica" (Decreto Legislativo 15 febbraio 2010, n. 31, art. 4)

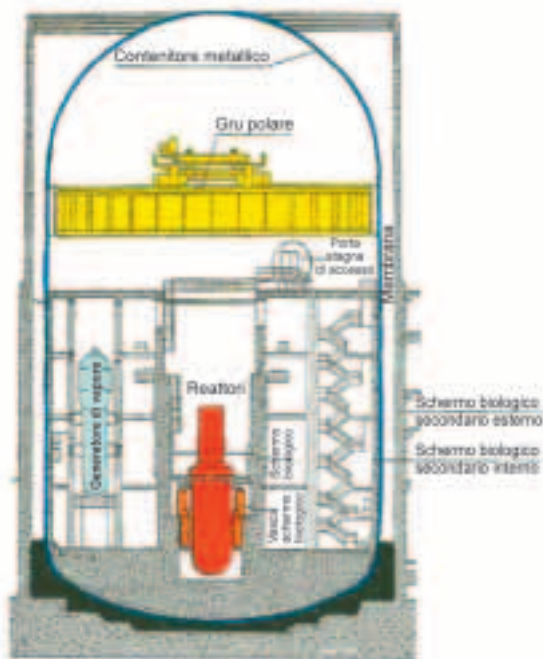
Fonte: ENEA

zione. Questa assunzione permette un'illustrazione dello "stato dell'arte" della materia nella forma più immediata: oltre agli emblematici aspetti prettamente strutturali, che includono anche la definizione del più idoneo input progettuale per la tenuta in conto dei carichi incidentali, vengono esaminate le tematiche relative ai materiali da utilizzare, alle tecnologie costruttive e manutentive, e all'architettura impiantistica, la cui ottimizzazione funzionale è alla base del successo dell'opera complessiva.

In questo senso, si ritiene inoltre che ogni rassegna su aspetti specialistici del nucleare debba possedere un costante riferimento a quella visione multidisciplinare che si rifletteva nei flussi procedurali dell'Autorità di Sicurezza Nucleare, l'ex-ENEA/DISP (vedasi *tabella 1*, nel caso più generale di una centrale nucleare), e nella sua struttura organizzativa, che finalizzava aggiornamenti e approfondimenti specialistici ad una sempre maggiore efficacia dei controlli.



**Figura 1**  
La centrale nucleare di Leibstadt (Svizzera)  
Fonte: immagine tratta da Internet



**Figura 2**  
 Schema del contenimento di un reattore nucleare  
 Fonte: immagine tratta da Internet

### Le strutture degli impianti nucleari

La definizione di “impianto nucleare” non è univoca nella letteratura tecnica, potendo essa variare in base a considerazioni di tipo operativo, progettuale/realizzativo, normativo ecc.

Può essere infatti considerato come l’insieme delle opere meramente funzionali, oppure un loro sotto-insieme che costituisca, in un certo ambito, un sistema indipendente, oppure un qualunque sistema di cui siano definibili le interfacce e i componenti.

Per quanto detto in precedenza, ai fini della presente trattazione appare opportuno definire come impianto nucleare l’insieme delle opere realizzate per lo svolgimento in sicurezza di un’attività nucleare, e focalizzare gli aspetti ingegneristico-civili esaminando le strutture destinate ad alloggiare i sistemi funzionali (Box n. 1).

Queste sono manufatti strutturali, dove apparec-

chiature di tipo “industriale” (l’insieme della parte funzionale, cioè strutture e componenti meccanici ed elettrici), si integrano, a livello di sistema, con opere massive (edifici, fondazioni, opere in terra) cui esse sono collegate.

Si può affermare che, in detto sistema, attengono all’ingegneria civile quelle opere la cui scelta tipologica e la verifica finale del dimensionamento avvengono

- tenendo conto delle sollecitazioni trasmesse da “componenti” indipendentemente progettati;
- considerandone l’effetto interattivo dinamico con questi;
- rispettando i requisiti minimali di natura radioprotettiva;

e comunque, a valle della scelta del sito ospitante. Dovranno quindi essere adeguatamente dimensionate le strutture portanti esterne ed interne (generalmente in conglomerato cementizio armato), così come i loro collegamenti con i componenti funzionali d’impianto (tramite supporti, ancoraggi metallici, alloggiamenti), ma anche ogni opera esterna avente stretta interfaccia con l’impianto, come ad esempio manufatti per il sostegno dei terreni, condotte di allontanamento delle acque, edifici ausiliari, dovrà essere progettata e realizzata con analoghe considerazioni di sicurezza.

Senza per questo perdere in generalità, in quanto segue, ci si riferirà soprattutto alle due tipologie di impianto che per la loro complessità e per il loro impatto socio-ambientale, coinvolgono in modo esaustivo tutti i peculiari contenuti tecnici richiamati e conferiscono emblematicità alla specifica applicazione ingegneristica: le centrali elettronucleari e i depositi di rifiuti radioattivi.

Non a caso, la richiesta di analisi avanzate di specifici aspetti ingegneristico-civili su questo tipo di impianti ha contribuito a importanti progressi tecnico-scientifici di portata più generale: si pensi allo sviluppo di codici strutturali, ideati per le verifiche in condizioni incidentali o estreme causate da eventi naturali, e oggi implementati nei comuni strumenti progettuali, e ai materiali usati per il condizionamento dei rifiuti radioattivi, estendibile a quello di rifiuti tossici e pericolosi.

## Box 1

## Opere civili nelle tipologie di impianto nucleare

### Le centrali di potenza

Una tipica centrale comprende principalmente:

- l'edificio di contenimento del reattore, costituito da un cilindro di calcestruzzo armato normale all'interno del quale è collocato un contenitore cilindrico in calcestruzzo armato precompresso o in acciaio di forte spessore, nel quale sono alloggiati le barre di uranio arricchito tra le quali scorre il liquido refrigerante;
- la sala macchine, ovvero un edificio dove sono alloggiati le turbine e l'alternatore con i loro circuiti ausiliari;
- gli edifici ausiliari, che contengono i sistemi e circuiti ausiliari necessari al normale funzionamento e all'emergenza;
- gli edifici di fisica sanitaria ed amministrativi;
- serbatoi, condotte idrauliche, torrioni piezometrici.

### I reattori di ricerca

Un tipico reattore di ricerca non differisce funzionalmente da quello di un impianto di potenza ma l'entità delle realizzazioni produttive e ausiliarie, esaustive per un impianto energetico, è rapportata alla potenza sviluppata (mediamente di due ordini di grandezza inferiori); molto spesso si tratta di un nocciolo immerso in una piscina con dei canali di irraggiamento verso l'esterno.

### Impianti di riprocessamento

Gli impianti di riprocessamento sono edifici ove il combustibile esaurito viene manovrato a distanza da tecnici protetti da spesse pareti di cemento, o in c.d. "scatole a guanti". All'interno vi sono una o più piscine destinate a contenere le barre del combustibile esaurito per un periodo di qualche decennio. Gli impianti sono dotati di importanti strutture meccaniche per il sollevamento e la movimentazione del materiale radioattivo.

### Depositi per rifiuti

I depositi per rifiuti radioattivi possono avere natura provvisoria o definitiva; in questo secondo caso si parla di impianti di smaltimento.

I depositi provvisori, destinati al contenimento dei rifiuti per un periodo di tempo minore di 50 anni, sono, generalmente, strutture in calcestruzzo armato, più o meno bunkerizzate, all'uopo realizzate in prossimità degli impianti ove i rifiuti sono prodotti e ridotti in forma solida in contenitori, metallici o in conglomerato cementizio, di dimensioni standardizzate, in attesa di essere avviati allo smaltimento.

La tipologia degli impianti di smaltimento varia sostanzialmente a seconda che si tratti di rifiuti "a vita breve" o "a vita lunga", con riferimento al tempo necessario alla radioattività in essi contenuta per decadere a valori trascurabili, ovvero comparabili a quelli del fondo naturale: nel primo caso, i tempi sono dell'ordine massimo di qualche secolo, altrimenti possono essere necessari valori superiori al milione di anni.

Gli impianti di smaltimento sono basati sulla applicazione del concetto multi-barriera, per cui i radionuclidi, inglobati in matrici cementizie o vetrose, sono separati dalla biosfera da una serie di barriere artificiali ridondanti (tipicamente: contenitore primario in acciaio, contenitore secondario in acciaio o calcestruzzo armato, pareti in calcestruzzo armato, rivestimenti di vario materiali) e naturali (terreno, strati rocciosi).

Per i rifiuti a vita breve, la moderna tecnologia prevede la realizzazione degli ambienti di stoccaggio in gallerie, o in strutture scatolari in calcestruzzo armato, da interrare e, successivamente, abbandonare "a perdita di memoria" dopo circa 300 anni.

Nei depositi per i rifiuti a vita lunga, lo stoccaggio avviene in profondità naturali, in zone ad alta stabilità sismotettonica e anidre, in cavità naturali o in cunicoli, ove la barriera artificiale è costituita dal solo involucro, e ogni funzione di contenimento è demandata agli spessori del mezzo geologico (ove sale, argilla e granito sono da prediligere).

## Il rischio nucleare e l'eventistica associata

Il rischio nucleare consiste essenzialmente nella probabilità che l'uomo possa essere danneggiato irreversibilmente per esposizione alle radiazioni prodotte artificialmente nel corso delle attività nucleari, o per contatto con sostanze organiche o inorganiche contaminate, ineluttabilmente rilasciate nell'ambiente. Le attività nucleari dovranno quindi essere svolte in maniera tale da minimizzare detto rilascio, e in questo senso dovranno uniformarsi tutte le scelte tecniche ad esse afferenti, a partire da quelle localizzative e di sistema, fino alle quelle impiantistiche e infrastrutturali.

Dall'inevitabilità di quello che si può definire il "residuo" di ogni attività nucleare, e informate ai principi di sicurezza (Box n. 2) discendono normative e indicazioni per tutte le adozioni progettuali, che dovranno mantenere le proprie caratteristiche a fronte di eventi naturali e no.

A tal fine si devono considerare in modo onnicomprensivo tutti gli accadimenti, voluti e non voluti, che abbiano ricaduta sulle strutture dell'impianto. Particolare importanza assumono i secondi che,



**Figura 3**  
Fasi iniziali della costruzione della centrale di Olkiluoto in Finlandia  
Fonte: immagine tratta da Internet

stante la loro natura incognita, necessitano di un'ipotesi quali-quantitativa per la loro descrizione, che si traduce in un insieme di carichi per lo più di tipo dinamico, che saranno applicati alle strutture. La definizione di questi carichi, che determinano in modo decisivo il dimensionamento delle membratu-

### Box 2

#### Principi di sicurezza per gli impianti nucleari

Per quanto concerne la scelta del sito, la progettazione, la costruzione, l'esercizio e la disattivazione degli impianti nucleari, gli Stati membri applicano i principi fondamentali dell'IAEA (Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica, *Fundamental safety principles*, IAEA Safety Standard Series No. SF-1); in particolare, per la progettazione impiantistica, ci si informa ai seguenti tre principi:

- **Principio di giustificazione:** ogni attività con radiazioni ionizzanti deve essere giustificata, ovvero il beneficio collettivo ottenuto dall'uso delle radiazioni ionizzanti deve essere superiore al detrimento sanitario dovuto al loro utilizzo.
- **Principio di ottimizzazione:** l'esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere mantenuta ai livelli più bassi possibili, compatibilmente con le condizioni economiche e sociali (principio ALARA, as low as reasonably achievable).
- **Principio di applicazione dei limiti di dose:** fatti salvi i precedenti principi, sono fissati limiti di dose per i lavoratori e la popolazione, che non devono essere superati nell'esercizio di attività con radiazioni ionizzanti.

L'impianto nel sito scelto dovrà quindi garantire che la popolazione ed i lavoratori non ricevano effetti sanitari da radiazioni superiori ai limiti stabiliti e che tali effetti siano, comunque, i più bassi ragionevolmente ottenibili in tutte le condizioni operative ed in caso di incidenti: a ciò si rifanno i requisiti di sicurezza nazionale, da cui successivamente discende l'insieme di norme e prassi che saranno utilizzate nella progettazione.





**Figura 4**  
Smantellamento di un componente e demolizione dell'edificio  
Fonte: immagine tratta da Internet

re resistenti di un impianto, avviene considerando gli effetti indotti dai seguenti eventi, qualora prescritti in base alla rilevanza dell'impianto e alla loro probabilità di verificarsi:

- evento sismico;
- fenomeni atmosferici estremi;
- innalzamento della falda freatica;
- inondazione;
- dissesti idrogeologici.

Tra le possibili evenienze sismiche, la cui entità e probabilità sono ipotizzate in base ad analisi storiche e alla conoscenza delle strutture tettoniche del sito, si definiscono, in relazione alla prestazione richiesta alle strutture:

- il terremoto di progetto, al quale tutte le strutture devono poter resistere in modo tale che il funzionamento dell'impianto possa essere interrotto e si raggiungano e mantengano le condizioni di spegnimento in condizioni di totale sicurezza (la ripresa del funzionamento sarà poi condizionata alla verifica accurata dell'integrità dei sistemi);
- il terremoto di esercizio, per il quale è richiesto che l'impianto non solo conservi le caratteristiche di sicurezza previste nel progetto, ma possa continuare il normale esercizio dopo opportuni controlli, che potrebbero non implicare l'arresto dell'impianto.

I fenomeni atmosferici maggiormente gravosi per la resistenza delle strutture sono costituiti dai più comuni (vento, neve, pioggia), ma di natura ano-

malata per il sito, e dalla tromba d'aria (o tornado), cui viene associato anche l'impatto di oggetti trasportati.

Dissesti idrogeologici e inondazioni sono considerati in fase di localizzazione, ove si tende alla massima riduzione del rischio di accadimento; sono comunque presi in conto, e opportunamente descritti, nei casi di depositi per rifiuti radioattivi, cui si richiedono prestazioni in un orizzonte temporale che trascende le conoscenze generazionali.

Talvolta è poi considerata un'altra serie di carichi, di origine antropica, definiti SEC (*Special Emergency Conditions*), di cui i più tipici sono:

- esplosione esterna, che è costituita da un'onda di pressione che investe l'impianto in caso di attentato;
- impatto di riferimento, che è costituito dall'urto di un non meglio identificato oggetto di generiche caratteristiche.

Nel caso di centrali nucleari, questi carichi stanno rispettivamente a rappresentare, anche se non esplicitamente dichiarato, un attentato terroristico e la caduta di un aereo.

Nel primo caso si tratta di dati di natura estremamente sensibile, che vengono prescritti nella preliminare fase autorizzativa, in dipendenza della causa ipotizzata; nel secondo caso, l'aeromobile che si ipotizza impattare dipende da distanza di aeroporti e rotte, e da considerazioni di protezione da azioni ostili.

In Italia, questi carichi furono quantificati in base a considerazioni di natura probabilistica; a fronte di essi dovevano essere unicamente salvaguardati la vita umana e l'arresto in sicurezza dell'impianto.

Per i depositi di rifiuti radioattivi, per i quali dopo un certo periodo di tempo si prevede la "perdita di memoria", viene considerata anche l'azione di intrusione, a seconda dei casi deliberata o no: la più gravosa è solitamente costituita dalle opere preliminari di un insediamento edilizio.

Oltre a queste evenienze, che si possono definire "esterne", vanno considerate quelle di natura interna, ovvero quelle provocate da malfunzionamenti della parte impiantistica funzionale: gli incidenti sono ordinati in una scala probabilistica, a partire dai meno "gravi" (cadute di masse non ancorate o trasportate/sollevate, cedimenti di vincoli, gradienti termici non previsti, missili costituiti da parti di componenti di apparecchiature, colpi di frusta di tubazioni) e quindi più "frequenti", a quelli estremi, ove il peggiore consiste nella perdita di liquido refrigerante, con forze di getto e gradienti termici associati.

A seconda del tipo di impianto e della natura ambientale ed antropica del sito ospitante, i succitati eventi esterni vengono catalogati come severi o eccezionali e, insieme agli eventi normali, vengono combinati con diverse situazioni funzionali, di

- funzionamento normale;
- incidente frequente;
- incidente infrequente;
- incidente limite.

in modo tale da poter inserire, in modo matriciale,

tutti i singoli carichi che competono a ciascuna situazione (condizione di carico), cui corrispondono una o più combinazioni di carico che saranno considerate nel progetto, con fattorizzazioni per lo più da assumersi secondo le indicazioni delle normative che verranno prese a riferimento.

Nelle condizioni di funzionamento normale, i carichi elementari sono sovente moltiplicati per coefficienti maggiori di 1, altrimenti ciò avviene in pochissimi casi, riflettendo con ciò un criterio probabilistico.

Di prassi, ad ogni componente strutturale (membratura, sottostruttura o anche edificio) viene assegnata una "categoria di progetto", al cui valore crescente corrisponde una aumentata gravosità degli eventi cui deve essere verificata, come si può vedere ad esempio in *tabella 2*.

## Il progetto strutturale

Le attività di progettazione strutturale, intesa nella sua più ampia accezione, si articolano nel dimensionamento di massima delle membrature resistenti, che avviene in fase di progettazione architettonica, nel recepimento delle normative, nella schematizzazione dei carichi previsti, nella scelta di metodologie e strumenti di calcolo, nella dimostrazione di fattibilità strutturale che accompagna il progetto di massima, nell'elaborazione della relazione di calcolo e nell'emissione dei documenti esecutivi, contenenti le prescrizioni su materiali e modalità di messa in opera.

Tabella 2 – Categorie di progetto ed eventistica nell'impianto Cirene

Situazione funzionale	EVENTI ESTERNI (esclusi SEC)							
	NORMALI			SEVERI			ESTREMI	
	carichi normali	vento	livello di falda	livello di falda max	vento severo	sisma OBE	tromba d'aria	sisma SSE
Funzionamento normale	I	I	I	II	II	II	IV	IV
Incidente frequente	II	II	II	III	III	III	IV	IV
Incidente infrequente	III	III	III	IV	IV	IV	n.a.	IV
Incidente limite	IV	IV	IV	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	IV

Fonte: Opere Civili Impianto Cirene - ENEA/DISP RT(85)18

### Architettura di impianto

La progettazione delle opere inizia già in fase di studio del *lay-out* d'impianto e della sistemazione dei componenti funzionali meccanici ed elettrici al suo interno.

Al proposito, è importante considerare soprattutto le forze sismiche, per minimizzare sollecitazioni e deformazioni da esse indotte: compatibilmente con le esigenze impiantistiche, deve essere abbassata il più possibile la quota dei componenti più pesanti, riducendo così l'altezza del baricentro complessivo. L'adozione generalizzata di pareti resistenti in calcestruzzo armato, consente di realizzare adeguate schermature e, al contempo, di ottenere strutture poco deformabili e quindi idonee alla resistenza sismica loro richiesta; l'introduzione, laddove possibile/necessario di pareti di taglio, consente l'assorbimento delle sollecitazioni torcenti dovute alle inevitabili dissimmetrie.

Per il dimensionamento di massima di dette membrature, devono essere tenuti in conto i valori minimi imposti dalle esigenze schermanti e dalle verifiche degli effetti locali dei missili, per le quali è indipendente la quantità di armatura.

Analogamente, per ogni altra membratura (travi, pilastri, solette, fondazioni) è indispensabile un primo dimensionamento iniziale, basato sull'esperienza del progettista per edifici simili. Già nella fase iniziale è buona norma condurre le principali verifiche di stabilità (ribaltamento, slittamento, schiacciamento, galleggiamento), controllando l'adeguatezza dei margini di sicurezza esistenti.

### Normative applicabili

Un corpo normativo strutturale deve fornire una serie di riferimenti per:

- circoscrivere la tipologia delle opere in oggetto;
- elencare i carichi applicabili e le loro combinazioni;
- definire le tipologie di verifica da condurre, a fronte di essi;
- fissare i valori limite di sollecitazioni e/o spostamenti.

Solitamente è lasciata libertà al progettista per quanto riguarda le metodologie che indagano e analizzano la distribuzione degli sforzi nelle membrature, anche se spesso vi sono suggerimenti in proposito. In Italia, in campo convenzionale, è stato recente-

mente emanato un Testo Unico, che ha eliminato la necessità di dover assemblare i disposti tecnici relativi ad una serie di precedenti normative; tale testo tuttavia non contempla le opere nucleari, che non sono contemplate nemmeno nella normativa degli Eurocodici. Tuttavia questi appaiono oggi più adatti all'applicazione, in quanto si allineano alle norme nazionali vigenti di natura "prescrittiva", e consentono al progettista, in virtù della loro contrapposta natura "prestazionale", una maggiore libertà nelle scelte metodologiche.

Tale situazione si riscontra in quasi tutti i paesi che hanno adottato il nucleare; ne discende che è quindi compito degli organi di controllo di ciascun paese definire, sulla base di standard esistenti, convenzionali e no, un corpo normativo cui attenersi, emettendo in proposito delle linee guida ad uso del progettista. Il rispetto di queste, comunque, costituisce condizione necessaria, ma non ancora sufficiente, per l'approvazione finale, subordinata ad eventuali prescrizioni aggiuntive dell'organo di controllo, in ragione di analisi indipendenti che esso stesso si riserva di condurre.

Non prevedendo le normative convenzionali l'eventistica dei carichi tipica per gli impianti nucleari, esse possono essere richiamate solo in virtù del tipo di verifica e dei limiti associati.

In Italia, nel corso delle passate attività nucleari l'ENEA DISP si è uniformata all'impostazione dell'Ente di Controllo americano, l'US Nuclear Regulatory Commission, che per gli aspetti strutturali aveva emesso apposite *Regulatory Guides*, e rimandava alla conduzione delle verifiche puntuali prescritte nella sezione nucleare di normative strutturali nazionali. Per l'assunzione di particolari carichi, quali ad esempio quelli dovuti alle spinte del terreno addizionali in caso di sisma, o a fenomeni meteorologici, estremi e no, si faceva riferimento a teorie empiriche, prescrivendo il rispetto di normative nazionali che le contemplavano.

Infine, trattandosi comunque di opere da realizzare sul territorio nazionale, veniva fatta rispettare la normativa italiana vigente all'epoca, con i carichi da essi richiamati, nei limiti in cui essa era applicabile.

### Rappresentazione dei carichi

I carichi che richiedono una descrizione più accurata sono quelli di natura dinamica (sisma, cari-

chi impulsivi ed impattivi) che, stante la loro natura incidentale, sono ipotizzati su base probabilistica; per i carichi di natura statica di più semplice descrizione (permanenti e accidentali, vento, neve, spinte dei terreni, reazioni dei vincoli d'impianto ecc.) non sono suggerite particolari modalità di applicazione, se non un adeguato conservativismo per la determinazione di quelli di natura temporanea.

L'input sismico viene definito a partire da una serie di dati naturalistici che costituiscono il c.d. "terremoto di riferimento", che verrà poi tradotto, in funzione della tettonica del sito, in parametri fisico-matematici (accelerogrammi e spettri di risposta) atti a rappresentare il c.d. "moto vibratorio al sito"; questo si ipotizza avvenire in assenza di opere realizzate, per arrivare poi a determinare, sulla base delle caratteristiche geologiche e geotecniche locali, il sisma che sarà risentito alla base delle strutture.

Per le opere di futura realizzazione potrà essere prevedibile l'introduzione di aumentati input sismici, con ricorso agli spettri anelastici, contemplati negli Eurocodici.

I carichi indotti dalla tromba d'aria sono rappresentabili, in caso di mancanza di studi specifici, con una pressione cinetica massima sulle superfici esterne di un'opera, e da una corrispondente depressione sulle superfici interne; si ipotizza inoltre il contemporaneo urto di alcuni oggetti le cui caratteristiche provochino effetti tali da involuppare quelli prodotti in una più ampia casistica, e descritti in termini di massa, velocità d'urto, angolo di incidenza, area di impronta e altezza di impatto: la normativa americana in proposito suggerisce un'automobile, un tavolo di legno e un tubo d'acciaio.

I carichi dovuti a incidente funzionale (colpi di frusta, distacco di elementi, getti di liquido, caduta di oggetti) sono anch'essi schematizzabili con azioni d'impatto concentrate e con pressioni e depressioni nei locali interni.

I carichi di natura "sensibile", in quanto di possibile deliberata intenzione, come l'esplosione e l'impatto aereo, se presi in esame, sono parimenti descrivibili con le medesime modalità della tromba d'aria e dei missili ad esso associati; le forze o i sistemi di forze di specifica saranno considerati applicati alle strutture, sia per la determinazione degli effetti globali che degli effetti locali.



**Figura 5**  
Edificio reattore centrale del Garigliano  
Fonte: SOGIN

### **Analisi strutturali e strumenti di calcolo**

Come per tutte le opere strutturali di natura complessa è richiesta la creazione di "modelli" da utilizzare nei calcoli, che possono essere spaziali o piani; a questi ultimi è consentito il ricorso quando ne sia dimostrata la conservatività.

Le analisi più significative sono quelle di tipo dinamico, che vengono condotte per le verifiche a sisma e casi di impatto; esse possono essere di due tipi, ovvero:

- analisi globali: l'intero corpo strutturale viene schematizzato in un modello avente sufficiente grado di dettaglio, atto alla ricerca delle sollecitazioni e degli spostamenti più significativi dell'opera, al fine di giustificarne e il dimensionamento di massima;
- analisi locali: una parte di struttura è rappresentata con maggior dettaglio rispetto al modello globale, e viene analizzata con condizioni di vincolo e al contorno prudenziali.

Le analisi globali sono tali finché utilizzano modelli che descrivono l'intera opera, sia considerandola rigidamente vincolata al terreno, sia descrivendo quest'ultimo come un mezzo continuo al contorno.

Per rappresentare il terreno che interagisce con le strutture, e attraverso il quale anche due o più strutture possono interagire tra loro, sono utilizzabili due metodi:

- il metodo diretto, ove il modello comprende sia la struttura, o le strutture, e il terreno;





**Figura 6**  
Opere civili realizzate per la centrale di Montalto di Castro  
Fonte: SOGIN

- il metodo sotto strutturale, ove il terreno è rappresentato da molle e dissipatori concentrati.

L'analisi sismica contempla i casi di terremoto di progetto e di terremoto di esercizio: nel primo caso è permesso alle strutture il superamento del limite elastico, e pertanto ne dovrà essere dimostrata una sufficiente duttilità prima del collasso, mentre nel secondo caso deve essere assicurato il non superamento dei limiti elastici delle strutture resistenti. Nel caso in cui un'apparecchiatura abbia massa o rigidità tali da modificare la risposta strutturale, essa deve essere inclusa nella modellazione, altrimenti potrà essere schematizzata come una o più masse puntiformi posizionate nei punti di vincolo alla struttura.

Quando all'interno degli edifici siano presenti serbatoi o piscine di notevoli dimensioni, deve essere tenuto conto del fenomeno dello *sloshing*, ovvero sia l'effetto secondario prodotto dalle oscillazioni delle masse liquide contenute: in questo caso si fa ricorso a formule empiriche, che consentono la schematizzazione di queste masse in modo concentrato e il loro collegamento alle strutture che le contengono mediante vincoli elastici.

Per quanto riguarda le forze impulsive ed impattive, esse vengono implementate nel modello risolutivo mediante una "forzante", ovvero una forza, concentrata o distribuita, con valore variabile nel tempo. I calcoli vengono condotti con l'ausilio di codici strutturali, che sono gli strumenti di cui la

moderna ingegneria civile si serve quasi esclusivamente, a partire dalla fine degli anni '70, quando le loro prime versioni ebbero applicazione proprio in ambito nucleare.

I codici di maggior utilizzo in passato sono stati il SAP, per analisi in campo elastico, e l'ADINA per quelle in campo plastico, dei quali esistono oggi svariati *pre-processor* e *post-processor*, che facilitano l'introduzione dei dati e riescono a fornire output a livello esecutivo; essi sono utilizzabili anche per le analisi termiche.

Si segnalano inoltre i più sofisticati ABAQUS e NASTRAN, adatti all'analisi delle parti più prettamente impiantistiche, riuscendo essi a tenere conto di fenomeni come la fatica, l'instabilità strutturale e termica, il *cracking* ecc.

Per le analisi sismiche, la tecnica analitica utilizzata dai codici per trasformare il dato sismico in forze inerziali è quella dell'analisi modale, applicabile sia utilizzando il dato sismico sotto forma di spettro di risposta, che di accelerogramma.

La futura adozione delle tecnologie dell'isolamento sismico, non solo potrà permettere un innalzamento degli standard normativi relativi all'input sismico, ma favorirà sicuramente l'affinamento delle metodologie di analisi.

Nelle analisi locali, la sempre maggior potenzialità degli strumenti di calcolo ha portato alla diminuzione dei casi di loro necessità, potendosi introdurre un maggior numero di dati nell'input di quelle globali; tuttavia rimane importante lo studio approfondito e indipendente di parti di sistema, che permette comunque in modo rapido il loro dimensionamento ottimale o la valutazione di una modifica progettuale loro connessa.

In dipendenza della loro complessità varia la gamma degli strumenti di calcolo cui far ricorso: dai medesimi codici di calcolo utilizzati nelle analisi globali, agli algoritmi propri della scienza e/o tecnica delle costruzioni, a formule empiriche di validità scientificamente riconosciuta.

Come in ogni opera di ingegneria, del resto, grado di analisi e strumento utilizzato devono essere omogenei qualitativamente alla tipologia di indagine che si intende condurre e al grado di precisione necessario e sufficiente per il risultato che si vuole ottenere.

Le analisi locali più impegnative, al di là di quelle di

indagine più precisa sulla distribuzione delle sollecitazioni in una membratura su cui si siano già determinate le forze trasmesse, sono quelle eseguite per determinare gli effetti locali degli impatti, o gli effetti degli sforzi trasmessi da macchinari, tubazioni, ecc., quando sia necessario il rispetto di minime deformazioni.

Per l'analisi degli effetti della spinta delle terre su pareti verticali in caso di sisma, è frequente il ricorso a teorie empiriche; parimenti di natura empirica sono i coefficienti di forma che si applicano alle superfici esterne per rappresentare gli effetti locali dei carichi meteorologici, estremi e no.

Gli strumenti di calcolo citati risultano utili anche in fase di primo dimensionamento e di verifica di fattibilità strutturale, ovvero nelle "analisi di sensibilità" ove, stante l'incertezza nella quantificazione di taluni parametri (tipicamente quelli rappresentativi del terreno o dei materiali in condizioni dinamiche) l'analisi viene condotta più volte attribuendo diversi valori ai parametri in esame, aumentando e diminuendo un valore ritenuto più verosimile (c.d. best estimate): in tal modo si può valutarne la ricaduta sulle opzioni progettuali, o accertare conservativamente ed esaustivamente i massimi effetti che gli eventi esterni possono indurre.

Analisi iterative possono essere condotte anche per tutti quegli input per cui non vi è linearità e/o monotonia nell'output finale, o nelle indagini preliminari a fini prescrittivi, dovendosi stabilire il set di carichi realisticamente più gravoso.

### Verifiche

Oltre alle verifiche di stabilità globale, peraltro in genere già soddisfatte in fase di dimensionamento, devono essere effettuate, sulla base dei disegni di carpenteria, le c.d. verifiche di integrità, cui si procede una volta effettuata l'analisi strutturale, e determinato quindi l'involuppo degli stati sollecitazionali e deformativi per l'intera struttura.

La maggior parte delle verifiche attiene al controllo dell'adeguatezza di spessori e sezioni e, nel caso del calcestruzzo armato, dell'armatura presente, ove la procedura è quella classica della scienza e della tecnica delle costruzioni, sempre più automatizzata da *software* innovativi.

Contestualmente viene eseguito il controllo dello stato deformativo su spostamenti mediali o estre-

mali di singole membrature; in particolare, per le membrature in calcestruzzo, controlli sono prescritti anche sulla massima apertura delle fessure e sulle sollecitazioni trasmesse al terreno.

Per i carichi da impatto, il cui effetto a livello globale è recepito nelle suddette verifiche, deve essere inoltre valutato l'effetto locale, che si traduce nel controllo di adeguatezza dello spessore della parete di impatto; in particolare devono essere evitati i fenomeni di:

- perforazione;
- penetrazione;
- *scabbing* (asportazione di materiale sulla superficie impattata);
- *spalling* (espulsione di materiale all'estradosso della superficie impattata);
- punzonamento e taglio localizzato.

Nei punti di collegamento della struttura portante con le parti impiantistiche, i vincoli devono essere verificati alle massime sollecitazioni ricavate con le analisi: tipicamente si tratta di verifiche di piastre metalliche ancorate con tirafondi, per cui risulta significativa la dimostrazione della loro aderenza con il calcestruzzo. Molto importante è la determinazione dei c.d. *floor response spectra*, o "spettri di piano", che consiste nel calcolo del moto vibratorio che si verifica nei punti di vincolo a seguito di sollecitazioni dinamiche: lo spettro determinato in base agli accelerogrammi ottenuti deve risultare in ogni punto inferiore ad uno spettro di specifica proprio dell'apparecchiatura collegata.

### Materiali costruttivi

Le caratteristiche materiali e degli elementi impiegati nella costruzione delle opere nucleari sono quelle classiche individuate nelle normative strutturali riguardo a:

- calcestruzzo;
- malte cementizie;
- ferri d'armatura;
- trefoli e cavi per calcestruzzo armato precompresso;
- elementi prefabbricati in calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso;
- profilati metallici,

per i quali è sempre richiesto il più alto grado di qualificazione ivi prescritto.

Per quanto riguarda le strutture in calcestruzzo arma-

to, c'è tuttavia un aspetto di notevole interesse: esso è costituito dalla progettazione del conglomerato da utilizzare per realizzare le membrature esterne e di schermaggio. Tale aspetto è particolarmente curato anche in tutte quelle strutture convenzionali complesse per le quali sia richiesta una vita funzionale superiore ai 50 anni (prevista per le strutture abitative): per strutture di natura "strategica", come ponti, dighe, grattacieli, oggi si tende a guardare valori superiori ai 100 anni.

Anche per le centrali nucleari si tende a prevedere conservativamente una vita utile superiore al secolo mentre, nel caso delle barriere di un deposito di rifiuti radioattivi, è necessario dimostrare una durabilità delle loro caratteristiche meccaniche e di impermeabilità di almeno 300 anni.

Pertanto, non avendosi ancor oggi evidenza sperimentale di durate superiori per opere in calcestruzzo armato (non fosse altro che per l'età delle opere attualmente esaminabili, risalendo l'"invenzione" del calcestruzzo armato a non più tardi di un secolo fa), per gli impianti nucleari è assolutamente importante perseguire una durabilità superiore.

A tal fine solitamente si procede in questo modo:

- si individuano e si analizzano le possibili cause di perdita di integrità nel tempo in relazione al sito ospitante;
- si propone per ciascuna di esse il possibile rimedio, mediante opportune prescrizioni sul dosaggio dell'impasto (c.d. *mix-design*) e adeguate modalità di messa in opera;
- si conducono prove "ad hoc" su provini di materiale allo scopo confezionati, e sottoposti ad invecchiamento accelerato.

L'effetto schermante delle pareti viene reso più efficace con l'utilizzo di "calcestruzzo pesante", ottenuto integrando gli aggregati tradizionali con quantità variabili di barite (aggregato composto da minerale di bario); il calcestruzzo così confezionato si trova quindi ad avere una densità relativa quasi raddoppiata.

Per comprendere l'ordine di grandezza dell'effetto schermante, si pensi che 1 mm di piombo (correntemente utilizzato nelle applicazioni diagnostiche radiografiche) può essere sostituito, indicativamente, da: 25 mm di intonaco baritico, 30 mm di calcestruzzo pesante, 50 mm di calcestruzzo ordinario, ottenendo così una riduzione del 40% di in-

gombro, a parità di massa.

Caratteristiche schermanti e resistenti si integrano nel calcestruzzo con cui è realizzato il contenimento dei reattori, per il quale si ricorre anche alla precompressione, in virtù dei notevoli sforzi di trazione previsti in caso di incidente.

L'aumento della resistenza a trazione può essere ottenuto anche con l'utilizzo di calcestruzzi fibro-rinforzati, campo ove la ricerca negli ultimi anni ha prodotto notevoli progressi: la presenza di fibre in acciaio, vetro o materiale polimerico, offre al materiale maggiore resistenza alla fatica, agli urti, allo stress termico e all'abrasione. Non è pertanto azzardato prevederne un più diffuso utilizzo in un prossimo futuro anche nelle applicazioni nucleari.

Riguardo alle strutture in acciaio, l'aspetto più peculiare ed emblematico è rappresentato dallo studio del materiale costituente le strutture in pressione, particolarmente dal contenitore primario dei reattori, che deve possedere una resistenza mantenevole anche alle alte temperature, che possono raggiungere anche i 900 °C.

### Costruzione, esercizio e dismissione degli impianti

In ambito nucleare, nella messa in opera delle installazioni ex-novo, gli aspetti di interesse specifico hanno perduto gran parte della loro peculiarità, in quanto le problematiche cantieristiche e di sicurezza del lavoro sono quelle di un tipico cantiere di opera di una certa rilevanza e ad alto impatto sociale.

Sarà sempre compito del direttore dei lavori e del collaudatore statico procedere a prove di carico e prove sui materiali, a loro discrezione, e in aggiunta a quelle di natura obbligatoria.

Peraltro, la circostanza per cui l'inizio di ogni attività nucleare avviene a valle del montaggio impiantistico-funzionale, riduce notevolmente le difficoltà aggiuntive che si avrebbero qualora si dovesse operare in presenza di emissioni radioattive o a contatto di componenti attivati.

Viceversa, la più specifica competenza è richiesta nel corso dell'esercizio degli impianti, ove ogni controllo sul mantenimento della funzionalità di questi non può prescindere dalla verifica di mantenimento delle proprietà resistenti delle strutture:

la conoscenza dell'impianto permetterà di prevedere un piano di ispezioni e di prove volte allo scopo, ovvero di approntare una rete di monitoraggio appropriata.

Nella fattispecie si devono controllare la non insorgenza di:

- cedimenti non previsti in fondazione (assoluti o differenziali);
- variazioni del livello di falda freatica;
- diminuzione delle caratteristiche meccaniche delle membrature resistenti;
- lesioni.

Qualora si rilevassero effetti non desiderati, dovrà essere valutata la loro entità e/o dovranno essere ideate soluzioni per la loro riduzione o il loro annullamento, traguardando il grado di sicurezza iniziale. Nel *decommissioning*, che costituisce l'insieme delle attività volte alla dismissione in sicurezza dell'impianto, sono spesso richieste valutazioni di tipo statico necessarie allo smantellamento selettivo di parti di impianto, alla rimozione di componentistica, o alle riduzioni di spessore di pareti e solette dovuti alla scarificazione di strati contaminati.

Qualora sia prevista l'opzione "prato verde", vale a dire il completo ripristino della situazione ambientale antecedente l'installazione, entrano in gioco le problematiche tipiche delle attività di demolizione, che sono ad alta attenzione ambientale e richiedo-

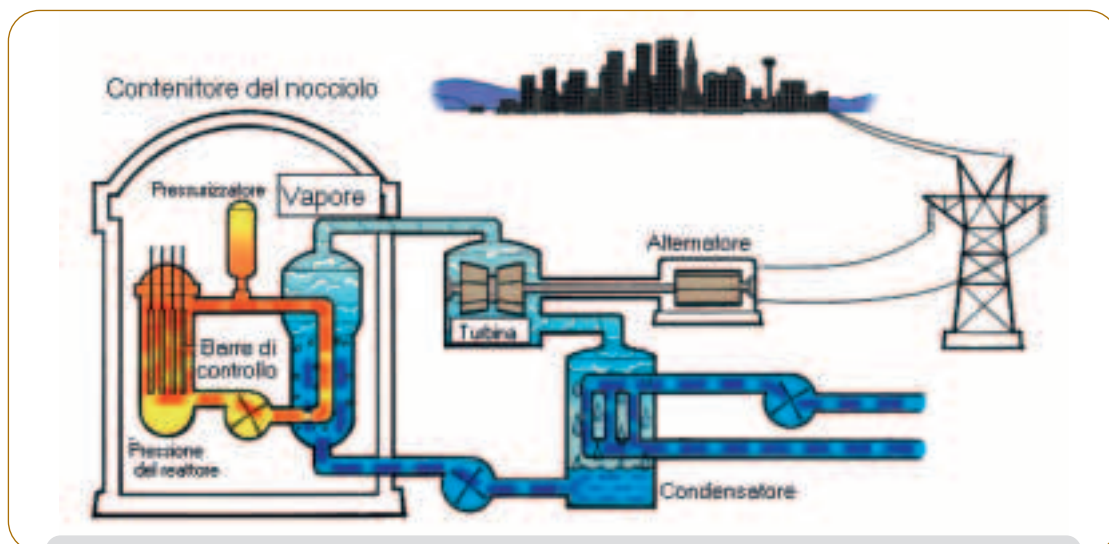
no l'approntamento di accurati piani di progressivo smantellamento e di allontanamento (con successivo eventuale riutilizzo) dei residui.

Tecniche di smantellamento tipiche sono quelle di separazione (mediante azione di taglio idraulico o meccanico, agente chimico, esplosione localizzata), che possono anche essere finalizzate a provocare un "collasso controllato", cui seguirà la raccolta differenziata ed automatizzata dei residui; per le parti più delicate di impianto si ricorre invece all'utilizzo di taglio con raggio laser o comunque a sistemi remotizzati.

Sono di particolare interesse i progetti, spesso proposti, di utilizzo di impianto dismesso ai fini di prove sismiche in scala reale, con terremoti simulati mediante applicazione di vibrodine.

### Interventi su impianti esistenti

Come per qualsiasi opera strutturale, nel corso della vita di un impianto può presentarsi la necessità di dover procedere ad interventi di rinforzo, a modifiche strutturali e a riparazioni; queste ultime possono essere effettuate sia nell'ambito di una prevista manutenzione che a valle di indesiderate evenienze. Nel caso degli impianti nucleari, stanti le superiori esigenze di sicurezza e la più difficile operatività, già in fase di progetto si cerca di eli-



**Figura 7**  
 Schema di funzionamento di una centrale elettronucleare  
 Fonte: immagine tratta da Internet



minare a monte ogni causa di possibile futuro intervento, al di là di quelli previsti per una normale programmata manutenzione; questa, del resto, è una azione che rientra tra quelle del normale esercizio, fino a che non venga eventualmente deciso un procrastinamento della chiusura dell'impianto stesso.

In ogni caso, il grado di sicurezza offerto da un impianto non deve mai diminuire né per cause intrinseche (deterioramenti, rotture ecc.) né a fronte di aumentati carichi di progetto.

Pertanto ogni intervento dovrà essere progettato e realizzato secondo il medesimo iter autorizzativo previsto per le opere ex-novo; tuttavia, a seconda dell'esigenza che ne detta l'opportunità, dal punto di vista formale gli interventi o una serie di interventi possono essere prescritti per:

- modifica di impianto: per esigenze operative o distributive, una o più membrature si trovano a dover resistere a carichi superiori rispetto quelli del progetto iniziale;
- riparazioni: si riscontrano indebolimenti delle strutture portanti, dovute all'invecchiamento o alla fatica, o a seguito di incidenti;
- riqualificazione dell'impianto: per l'intera opera viene prescritto uno standard di sicurezza superiore, e quindi un aumento dei carichi progettuali.

Va precisato comunque che, in alcuni casi, per ottenere una qualifica superiore può essere sufficiente un calcolo più accurato, generalmente effettuato con l'ausilio di strumenti di calcolo più raffinati o più aggiornati, oppure la conduzione dell'analisi con condizioni al contorno più realistiche ma non meno prudenziali.

Negli anni 80 fu riqualificata similmente la centrale nucleare di Trino, per la quale furono prescritti e realizzati degli interventi specifici; come per le centrali di Latina e Garigliano, il progetto risaliva alla fine degli anni 50 ove, coerentemente alle metodologie di analisi all'epoca correnti, le forze sismiche erano tenute in conto mediante l'applicazione di una accelerazione orizzontale alle masse statiche pari a 1/20 delle forze di gravità (valore ben inferiore allo 0,18 g minimale previsto nel PUN). Oltre alle verifiche puntuali di prassi, veniva solitamente indagata anche l'adeguatezza dei giunti strutturali, stante la possibilità di urti tra strutture contigue.

Dal punto di vista tecnico-operativo, le tecnologie di intervento non si differenziano tra loro nei citati casi, avendo esse la medesima finalità migliorativa, e spesso gli interventi stessi possono avere molteplice valenza; la materia è in continua evoluzione, e procede di pari passo ai progressi tecnologici nel campo specifico.

Quasi sempre però è da tenere in conto l'evenienza di dover operare in zona controllata, ove si impone il rispetto di tempi ristretti e spazi ridotti, o il ricorso a sistemi remotizzati.

Per una breve rassegna delle tecnologie impiegate, queste possono essere catalogate come rinforzo strutturale o come riparazione.

### *Rinforzi*

La casistica dei tipi di rinforzo strutturale e delle loro messe in opera è estremamente vasta e di difficile catalogazione; si citano tuttavia le più tipiche applicazioni, realizzate o suggerite sui tuttora esistenti impianti nucleari italiani, che prevedono l'introduzione di:

- controventi;
- piastre in acciaio;
- smorzatori;
- micropali di fondazione;
- rivestimenti con malte e conglomerati speciali.

Assimilabili ai rinforzi strutturali sono tutti quegli interventi che avvengono sulle strutture senza l'introduzione di nuovi elementi; si citano in particolare:

- realizzazione o allargamento di giunti strutturali, onde evitare fenomeni di "battimento";
- tagli su parti di struttura per ottenerne il disaccoppiamento dinamico;
- eliminazione di parti strutturali, per alleggerimenti o induzione di diverso modo di vibrare.

### *Riparazioni*

Nel corso di ispezioni periodicamente previste, all'interno e all'esterno di edifici ed opere di impianto, può essere rilevato un deterioramento di materiali e componenti, che sono tipicamente

- nelle parti in acciaio: ossidazioni di profilati, allentamento e spostamento di vincoli;
- nel calcestruzzo: ammaloramenti delle superfici, affioramento o sfilamento delle armature, formazione di fessure, passanti e no.

Le modalità di intervento variano non solo in base

alla tipologia del dissesto rilevato, ma anche della sua entità e della sua estensione nell'intera opera: dissesti generalizzati chiamano in causa un'errata scelta dei materiali o la sottovalutazione degli effetti dei fenomeni esterni (microclima, aggressioni ambientali, vapori ecc.), mentre dissesti localizzati evocano più spesso disuniformi modalità di messa in opera, carichi mal distribuiti e cedimenti geotecnici differenziali.

È compito dell'ingegneria civile effettuare costantemente una attenta disamina della situazione, onde evitare di effettuare ingenti interventi di riparazione laddove il danno non sia grave o localizzato o, viceversa, progettare interventi-tampone di scarsa efficacia e durata, come avviene quando non si conosce con esattezza l'origine.

Mentre per le strutture metalliche può essere effettuata più facilmente la sostituzione di componenti, per le strutture in calcestruzzo si può ricorrere ad una molteplice offerta di prodotti, a base di malte epossidiche che, mediante loro iniezione, consentono il ripristino delle prestazioni iniziali, o addirittura il loro aumento.

Al limite tra la riparazione e l'intervento preventivo sono poi tutte quelle opere sui terreni circostanti ove, a seconda dei casi, può essere richiesto un aumento della compattezza (producibile, oltre che con la compattazione meccanica, con l'iniezione di miscele rinforzanti o l'inserimento di micropali prefabbricati) o delle capacità drenanti; in tal senso si possono considerare anche le opere atte all'allontanamento di acque stagnanti o all'impedimento della salita della quota di falda freatica, ottenibile con l'implementazione di sistemi di dewatering a funzionamento continuo.

## Bibliografia

- [1] Lombardi, C., *Impianti Nucleari*, CLUP Milano, 1987.
- [2] IAEA, Safety Standard Series No. SF-1, *Fundamental safety principles*.
- [3] Petrangeli, G., *Sicurezza nucleare*, ETS, 2003.
- [4] Pino, G. et al., *Criteri, procedure e prescrizioni per la protezione degli impianti nucleari contro gli eventi sismici*, RT ENEA-DISP, 1986.
- [5] Joseph, J., *Structural Engineering in Nuclear Facilities*, ASCE, Uccifero Editor, 1984.
- [6] Angelelli, G., *Le strutture civili delle installazioni nucleari: criteri di progetto e loro comportamento in condizioni incidentali*, tesi di laurea ENEA-La Sapienza, Roma, 2010.
- [7] Paton, A., Benwell, E., Irwin, T., *Civil Engineering Design for Decommissioning of Nuclear Installations*, Graham and Trotman Ltd.
- [8] Report EUR 9568 EN, *Treatment of Active Concrete Waste arising from the Dismantling of Nuclear Facilities*.

## Conclusioni

Sono stati esposti i principali aspetti ingegneristico-civili connessi alle attività nucleari, che intervengono nelle fasi di localizzazione, progettazione, costruzione, esercizio e dismissione delle installazioni necessarie; le relative competenze possono essere coinvolte nell'alternativa parte di progettista/ costruttore/esecutore e di controllore della sicurezza radiologica.

L'impostazione della rassegna ha riflettuto le metodologie dei processi di sicurezza, ove le organizzazioni preposte alle attività di controllo sono solitamente organizzate "a matrice", in modo tale che il percorso di un iter istruttorio e/o approvativo possa intersecare esaustivamente tutti quelli, indipendenti e specialistici, di ogni analisi tecnica attivata ai fini delle verifiche di sicurezza. Pertanto, queste analisi devono essere svolte da unità formate da tecnici esperti nelle tematiche di ogni disciplina ingegneristica, non solo di quella meramente nucleare, e in grado di interrelazionarsi efficacemente tra loro.

Le problematiche che l'ingegneria civile affronta, rappresentano in campo nucleare la più stretta interfaccia con il contesto ambientale ed antropico; è quanto mai necessario quindi che ogni risorsa, umana ed organizzativa ad essa afferente, possieda il più alto grado di qualificazione e affidabilità, e venga coordinata in modo ottimale.

Di ciò dovrà essere tenuto conto nella imminente ripresa delle attività nucleari a fini energetici, che richiederanno, assieme alle ingenti realizzazioni che dovranno essere implementate, un impegno da parte delle istituzioni a far sì che non venga disperso, ma anzi incrementato, il patrimonio tecnico-scientifico tuttora esistente e disponibile.

## La governance della VAS nella programmazione comunitaria 2007-2013

Roberto Del Ciello<sup>1</sup>  
Andrea Forni<sup>2</sup>  
Federica Scipioni<sup>3</sup>  
Antonio Disi<sup>4</sup>

1. ENEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale
2. ENEA, Ufficio Studi
3. UNIONCAMERE
4. ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

*L'articolo prende in esame le VAS condotte, tra la seconda metà del 2006 e la fine del 2007, da Regioni e Province Autonome sui 21 Programmi Operativi Regionali e sui 21 Piani di Sviluppo Rurale. L'analisi si incentra sugli strumenti di governance predisposti dalle Regioni, sulla definizione degli obiettivi e del sistema degli indicatori, sulla partecipazione e sulla coerenza degli interventi in campo energetico previsti dai programmi con la pianificazione regionale di settore*

## The Governance of the SEA in the 2007-2013 EU Programs

*In this paper the SEA (Strategic Environment Assessment) of 21 Regional Operative Programs and 21 Rural Development Plans implemented by the Italian Regions, during the second half of 2006 and the end of 2007, have been reviewed. The study is focused on the instruments of governance, on the definition of the objectives and the indicators, on the participation and on the coherence of the energy measures included in the operative programs with the regional sectorial planning*



La Programmazione dei Fondi Comunitari 2007-2013 costituisce un interessante ambito di analisi con riguardo all'applicazione dello strumento della VAS a piani e programmi, obbligatoria a partire dal 2004 con l'entrata in vigore della Direttiva 2001/42/CE, recepita nel nostro ordinamento, prima con il DLgs 152/2006 e, successivamente, con il DLgs 4/2008. La Programmazione dei Fondi Comunitari 2007-2013 si basa su due cornici strategiche:

- la prima, che si sostanzia nel Quadro Strategico Nazionale (QSN) e nei numerosi Programmi Operativi (PO) finalizzati al raggiungimento dei tre obiettivi di sviluppo regionale in termini di Convergenza, Competitività e Cooperazione Internazionale;
- la seconda, finalizzata allo sviluppo rurale, si sostanzia nel Piano Strategico Nazionale (PSN) e nei Piani di Sviluppo Rurale (PSR) a livello regionale.

A questo impegno, cui sono state chiamate le strutture politiche e amministrative deputate alla programmazione nazionale e regionale, è corrisposto un altrettanto rilevante impegno delle strutture tecnico-scientifiche deputate alla valutazione ambientale. Tra la seconda metà del 2006 e la fine del 2007, dei numerosi PO elaborati in attuazione del QSN sono stati assoggettati a VAS ai sensi della Direttiva 2001/42: 2 Programmi Operativi Nazionali (PON); 21 Programmi Operativi Regionali relativi al Fondo Europeo Sviluppo Regionale (POR-FESR); 2 Programmi Operativi Interregionali; diversi Programmi afferenti all'Obiettivo Cooperazione Territoriale Europea; 21 Programmi del Fondo Aree Sottoutilizzate (FAS). Analogamente, nello stesso periodo, sono stati assoggettati a VAS i 21 PSR elaborati dalle Regioni e dalle Province Autonome in attuazione delle priorità strategiche definite dal PSN per il settore agroindustriale e forestale. In questo articolo vengono esaminati i processi di VAS che accompagnano i 42 Programmi di competenza regionale, POR-FESR e PSR.

La complessità dei processi esaminati e la mole della relativa documentazione, la varietà degli approcci seguiti dalle diverse Regioni, anche in conseguenza di un quadro normativo in corso di definizione, hanno reso necessario focalizzare l'analisi sugli

aspetti metodologici e di *governance*, tralasciando le specifiche risultanze territoriali, sintetizzando i principali risultati in una meta-valutazione incentrata intorno ad alcune chiavi di lettura:

- gli strumenti di *governance* predisposti dalle Regioni per gestire i contestuali processi di programmazione e valutazione: attori e loro relazioni; ruoli; competenze tecnico-scientifiche e politico-amministrative messe in campo;
- il disegno e le metodologie di valutazione, con particolare riguardo da un lato al ruolo giocato, nelle singole Regioni, dal complessivo quadro pianificatorio-programmatico nella definizione degli obiettivi e dei target; dall'altro, alla capacità di mettere coerentemente a sistema gli indicatori nel processo concettuale di definizione del contesto, valutazione e monitoraggio;
- il coinvolgimento degli *stakeholders* e la partecipazione, sia come ricognizione delle tecniche e delle modalità adottate, sia come verifica della reale incisività di questa fase del processo nell'orientare la valutazione e quindi il programma;
- infine, dal punto di vista tematico-settoriale, una lettura privilegiata, anche se non esaustiva, della coerenza degli interventi in campo energetico previsti dai programmi con la programmazione regionale di settore.

### La VAS tra procedura e processo

Secondo una fortunata definizione (Sadler B., Verheem R., 1996) la VAS è

«... un processo sistematico per valutare le conseguenze ambientali di una politica, un piano o un programma al fine di assicurare che questi siano pienamente inclusi e adeguatamente tenuti in conto *fin dalle prime fasi del processo decisionale al pari degli aspetti economici e sociali*»,

dove da un lato si evidenzia l'elemento di contestualità tra processo di programmazione e di valutazione, dall'altro si esplicita il ruolo della VAS nel *promuovere lo sviluppo sostenibile*, richiamando la pari rilevanza tra aspetti economici, sociali e ambientali.



Numerosi autori<sup>1</sup> hanno ricostruito l'evoluzione storica della valutazione ambientale di piani e programmi, rinvenendone le origini nella *National Environmental Action Plan* approvato negli Stati Uniti nel 1969. È comunque a partire dagli anni 90, dopo alcuni anni di esperienza nel campo della Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), emergendo le carenze di questo strumento relativamente all'incapacità di incorporare e armonizzare le componenti della sostenibilità e all'inefficacia della valutazione progettuale di incidere su processi decisionali gerarchicamente sovraordinati, che la VAS si afferma, se non ancora come pratica operativa, quale termine centrale del dibattito accademico, politico e scientifico in materia ambientale. Tuttavia l'approccio alla VAS come una sorta di VIA applicata ai piani e ai programmi persiste ancora a lungo, prefigurando una vera e propria scuola di pensiero per la quale la VAS dovrebbe limitarsi ai temi strettamente ambientali, in contrapposizione a quanti, enfatizzando il rapporto tra sostenibilità e VAS, ritengono che quest'ultima debba affrontare gli aspetti sociali ed economici tanto quanto quelli ambientali, enfatizzando quindi la stretta connessione tra "valutazione ambientale" e "ricerca della sostenibilità".

Con l'entrata in vigore della Direttiva 2001/42<sup>2</sup> il dibattito si orienta prevalentemente sugli aspetti normativi e sulle problematiche connesse al recepimento della Direttiva negli ordinamenti nazionali da parte degli Stati membri, obbligatoria a partire dal 21 luglio 2004. In realtà a quella data il

recepimento era avvenuto solo in 9 dei 25 Stati membri, dando luogo all'avvio di 15 procedimenti di infrazione con la conseguente condanna di cinque Stati membri da parte della Corte di giustizia delle Comunità europee<sup>3</sup>.

Tutti gli Stati membri hanno infine recepito la direttiva entro il 2009 e la Commissione ha avviato uno studio volto a verificare la conformità del recepimento.

Il faticoso, e a tratti caotico, processo di recepimento ha riguardato anche l'Italia dove la Direttiva VAS, dopo l'inserimento nel nostro ordinamento con il DLgs 152/2006 "*Norme in materia ambientale*" e attraverso il successivo decreto correttivo (DLgs 4/2008) ha raggiunto solo ora il completo e corretto recepimento<sup>4</sup>.

Le vicende riguardanti l'assetto normativo non hanno peraltro precluso lo sviluppo di esperienze sul campo. A partire dai lavori pionieristici della seconda metà degli anni 90, quali la VAS del Documento Unico di Programmazione Sicilia 1994-1999, quella sul Piano Generale dei Trasporti condotta dal Ministero dell'Ambiente con il supporto tecnico dell'ENEA e dell'Università di Roma, la VAS delle Olimpiadi invernali di Torino, per finire alla Valutazione ex-ante ambientale dei POR 2000-2006, hanno costituito il terreno di studio su cui formare le competenze tecniche e preparare le amministrazioni ad un nuovo modo di programmare e valutare. La VAS applicata alla programmazione comunitaria in corso, cui peraltro non è stata data, con poche lodevoli eccezioni<sup>5</sup>, l'atten-

1. Nella letteratura internazionale una esauriente ricostruzione si trova in: *Dalal-Clayton D.B., Sadler B., 1999 e 2010*. A livello nazionale, e in particolare in ambito AISRe, si confronti: Calenda C. 2007 e Rega C. 2006.
2. Direttiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 27 giugno 2001 concernente la valutazione di determinati piani e programmi sull'ambiente.
3. Cfr. *Commissione Europea 2003 e 2009*. La Direttiva prevedeva (art. 12, comma 3) l'invio da parte della Commissione, prima del 21 luglio 2006, di una prima relazione al Parlamento europeo e al Consiglio sulla sua applicazione ed efficacia. A causa dei ritardi cui si è detto e della limitata esperienza nell'applicazione della stessa, le informazioni disponibili al 21 luglio 2006 non erano sufficienti per stendere la relazione prevista, presentata poi nel settembre 2009.
4. DLgs N. 128 del 29 giugno 2010 "Modifiche e integrazione al DLgs 152/2006 recante norme in materia ambientale, a norma dell'articolo 12 della legge 18 giugno 2009, n. 69".
5. Ci si riferisce a due studi recenti, condotti entrambi sui PSR 2007-2013: il primo, Scardi M. 2010 "*Presentazione del progetto di ricognizione e analisi delle Valutazioni Ambientali Strategiche dei PSR2007-2013*" presentato al Workshop della Rete Rurale Nazionale "Monitoraggio e valutazione in itinere dei PSR 2007/2013" svoltosi a Roma il 24 giugno 2010; il secondo pubblicato in: Spaziante A., Murano C. 2010 "*La Valutazione Ambientale Strategica (VAS): il recente percorso dei Fondi Strutturali Europei. Il caso dei Programmi di Sviluppo Rurale (PSR)*" in: (a cura di) Ferlaino F. "*Strumenti per la valutazione ambientale della città e del territorio*", Franco Angeli.

zione che avrebbe meritato, costituisce uno dei punti di arrivo di questo processo evolutivo e la sua analisi consente di raccogliere alcuni spunti interessanti per fare il punto sullo stato dell'arte in questa materia nel nostro Paese.

### La programmazione comunitaria 2007-2013: implicazioni per la valutazione delle politiche di sviluppo sostenibile

A partire dalla prima sperimentazione nel ciclo di programmazione 1994-1999 e, sistematicamente nel successivo ciclo 2000-2006, i Fondi Comunitari sono stati, non solo per l'Italia, una grande palestra per l'applicazione dei processi valutativi ai risultati dei programmi cofinanziati dalla Commissione Europea. In tale contesto generale, con la Valutazione ambientale ex-ante nel 2000-2006 e con la Valutazione Ambientale Strategica nell'attuale ciclo, i temi ambientali trovano

«...adeguata considerazione nelle attività di valutazione svolte ai diversi stadi della programmazione, al fine di verificare l'effettiva integrazione della dimensione ambientale nelle politiche di sviluppo e di creare consapevolezza degli effetti ambientali degli interventi»<sup>6</sup>.

Nella programmazione delle politiche strutturali per il periodo 2007-2013 il modo di intendere la valutazione è stato sostanzialmente modificato rispetto al passato. Una modifica importante riguarda il passaggio dalla valutazione dei programmi alla valutazione degli effetti delle politiche sui territori. Questo nuovo approccio suggerisce di sviluppare l'attività di valutazione attraverso l'esame congiunto di tutte le azioni che, per competenza territoriale, fanno riferimento alla policy oggetto di valutazione, prescindendo dallo strumento finanziario utilizzato.

Al riguardo il QSN sottolinea che

«... le valutazioni verteranno principalmente sugli effetti prodotti dalle politiche pubbliche attuate attraverso programmi e progetti, realizzati e in realizzazione, finanziati da fonti diverse (comunitarie, nazionali, regionali), inclusi i Programmi di sviluppo rurale. La valutazione deve consentire di valutare gli effetti congiunti di diverse azioni, anche afferenti a diversi programmi, sullo stesso territorio e sugli effettivi servizi resi dall'azione pubblica complessivamente considerata» (*Ministero dello Sviluppo Economico 2007, pag. 266*).

In realtà, l'intento di valutare gli effetti congiunti dei due grandi indirizzi di programmazione, quello delle politiche di coesione attuato attraverso il QSN e quello dello sviluppo rurale attuato attraverso il PSN, è rimasto tale, in ragione delle autonome prerogative degli attori istituzionali<sup>7</sup>, dei diversi referenti comunitari e delle specificità dei processi di programmazione e di valutazione.

In particolare, per quanto riguarda il PSN, al fine di soddisfare le esigenze conoscitive sullo stato di avanzamento e gestione dei Programmi di Sviluppo Rurale, il regolamento 1698/05 all'art. 80 introduce il Quadro Comune di Monitoraggio e Valutazione (QCMV), in cui la Commissione e gli Stati membri condividono gli strumenti per aumentare la conoscenza sull'attuazione delle politiche cofinanziate (*Commissione Europea, 2006*).

Dall'altro lato, per quanto la politica definita dal QSN abbia perso progressivamente le sue caratteristiche iniziali di unitarietà, la valutazione, anche all'interno di questa cornice programmatica, ha mantenuto le sue peculiarità, anche in relazione al fatto che sono diverse le sollecitazioni verso un cambiamento e un ridisegno della valutazione delle politiche di coesione.

Proprio dalla VAS condotta per i programmi operativi e per i programmi di sviluppo rurale, e dalle osservazioni raccolte nel corso delle consultazioni degli *stakeholders* svolte per la procedura di VAS,

6. Ministero dello Sviluppo Economico, Dipartimento Politiche di Sviluppo e Coesione MISE/DPS "QSN 2007-2013. Quadro Strategico Nazionale per la politica regionale di sviluppo" Giugno 2007, pag. 267.

7. MISE-DPS: Dipartimento per lo Sviluppo e la Coesione economica, dal 18 maggio 2006 del Ministero dello Sviluppo Economico; MIPAF: Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

dovrebbero arrivare delle indicazioni in merito a tematiche e *focus* maggiormente interessanti da approfondire successivamente. Non solo. Dalla normativa di recepimento nazionale della direttiva VAS deriva un obbligo di monitoraggio degli effetti ambientali significativi dei programmi, con la finalità di accompagnare l'attuazione e di fornire indicazioni sull'andamento degli interventi programmati, nonché un supporto informativo per l'eventuale adozione di misure correttive. Anche da questa prescrizione quindi, deriva una possibile indicazione di temi da approfondire, autonomamente o nell'ambito di valutazioni in cui l'ambiente rappresenta uno degli aspetti da considerare.

### La VAS nella programmazione comunitaria 2007-2013

Tra la fine del 2005 e la prima metà del 2006, con l'emanazione dei regolamenti comunitari<sup>8</sup> viene formalmente dato l'avvio alla programmazione 2007-2013. Definite le linee strategiche che conducono alla costruzione delle due cornici programmatiche, QSN per lo sviluppo regionale e PSN per lo sviluppo rurale, le Regioni iniziano il proprio percorso di programmazione istruendo le prime versioni dei programmi regionali, rispettivamente POR e PSR, predisponendo nel contempo quanto necessario per le valutazioni. Per i programmi comunitari viene infatti richiesta una valutazione ex-ante da parte di un valutatore indipendente riguardante essenzialmente l'analisi degli obiettivi di realizzazione fisica degli interventi, dei relativi impatti socio-economici, dei risultati da conseguire. Tale processo, che come per la VAS, si dispiega dalle prime fasi di programmazione lungo tutta l'attuazione del programma attraverso le valutazioni in itinere ed ex-post, necessita di una

«...realizzazione coordinata e, per quanto possibile, sinergica... consentendo di ridurre il ri-

schio di duplicazioni procedurali e, soprattutto, contribuendo a una maggiore efficacia delle valutazioni, riconducendo a unità l'apprezzamento degli aspetti socio-economici e ambientali del programma» (*Sistema Nazionale di Valutazione*, 2006, pag. 10).

Risulta quindi evidente la complessità, in termini di coordinamento e integrazione, di un esercizio che vede impegnati diversi attori a diversi livelli:

- Commissione Europea, policy makers nazionali (rispettivamente, cfr. nota 7, MISE-DPS e MI-PAF) e Regioni per il negoziato sul QSN e PSN;
- per ciascuna Regione, tra il programmatore e i soggetti cui affida le valutazioni ex ante e ambientale.

Le Regioni non erano peraltro del tutto impreparate a condurre un'operazione di tale portata. Nella programmazione 1994-1999 la Commissione Europea aveva già previsto la figura delle Autorità Ambientali Regionali (AAR), con il compito di promuovere l'integrazione della componente ambientale in tutti i settori di azione dei Fondi Strutturali, attribuendo loro, nella fase 2000-2006, la redazione della Valutazione ex-ante ambientale dei POR. Tali valutazioni, che possono a tutti gli effetti essere considerate dei prototipi di VAS, furono inizialmente giudicate, data l'indisponibilità delle AAR di adeguate risorse tecniche, del tutto carenti dalla Commissione, che concesse una proroga al 31 dicembre 2002. A quella data, le AAR, opportunamente rafforzate con *Task Force* (TF) di supporto predisposte nell'ambito dello specifico Progetto Operativo del Ministero Ambiente<sup>9</sup>, riuscirono a redigere adeguate valutazioni ambientali dei POR, adempiendo ai loro compiti per tutta la durata della programmazione. Come si vedrà in seguito, le AAR, e le TF a loro supporto, svolgeranno un ruolo decisivo nell'applicazione della VAS alla programmazione 2007-2013, sia nei casi in cui verrà direttamente assegnato loro il compito di valutatore

8. Ci si riferisce al Regolamento (CE) n. 1698/2005 del 20 settembre 2005, sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR) e al Regolamento N. 1080/2006 del 5 luglio 2006 relativo al Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR).

9. Per i dettagli in merito al Progetto, e in generale al ruolo svolto dalle Autorità Ambientali e dalle Task Force di supporto nella programmazione comunitaria 2000-2006 si veda il sito della Rete Ambientale: [http://www.reteambientale.it/autorita\\_ambientali/progetto\\_operativo\\_ambientale.asp](http://www.reteambientale.it/autorita_ambientali/progetto_operativo_ambientale.asp)

ambientale, sia nei casi in cui, svolgendo altri tale compito, costituirà per questi il principale riferimento metodologico e istituzionale.

Come si è detto, nell'incertezza del quadro normativo nazionale, l'applicazione della VAS alla programmazione comunitaria 2007-2013 è stata svolta con l'unico riferimento giuridico della Direttiva 2001/42, e quindi, per quanto non espressamente previsto un parere motivato, il ruolo di *autorità competente* è stato di fatto svolto dalla Commissione Europea, essendo questa l'istituzione preposta all'approvazione, con propria decisione, dei Programmi e di tutti i documenti connessi, valutazioni comprese. La Commissione Europea non ha ovviamente ritenuto opportuno dare interpretazioni della Direttiva VAS, e nemmeno fornire indicazioni per la sua applicazione ai Programmi Operativi, lasciando agli Stati membri, e quindi alle Autorità della Programmazione, la responsabilità di assicurare la qualità e la correttezza della valutazione ambientale. Ha viceversa inteso informare<sup>10</sup> gli Stati membri in merito agli elementi cui avrebbe fatto riferimento *al fine di verificare* che, nel corso della predisposizione dei Programmi 2007-2013, fossero tenute in debita considerazione le previsioni della Direttiva VAS.

A tal fine viene inoltre individuata la documentazione minima che la Commissione Europea ritiene necessario ricevere insieme al PO qualora esso sia assoggettato a VAS. Tale documentazione, oltre al Rapporto Ambientale (RA) i cui contenuti sono definiti dell'Allegato I della Direttiva, include:

1. la **sintesi non tecnica** (Allegato 1, lett. j) delle informazioni contenute nel RA;
2. una **informativa sulle consultazioni** del pubblico e di soggetti con competenze ambientali;
3. la **dichiarazione di sintesi** in cui l'Autorità della Programmazione illustra in che modo si è tenuto conto dei risultati della valutazione am-

bientale e delle relative consultazioni nel PO (art. 9, comma 1, lett. b);

4. le **misure di monitoraggio** previste (art. 9, comma 1, lett. c).

Lungo queste direttrici tra la seconda metà del 2006 e la fine del 2007 le Regioni italiane hanno portato a compimento il contestuale processo di programmazione e valutazione che, per quanto riguarda i POR e i PSR, è l'oggetto del presente lavoro.

### La ricognizione delle VAS dei programmi regionali (POR E PSR)

Le VAS condotte dalle Regioni e dalle Province Autonome di Trento sui 21 Programmi Operativi Regionali relativi al Fondo Europeo Sviluppo Regionale (POR-FESR) e i 21 Piani di Sviluppo Rurale elaborati nel periodo considerato, vengono valutate con un'analisi di tipo essenzialmente qualitativo volta a descrivere come le amministrazioni regionali, dovendo tutte *simultaneamente* confrontarsi con l'applicazione di un nuovo strumento valutativo su una stessa tipologia di programma, hanno elaborato strategie, approcci e soluzioni tecniche più o meno originali, innovative e/o riconducibili a qualche approccio ricorrente. L'attenzione, per motivi già ampiamente spiegati in precedenza, è rivolta ai *processi piuttosto che alle procedure*.

La documentazione esaminata si riferisce a quella minima richiesta dalla Commissione Europea per cui, per tutti i 42 programmi, sono state esaminati, *laddove reperibili*<sup>11</sup>, i documenti di cui all'elenco appena descritto e segnatamente il RA e la dichiarazione di sintesi.

Come si è detto, l'analisi, una sorta di meta-valutazione, è stata incentrata intorno ad alcune chiavi di lettura, sistematizzate in un'apposita griglia, e i risultati sono riportati nei successivi paragrafi.

10. Tale informativa è contenuta in una nota congiunta delle due Direzioni Generali della CE competenti (REGIO e ENV) del 2.2.2006 *Joint letter from DGs REGIO and ENV to the Member States concerning the SEA Directive*, mimeo; per un maggior dettaglio si veda quanto presentato all'incontro della Rete Europea delle Autorità Ambientali il 26-27 ottobre 2006: [http://www.reteambientale.it/agenda/2006\\_26-27\\_10.asp](http://www.reteambientale.it/agenda/2006_26-27_10.asp)

11. L'acquisizione dei documenti è avvenuta essenzialmente con una ricerca on-line dei documenti che dovevano essere resi pubblici nelle fasi di consultazione, mentre non sono stati acquisiti questionari presso le amministrazioni per la complessità della gestione in relazione agli esiti incerti.



## Governance

Una politica regionale che riesca a coniugare i bisogni di specifiche aree con quelli dell'intero Paese, esaltando il potenziale endogeno delle Regioni e le sempre più intense interazioni che le legano (Forni A., et al. 2004) richiede modelli di governance innovativi rispetto al passato e all'altezza del confronto con la velocità di trasformazione dei settori oggetto della programmazione. L'elemento ambientale, ma in questo caso è veramente opportuno richiamare il concetto di sviluppo sostenibile, costituisce in questo contesto un ulteriore fattore di complessità. Non si tratta più soltanto di assicurare la tradizionale coerenza tra obiettivi e strumenti, ma l'attenzione deve sempre più essere concentrata sulla compatibilità di obiettivi di natura diversa spesso contraddittori, sulla loro armonizzazione, sulle relazioni tra i *policy makers* che, ai diversi livelli, tali obiettivi sono tenuti a garantire.

Per analizzare le modalità con cui le Regioni hanno gestito il contestuale processo di programmazione e valutazione, l'indagine è stata condotta in relazione a tre aspetti: la programmazione, la valutazione, per le due funzioni di responsabilità e di attuazione/esecuzione, e il monitoraggio.

Per quanto riguarda la *programmazione*, la debolezza delle informazioni disponibili non consente deduzioni particolarmente raffinate; le strutture regionali (politiche e tecniche) chiamate a svolgere i compiti dell'Autorità di Programmazione (e poi di Autorità di Gestione) per i POR sono state normalmente quelle, con denominazioni variegata, deputate alla Programmazione Economica, al Bilancio piuttosto che alle Politiche Comunitarie o come in qualche caso, più tradizionalmente, Attività Produttive o Industria. Per i PSR, vista la più accentuata caratteristica di piano settoriale, la scelta è, più ovviamente, ricaduta sull'Assessorato e sulla struttura tecnica competente per il settore agricolo e forestale. L'impressione è che l'intento di realizzare un quadro programmatico unitario non sia andato molto oltre l'adempimento formale della redazione dei Documenti Unitari di Program-

mazione. Va comunque riconosciuto che, almeno in alcuni casi per i quali sarebbe auspicabile un approfondimento, si è cercato di procedere con modalità innovative; è il caso delle poche Regioni in cui, ad esempio, si è tentato di gestire il processo attraverso una *cabina di regia* che vedesse coinvolti almeno gli attori principali della programmazione valutazione del programma: programmatore, valutatore indipendente, valutatore ambientale, nuclei di valutazione regionali ecc. In qualche caso si è ambiziosamente cercato di gestire attraverso un'unica cabina di regia i due processi valutativi del POR e del PSR. Questi approcci sono a giudizio di chi scrive meritevoli di approfondimento proprio in quanto esplicitano pienamente il concetto di governance innovativa cui si è accennato applicata a processi complessi quale la VAS.

In merito alla *valutazione* si è cercato, a partire dalla lettura dei documenti, di capire se fosse possibile operare una distinzione tra responsabilità del processo di VAS e sua *attuazione operativa*. La distinzione ha senso se si considera che, mentre dal punto di vista formale la responsabilità del processo è inequivocabilmente del programmatore, dal punto di vista sostanziale l'affidamento della VAS ad un altro soggetto ha comportato di fatto una, almeno parziale, deresponsabilizzazione del programmatore; cosa che appare palese in almeno 6 casi di valutazione dei POR. Per quanto riguarda l'aspetto esecutivo del processo valutativo, sono state identificate le categorie ricorrenti di soggetti cui è stata affidata la VAS e delle strutture tecnico-scientifiche che spesso hanno operato a supporto. La distinzione più generale è quella tra:

- soggetti *interni* all'amministrazione regionale quali l'AAR e le TF a supporto, le ARPA<sup>12</sup>, i servizi regionali per l'ambiente e il territorio, i Nuclei di Valutazione;
- soggetti *esterni* (Università, Istituti di Ricerca, società private di valutazione singole o associate);
- soggetti *misti*.

La categoria maggiormente ricorrente è il valutatore ambientale interno all'amministrazione regio-

12. Le ARPA, Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale, sono in realtà enti strumentali delle Regioni. Si è comunque preferito considerarle alla stessa stregua delle Amministrazioni regionali.

nale che, nel caso dei PSR, copre poco più della metà dei casi, mentre per i POR ne rappresenta la quasi totalità (18 su 21). Per il ricorso a forme miste si registrano 3 casi per il PSR ed 1 per i POR. È interessante leggere come sono distribuiti, all'interno di queste categorie, i singoli soggetti. Per quanto riguarda il POR, in 10 Regioni la VAS è stata affidata *esclusivamente* alla AAR che si è avvalsa, il dato è riportato in maniera più o meno esplicita, della TF a supporto. Tuttavia l'AAR appare in altri 5 casi insieme all'ARPA che ha operato in esclusiva solo in un caso. L'AAR appare inoltre anche nell'unico caso di soggetto misto, insieme con ARPA e Università, con un coinvolgimento complessivo in 15 Regioni. Per il resto in un caso si registra l'affidamento al Nucleo di Valutazione Regionale, mentre i 3 casi di affidamento ad un soggetto esterno riguardano Università, Società privata di valutazione e un Istituto di ricerca.

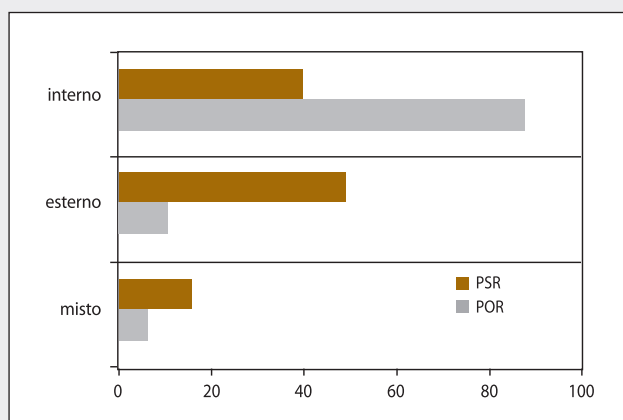
Anche per quanto riguarda il PSR, l'affidamento alla sola AAR risulta la tipologia prevalente anche se in maniera più contenuta (7 casi), con 2 Regioni in cui la VAS è stata realizzata dall'ARPA. Tra i soggetti esterni l'affidamento più frequente è quello alle Università (5 casi), seguito dalle società private (3 casi) e da altri istituti (2). È

interessante notare che l'AAR compare in entrambi i casi di soggetto misto; in un caso con l'Università, nel secondo come coordinamento di un gruppo di lavoro con una nutrita partecipazione di istituti.

In merito al monitoraggio, l'unico dato che è stato possibile estrapolare dai documenti esaminati riguarda l'affidamento o meno di tali compiti già a partire dalla fase di avvio della programmazione e della valutazione. In entrambi i casi in più della metà (12 POR e 13 PSR) delle Regioni l'affidamento del monitoraggio non risultava, almeno esplicitamente, definito. In 6 Regioni l'affidamento risultava alle AAR sia per il POR che per il PSR, mentre negli altri casi, almeno formalmente, il programmatore ha mantenuto tale competenza.

Quali considerazioni trarre da questa analisi? La prima riguarda la lungimiranza della strategia adottata dalla Commissione Europea nel concepire, già a partire dal ciclo 1994-1999, un soggetto deputato all'integrazione della componente ambientale nell'attuazione dei fondi comunitari. La scelta fruttuosa di potenziare, nel corso del ciclo 2000-2006 la *capacity building* di questo soggetto attraverso uno specifico progetto incentrato sulla costruzione di gruppi (TF) con adeguate risorse umane e strumentali. Il ruolo giocato dalle AAR e dalle TF a supporto è risultato decisivo per consentire alle Regioni di dare una risposta competente, adeguata alla sfida dell'applicazione della VAS al ciclo 2007-2013.

Per contro l'affidamento dell'esecuzione della VAS a soggetti esterni, che risulta massiccio soprattutto per i PSR, al di là delle capacità tecniche dei singoli soggetti appare rischiosa nell'ottica di internalizzare le competenze necessarie per gestire in futuro processi così complessi, che peraltro si dispiegano in un arco temporale troppo ampio per poter essere gestiti "a contratto". Quanto emerso in merito all'affidamento delle competenze sul monitoraggio, per il quale raramente sono stati indicati i tempi e i modi e tantomeno precisate con certezza risorse in uomini e strumentazione, appare come un segnale di scarsa consapevolezza della distanza tra un mero adempimento amministrativo una tantum e un processo complesso come la VAS.



**Figura 11**  
VAS PSR e POR: tipologie di valutatore ambientale in percentuale

Fonte: elaborazione degli autori sulla base dei Rapporti Ambientali delle VAS

## Obiettivi

Una corretta definizione degli obiettivi di sostenibilità rispetto ai quali confrontare sia quanto emerge dall'analisi di contesto, in termini di individuazione delle criticità, sia la valutazione degli effetti significativi delle azioni del programma sull'ambiente, costituisce un passaggio importante nel processo di VAS. Propedeutica a tale definizione è la fase di acquisizione delle informazioni relative agli strumenti di pianificazione, generale e di settore, e il confronto tra gli obiettivi che se ne deducono con quelli del piano da valutare: è la cosiddetta analisi di *coerenza esterna*. È evidente che tanto più è ricco il panorama della pianificazione regionale tanto più facile risulta tale processo; l'esistenza di una pianificazione per lo sviluppo sostenibile corredata da obiettivi e target facilita di molto il compito del valutatore.

Non a caso la normativa di recepimento della direttiva sulla VAS prevede che il comitato interministeriale per la programmazione economica aggiorni la strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile e che, successivamente,

«...le Regioni si dotino, attraverso adeguati processi informativi e partecipativi, ...di una complessiva strategia di sviluppo sostenibile che sia coerente e definisca il contributo alla realizzazione degli obiettivi della strategia nazionale» (Cfr. art. 34 comma 4 del DLgs n° 4 del 16 gennaio 2008).

Per quanto riguarda il modo in cui gli obiettivi di sviluppo sostenibile sono stati inseriti nell'ambito delle VAS in esame, dalle analisi effettuate emergono con chiarezza alcuni elementi comuni sia ai POR che ai PSR.

In primo luogo la preponderanza di riferimenti di tipo generale: a livello internazionale, il protocollo di Kyoto e il VI Programma Comunitario di azione in materia di ambiente sono quelli più citati, mentre per i riferimenti nazionali è la strategia di sviluppo sostenibile nazionale che viene maggiormente ripresa.

Il ricorso ai riferimenti normativi regionali è presen-

te in modo massiccio, ma occorre sottolineare che il rispetto della normativa riferita alle varie componenti tematiche rappresenta un rimando di tipo minimale, pure importante specie laddove questo non è scontato. Una strategia di sviluppo sostenibile dovrebbe puntare a obiettivi di sviluppo che leghino in maniera più forte gli obiettivi di crescita con quelli di sostenibilità. Il ricorso a target quantificati è estremamente raro: 2 casi per i POR, 4 per i PSR.

## Analisi di contesto e indicatori

Nella VAS l'analisi di contesto costituisce il riferimento su cui valutare l'impatto che le diverse misure e gli interventi previsti dal piano hanno sulle componenti ambientali. L'elemento che in qualche modo qualifica il contesto è pertanto la sua pertinenza al programma. Le indicazioni della Direttiva, che enumera l'elenco completo delle componenti ambientali<sup>13</sup> che devono essere tenute in conto, e la produzione costante di Relazioni sullo Stato dell'Ambiente hanno portato le Regioni e redigere nella gran parte dei casi "analisi del contesto ambientale" ridondanti e non sempre pertinenti al programma.

Questo problema risulta maggiormente accentuato per la VAS dei POR per la loro natura, rispetto ai PSR, di programmi orizzontali e non settoriali. Risulta così che 15 delle 21 VAS dei POR trattano tutte le componenti ambientali richiamate dalla Direttiva, ma soltanto 6 utilizzano tale analisi per identificare le componenti maggiormente critiche, o viceversa i punti di forza attraverso un'analisi SWOT. Lo schema DPSIR viene esplicitamente utilizzato da 4 Regioni e solo 3 dettagliano l'analisi in modo da identificare aree territoriali di maggiore criticità. Un riscontro che è stato cercato sulla pertinenza o meno dell'analisi di contesto nella valutazione dei POR riguarda il numero di Regioni che in questa fase hanno *codificato* gli indicatori; tale codificazione a giudizio di chi scrive è significativa, come vedremo in seguito, della ricerca di una coerenza tra i set di indicatori utilizzati nelle diverse fasi. Per la VAS dei POR solo in 7 Regioni si è proceduto in tal senso.

Per quanto riguarda la VAS dei PSR, il richiamo al-

13. L'elenco è riportato nell'Allegato I, lett. F: la biodiversità, la popolazione, la salute umana, la flora e la fauna, il suolo, l'acqua, l'aria, i fattori climatici, i beni materiali, il patrimonio culturale, anche architettonico e archeologico, il paesaggio e l'interrelazione tra i suddetti fattori.

le componenti ambientali dell'allegato I della Direttiva risulta meno massiccio (4 Regioni), segno a nostro giudizio che la caratteristica di piano settoriale del PSR ha consentito una maggiore discrezionalità del valutatore nella scelta delle componenti realmente pertinenti e una minore preoccupazione di seguire pedissequamente il dettato normativo. È probabilmente da attribuirsi a questo e alla conseguente minore numerosità degli indicatori utilizzati, oltre che ad una maggiore "strutturazione" del processo di programmazione dello sviluppo rurale<sup>14</sup>, il maggior ricorso ad una codifica degli indicatori che si riscontra in questo caso in più della metà delle Regioni.

Come si è detto, la codificazione degli indicatori utilizzati per l'analisi del contesto costituisce un segnale della ricerca di coerenza tra i set di indicatori che vengono utilizzati nelle fasi cruciali della valutazione: definizione del contesto; identificazione dell'impatto; pianificazione del monitoraggio. Per i POR dall'analisi della documentazione tale coerenza è stata riscontrata in 8 casi, in 5 non è stato possibile valutarla, mentre nei rimanenti casi risultava evidente la mancanza di collegamento tra le 3 fasi. Per i PSR la situazione appare in questo senso più confortante avvalorando quanto detto in precedenza. La coerenza tra le fasi della valutazione è stata riscontrata in 12 casi, contro i 6 in cui è risultata carente, mentre i casi di indeterminazione scendono a soli 3.

Si tratta evidentemente di una analisi estremamente qualitativa e fortemente condizionata dalla soggettività di chi la conduce. Per questo motivo è stata cercata nella documentazione un'ulteriore informazione con minori margini di interpretazione personale. Si è quindi verificato se, al momento della valutazione degli "impatti significativi" del programma sull'ambiente, tali impatti fossero stati collegati a uno o più indicatori e se tali indicatori corrispondessero a quelli utilizzati per l'analisi del contesto. Da tale esame risulta il dato non proprio confortante che tale collegamento risulta in soli 2 casi per i POR e in 4 per i PSR. Un ulteriore quesito che ci si è posti è se nel corso della valu-

tazione sono stati identificati indicatori rilevanti ma non popolabili al momento e se di conseguenza ciò è stato segnalato al sistema di acquisizione delle informazioni per provvedere con apposite ricerche o campagne. Anche in questo caso il risultato non risulta confortante, in quanto soltanto in 3 Regioni è stata colta l'occasione della VAS per rafforzare il sistema di monitoraggio e acquisizione del dato ambientale necessario alla valutazione e non disponibile.

### **Partecipazione**

La VAS prevede la partecipazione come un momento fondamentale dell'intero processo di valutazione, in linea peraltro con la strategia della Commissione Europea in tema di coinvolgimento del pubblico nelle questioni ambientali. Per tale ragione, si è ritenuto utile inserire nell'analisi questo aspetto, considerandolo sotto il punto di vista delle fasi di coinvolgimento dei Soggetti con Competenze Ambientali (SCA) e del pubblico, evidenziando per quanto possibile gli esiti delle consultazioni.

Contestualmente all'elaborazione dei due programmi, è stato attivato un percorso di consultazione dei SCA e del pubblico ai sensi dell'art. 6, par. 2 della Direttiva 2001/42/CE. Di questo processo si dà conto nelle VAS, in modo particolare per quanto riguarda le fasi, la tempistica, i soggetti coinvolti, anche se non mancano casi in cui tali informazioni sono carenti o non sono disponibili.

Focalizzando l'attenzione sui soggetti coinvolti, si notano due linee di tendenza che accomunano le VAS dei POR e dei PSR.

Anzitutto, l'attività di partecipazione ha visto uno sforzo di coinvolgimento dei SCA rivolto in particolare modo ai soggetti più qualificati dal punto di vista delle competenze ambientali sul piano istituzionale. Per la partecipazione alle consultazioni sono stati individuati all'interno delle amministrazioni diversi soggetti con competenze ambientali (Dipartimenti Ambiente, specifici Settori/Servizi/Uffici interni competenti per singoli aspetti ambientali, le Agenzie Regionali/Provinciale di protezione dell'Ambiente - ARPA/APPA, ed altri), il cui elenco vie-

14. Ci si riferisce al già citato Quadro Comune di Monitoraggio e Valutazione (QCMV), in cui la Commissione e gli Stati membri condividono gli strumenti per aumentare la conoscenza sull'attuazione delle politiche cofinanziate. Cfr. [3].



ne in molti casi riportato nello specifico documento informativo sulle consultazioni, mentre altre volte ci si riferisce genericamente ai SCA. In un solo caso una Regione di confine ha applicato il principio delle consultazioni transfrontaliere sancito dalla Direttiva. Diverso invece il percorso seguito nel caso della partecipazione del pubblico. In questo caso, si nota in generale una maggiore difficoltà ad avviare o, comunque, a rendere visibile un percorso partecipato che coinvolga il partenariato socio-economico e gli *stakeholders* ambientali o i soggetti che comunque hanno interesse nel processo. Spesso, nella descrizione del processo si fa riferimento al fatto che i documenti sono presenti sul sito e che è possibile inviare delle osservazioni.

In generale, anche le fasi, modalità e tempi del coinvolgimento sono descritti, anche se non sempre il percorso seguito è ricostruibile dalle informazioni a disposizione.

La durata delle consultazioni varia da Regione a Regione, e durante questo lasso di tempo è stato possibile per i diversi soggetti esprimere dei pareri e fare delle proposte relative ai documenti. I contenuti di queste osservazioni sono stati allegati alla VAS e si è dato conto degli esiti, cioè se i suggerimenti sono stati accolti o meno, con relativa motivazione. In relazione a quest'ultimo aspetto in realtà, gli esiti delle consultazioni non sempre sono stati messi a disposizione dettagliatamente, ma spesso si è fatto uso di formule generiche.

Da questo punto di vista, una differenza si nota tra le VAS dei POR e i PSR: in questo secondo caso, infatti, sono meno numerose le Regioni che utilizzano formule vaghe per descrivere gli esiti del percorso partecipativo.

La maggioranza delle procedure di partecipazione si sono concluse con la formulazione di alcune osservazioni per il miglioramento del Programma accolte dall'Autorità di Gestione su diversi elementi, che vanno dall'approfondimento in sede di valutazione delle tematiche presenti, all'integrazione di temi ritenuti importanti ma assenti nella VAS, alle proposte di integrazione relative ai programmi. Ciò mette in luce, almeno in alcuni casi, l'interesse e la competenza dei soggetti consultati e la ric-

chezza dei processi di partecipazione e di consultazione, che vengono interpretati in maniera effettiva e non come mera procedura da eseguire.

A conclusione dell'analisi, si può in generale dire che le Regioni hanno indubbiamente effettuato uno sforzo ampio per consentire il coinvolgimento dei SCA, degli *stakeholders* e del pubblico. In qualche caso traspare, in linea con altre esperienze italiane sulla partecipazione (Forni A., et al., 2004), un approccio più rituale che effettivo. Infine, sugli esiti del processo partecipativo e di come le osservazioni abbiano arricchito la valutazione e la programmazione è necessario sospendere il giudizio in quanto appare particolarmente arduo scorporare l'efficacia di singole fasi o procedure rispetto all'esito complessivo del processo di VAS.

### Energia

Il ciclo di programmazione 2007-2013, molto più che in passato, assegna al settore energetico un ruolo cruciale. Uno degli obiettivi generali della priorità 3 del QSN<sup>15</sup> è dedicato alla

“...promozione delle opportunità di sviluppo locale attraverso l'attivazione di filiere produttive collegate all'aumento della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e al risparmio energetico”.

Conseguentemente nei POR una quota rilevante delle risorse complessive, tra il 20 e il 25% a seconda delle Regioni, viene destinata a questo tipo di interventi. Non a caso, il settore energetico viene quasi sempre richiamato nell'analisi di contesto dei POR. Anche nei PSR l'energia, sia per quanto riguarda la produzione da rinnovabili, segnatamente da biomasse, sia per quanto riguarda pratiche agricole e forestali che contribuiscano alla riduzione delle emissioni di gas serra e consentano di aumentare la quantità di carbonio immagazzinata, non svolge un ruolo trascurabile. L'energia è quindi presente nell'analisi di contesto di più della metà dei PSR. Fermo restando che gli aspetti ambientali e il raggiungimento degli obiettivi delle strategie comunitarie in materia di lotta ai cambiamenti climatici costituiscono un requisito imprescindibile,

15. Priorità 3 “Energia e ambiente: uso sostenibile e efficiente delle risorse per lo sviluppo” [25], pag. 103.

occorre in ogni caso rammentare che in entrambi gli strumenti di programmazione l'obiettivo centrale è sempre connesso allo sviluppo dei territori.

Non stupisce pertanto che in nessun caso le Regioni si siano cimentate, almeno nell'ambito della VAS, in una valutazione approfondita finalizzata a stimare l'effetto degli interventi dei programmi in campo energetico sulle emissioni di gas serra, stima elaborata solo successivamente per i POR nell'ambito di una attività promossa dal MISE/DPS e realizzata dall'ENEA (ENEA, 2010).

In questo ambito ci si è limitati a condurre un'indagine finalizzata a:

- verificare in primo luogo il livello di coerenza tra programmazione di settore (Piano Energetico Ambientale Regionale – PEAR) e comunitaria;
- verificare se in sede di programmazione e valutazione ci sia stato o meno, per quanto riguarda l'energia, un tentativo di integrazione sinergica tra il POR e il PSR.

Su entrambe le questioni indagate i riscontri non sono particolarmente positivi e c'è qualche motivata ragione di perplessità.

Per quanto riguarda i POR, nell'analisi di coerenza "esterna" compresa nella VAS il PEAR viene utilizzato come riferimento per 11 Regioni; in 6 casi viene riconosciuto un ritardo nella programmazione energetica o nel suo aggiornamento. Oppure a fronte della presenza del PEAR ne vengono segnalate le carenze, in particolare nella definizione di obiettivi e target utilizzabili operativamente. Da questo punto di vista, attraverso la segnalazione di queste carenze, la VAS potrebbe avere svolto una funzione di ricognizione estremamente utile. Sorprendentemente in 5 casi il PEAR non viene affatto menzionato.

Per i PSR, il PEAR viene esplicitamente richiamato nella costruzione degli obiettivi di sostenibilità della VAS in 13 casi, mentre si segnalano le carenze della programmazione energetica in 3 casi. Anche per i PSR per 5 Regioni il PEAR non viene affatto citato.

Infine per quanto riguarda l'integrazione e le sinergie tra POR e PSR nell'attuazione delle politiche energetiche il problema non si è posto per 18 Regioni, mentre in due casi il PSR richiamava la necessità di integrazione con il POR, ma non viceversa; in un altro caso il problema veniva posto nel POR e ignorato nel PSR. Su questo aspetto trovano

pertanto conferma le preoccupazioni espresse in altra sede (Del Cielo R., 2008) riferite alle criticità per alcune tematiche (energia, ricerca) di trovare approcci coerenti e integrati, non tanto all'interno di singoli piani, quanto piuttosto nel raccordo tra diversi strumenti di programmazione regionale.

Viceversa, quanto emerso dall'indagine dà un'idea abbastanza netta di quanto i richiami e le strategie per approdare ad una programmazione unitaria, cui si è fatto cenno in questo lavoro, siano stati disattesi.

## Conclusioni

Il ciclo di programmazione 2007-2013 costituisce senza dubbio il più ampio e completo ambito di applicazione della VAS che ci sia stato in Italia. Per la prima volta, tutte le amministrazioni regionali si sono confrontate, nello stesso periodo di tempo, con questo nuovo strumento valutativo, applicandolo alla stessa tipologia di piano. La VAS sulla programmazione 2007-2013 è stata realizzata in presenza di un quadro normativo molto incerto, con la Direttiva 2001/42 come unico riferimento; un riferimento tanto solido dal punto di vista dei contenuti, quanto generico da quello procedurale.

È emerso che in questa esperienza le Autorità Ambientali Regionali hanno svolto un ruolo decisivo nella valutazione dei POR come dei PSR, consentendo alle Regioni di adempiere a quanto richiesto dalla Commissione. Questo risultato è strettamente connesso al rafforzamento, avvenuto nel precedente ciclo, della *capacity building* delle amministrazioni in questo campo attraverso le task force di supporto alle AAR. Si tratta di processi lunghi che devono essere programmati adeguatamente in termini di selezione e formazione delle risorse umane e di acquisizione di strumentazione. Molto spesso riguarda capacità e competenze cui i soggetti esterni alle amministrazioni non possono supplire.

Nell'applicazione della VAS non si può prescindere da una appropriata pianificazione delle strategie di *sviluppo sostenibile* in grado di garantire un riferimento preciso attraverso obiettivi e target definiti. Per gli indicatori vale un discorso analogo e la percezione è talvolta quella di un approccio burocratico e formale alla valutazione ambientale in cui l'utilizzo di indicatori sembra costituire il fine

e non, come dovrebbe essere, la “scatola degli attrezzi” del valutatore.

In un siffatto contesto la partecipazione è l'elemento della VAS che corre i maggiori rischi di ritualità e di formalità. Dall'analisi emerge tutto lo sforzo che le strutture regionali preposte hanno fatto per dare incisività ad un elemento cruciale della *governance* innovativa. Appare chiaro che il processo riguarda tutti gli attori: il programmatore deve accettare di mettere in discussione le proprie scelte, di doverle argomentare con accuratezza e preparazione, rendendo trasparenti gli interessi che guidano le proprie decisioni; la comunità tecnico-scientifica (nella VAS i soggetti con competenze ambientali) deve essere in grado di garantire la propria autonomia e la propria capacità d'azione senza abdicare al proprio ruolo; il pubblico, organizzato o meno, deve essere

preparato a svolgere il ruolo, non facile, di esprimere le proprie posizioni con modalità costruttive e in forme razionali. La parte di indagine svolta per il settore energetico è emblematica dei rischi e delle potenzialità di questi processi; soltanto la capacità di programmare consapevolmente le diverse opzioni tecnologiche, economiche, ambientali e sociali che abbiamo davanti consentirà di vincere una partita in cui la VAS è uno degli strumenti più importanti che abbiamo a disposizione.

Con la programmazione 2007-2013 ormai a regime, il presente lavoro intende porre le basi per un più approfondito esame, comprendente anche la fase di attuazione, delle problematiche connesse all'utilizzo della VAS su una scala estremamente significativa dal punto di vista tematico, territoriale e temporale.

## Bibliografia

- [1] Calenda C. 2007, *Attuazione della Direttiva Comunitaria n. 42/2001: alcune applicazioni di valutazione ambientale strategica*, XXVIII Conferenza Italiana di Scienze Regionali – AISRe, Bolzano 26-28 settembre 2007.
- [2] Commissione Europea 2003, *Attuazione della Direttiva 2001/42/CE concernente la valutazione degli effetti di determinati piani e programmi sull'ambiente*, Comunità Europee, Lussemburgo.
- [3] Commissione Europea 2006, Direzione generale dell'Agricoltura e dello sviluppo rurale, Sviluppo Rurale 2007-2013 - *Manuale del Quadro Comune per il Monitoraggio e la Valutazione (QCMV)*, settembre 2006. [http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/evalguidance/document\\_it.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/rurdev/evalguidance/document_it.pdf)
- [4] Commissione Europea 2009, *Study concerning the report on the application and effectiveness of the SEA Directive (2001/42/EC)*, EC, Bruxelles April 2009.
- [5] Del Ciello R. 2008, *Le buone prassi di LEADER nella valorizzazione dell'ambiente e dello spazio naturale*, in: Rivista dello Sviluppo Rurale – Quadri-mestrale della Rete per lo sviluppo rurale Leader+, n. 13/2008.
- [6] ENEA 2010, QSN 2007-2013 – *Valutazione dell'impatto potenziale dei Programmi Operativi FESR sulla riduzione delle emissioni di gas serra*, a cura di N.M. Caminiti. [http://www.enea.it/produzione\\_scientificaledizioni\\_anno2010.html](http://www.enea.it/produzione_scientificaledizioni_anno2010.html)
- [7] Forni A., De Muro P., Monaco F. 2004, *Nuovi Modelli di governance per uno sviluppo territoriale*, Roma 2004.
- [8] Ministero dello sviluppo economico 2007 – DPS, *Quadro strategico nazionale per la politica di coesione 2007 – 2013*, giugno 2007.
- [9] Rega C. 2006, *La Valutazione Ambientale Strategica: proposte metodologiche di ricerca e riflessioni sul quadro normativo nazionale*, XXVII Conferenza Italiana di Scienze Regionali – AISRe, Pisa 12-14 ottobre 2006.
- [10] Sadler B. & Verheem R. 1996, *Strategic Environmental Assessment 53: Status, Challenges and Future Directions*, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, The Netherlands, and the International Study of Effectiveness of Environmental Assessment.
- [11] Scardi M. 2010, *Presentazione del progetto di ricognizione e analisi delle Valutazioni Ambientali Strategiche dei PSR2007-2013*, presentato al Workshop della Rete Rurale Nazionale Monitoraggio e valutazione in itinere dei PSR 2007/2013, svoltosi a Roma il 24 giugno 2010.
- [12] Sistema Nazionale di Valutazione 2006, *Indicazioni per la redazione del Rapporto di valutazione ex-ante dei programmi operativi 2007-2013*, mimeo, novembre 2006.
- [13] Spaziante A., Murano C. 2010, *La Valutazione Ambientale Strategica (VAS): il recente percorso dei Fondi Strutturali Europei. Il caso dei Programmi di Sviluppo Rurale (PSR)*” in: (a cura di) Ferlaino F. *Strumenti per la valutazione ambientale della città e del territorio*, Franco Angeli.



## Tecnologie alternative di trattamento termico dei rifiuti

Pasquale De Stefanis

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

*Per il recupero energetico dai rifiuti vengono sempre più di sovente proposte tecnologie di gassificazione e pirolisi, a causa principalmente della diffusa ostilità dell'opinione pubblica nei confronti dell'incenerimento. Esse presentano dei potenziali vantaggi in termini energetico-ambientali, ma il loro sviluppo è ancora frenato da aspetti di natura tecnico-economica; la loro applicazione a livello commerciale rimane a tutt'oggi ancora marginale e ristretta ad alcune specifiche aree a livello mondiale*

### Alternative Waste Thermal Treatment Technologies

*Mostly due to the negative perception of incineration by public opinion, thermal treatment processes for energy recovery from waste, such as gasification or pyrolysis, are often proposed as an alternative to the mass burning. Actually, alternative technologies can offer several potential advantages from an energetic/environmental point of view, but so far their benefits are not so appreciated commercially. Indeed, their development is still curbed by some technical/economic aspects strongly limiting their commercial application to waste treatment*



Le tecnologie di trattamento termico alternative alla combustione diretta dei rifiuti si basano sui processi di gassificazione e/o pirolisi. In particolare la gassificazione<sup>1</sup> conta già da tempo svariate applicazioni in campo industriale; il suo principale impiego riguarda la produzione di energia a partire da combustibili fossili (carbone, residui della distillazione del petrolio) e, in misura minore, il trattamento di biomasse provenienti da colture e/o da scarti di origine vegetale.

L'interesse relativamente recente verso un'estensione del loro utilizzo nel settore del trattamento termico dei rifiuti è sostanzialmente determinato dal sentimento di diffusa ostilità che l'opinione pubblica nutre nei confronti della combustione diretta dei rifiuti, in termini tecnici e giuridici definita come "incenerimento". Vocabolo quest'ultimo messo al bando dal linguaggio corrente e sostituito con neologismi meno impattanti quali "termovalorizzazione" o "termoutilizzazione", come per esorcizzare i presunti effetti disastrosi sulla salute umana e sull'ambiente che si ritiene potrebbero derivare dalla sua pratica.

È logico quindi che l'opinione pubblica e la classe politica guardino con un certo interesse a tecnologie di trattamento termico alternative all'incenerimento. Tecnologie che presentano potenziali vantaggi (possibilità di incrementare i livelli di recupero energetico, riduzione delle portate degli effluenti gassosi da sottoporre a trattamenti depurativi, miglioramento delle caratteristiche di innocuizzazione e maggiori potenzialità di riutilizzo dei residui solidi), ma che risultano ancora condizionate da alcuni aspetti negativi, di natura tecnico-economica, che ne hanno frenato lo sviluppo a livello industriale nel settore del trattamento dei rifiuti.

Senza entrare in dissertazioni tecniche di dettaglio

si cercherà di esaminare lo stato attuale e le prospettive delle tecnologie alternative di trattamento termico dei rifiuti, con particolare riguardo a quelli di origine urbana e alle frazioni combustibili da essi derivati tramite trattamenti di tipo meccanico-biologico.

## I processi e le tecnologie

Le tecnologie di trattamento termico, sia convenzionali che alternative, sono tutte riconducibili all'applicazione di tre distinti processi costituiti da:

- combustione;
- gassificazione;
- pirolisi.

Tali processi si distinguono principalmente per le differenti condizioni operative quali i livelli di temperatura impiegati e la presenza o meno di un agente ossidante, come riportato sinteticamente nella *tabella 1*.

In particolare la combustione consiste in un processo di rapida ossidazione di sostanze organiche (combustibili) per azione di un agente ossidante, di norma costituito dall'ossigeno presente nell'aria. Nel caso specifico del trattamento dei rifiuti essa viene identificata come "incenerimento", in quanto si fa riferimento alla sua funzione primaria che è quella di convertire sostanze comunque pericolose o perché putrescibili (è il caso dei rifiuti urbani, RU) o che presentano caratteristiche di nocività (è il caso di alcuni rifiuti di origine industriale) in composti gassosi (anidride carbonica, vapore d'acqua) e in residui solidi praticamente inerti (ceneri). Dal recupero del calore contenuto nei fumi di combustione è possibile, tramite un ciclo termico a vapore di tipo convenzionale, dare luogo alla produzione di energia termica e/o elettrica.

1. Al termine gassificazione può essere attribuito un significato piuttosto ampio, comprendente, in senso lato, qualsiasi trattamento termico di materiali solidi e/o liquidi, finalizzato alla produzione di un gas derivato (syngas) da impiegare principalmente come combustibile per la produzione di energia. In tale accezione sono inclusi anche la pirolisi o i trattamenti che si basano sulla combinazione di due o più processi di trattamento termico, nonché i trattamenti basati sull'utilizzo di tecnologie al plasma.

Tabella 1 – Condizioni operative dei processi di trattamento termico di rifiuti

	Combustione	Gassificazione	Pirolisi
Temperatura operativa, °C	850-1400	800-1600	250-700
Pressione, bar	1	1-45	1
Atmosfera	Aria	Aria, O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Inerte
Rapporto stechiometrico	> 1	< 1	0
<b>Prodotti del trattamento:</b>			
Gassosi	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , (N <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> , CO, idrocarburi, (N <sub>2</sub> )
Liquidi	-	-	"Tar"
Solidi	Scorie e ceneri	Scorie e ceneri (medio-bassa T) Vetrificato (alta T)	Scorie e ceneri, Char

Fonte: elaborazione ENEA

La gassificazione è un processo termochimico che si svolge in carenza di ossigeno, condizione che consente di ottenere un'ossidazione parziale dei rifiuti, i quali vengono trasformati in un gas combustibile, detto gas di sintesi o syngas, composto principalmente da monossido di carbonio (CO) e idrogeno (H<sub>2</sub>). Tale gas può avere un potere calorifico inferiore (PCI) compreso tra 4 e 16 MJ/Nm<sup>3</sup> in funzione delle condizioni operative di gassificazione, dell'impiego di aria o ossigeno come agente ossidante, nonché delle caratteristiche del materiale trattato. Esso può trovare impiego come combustibile in caldaie per la produzione di vapore o, previo trattamenti di depurazione, essere utilizzato in motori a combustione interna o turbine per la produzione diretta di energia elettrica.

La pirolisi ha già trovato da tempo una serie di applicazioni in campo industriale, ma solamente a metà degli anni 70 è stata investigata la sua applicazione al trattamento dei rifiuti.

Il processo consiste in una decomposizione chimica e fisica della materia organica per azione del calore in assenza di ossigeno o altri ossidanti; a differenza della combustione, essa è costituita da un processo globalmente endotermico, per cui necessita di calore da una fonte esterna per poter

distillare tutte le componenti volatili presenti nella materia organica.

I principali prodotti ottenibili sono:

- una frazione gassosa, con PCI di norma variabile da 4 a 12 MJ/Nm<sup>3</sup>, costituita prevalentemente da idrogeno, metano, monossido di carbonio e anidride carbonica;
- una frazione liquida (tar), contenente catrame e acqua con sostanze organiche in essa solubili (acido acetico, acetone, metanolo ecc.);
- un residuo solido costituito, costituito da una matrice carboniosa combustibile (charcoal o char) e dagli inerti presenti nel rifiuto.

Va evidenziato che molte delle tecnologie di trattamento termico proposte sono il risultato di una combinazione più meno articolata dei succitati processi, in funzione dei rifiuti da trattare e delle prestazioni energetico-ambientali che si intendono conseguire.

Vengono inoltre di tanto in tanto proposte soluzioni tecniche dai nomi spesso altisonanti e fantasiosi (tecnologie all'arco-plasma<sup>2</sup>, dissociazione molecolare, modificatore molecolare ecc.) che risultano tuttavia sempre riconducibili ad una applicazione dei tre processi sopra descritti, spesso in combinazione fra di loro.

2. Il plasma può essere considerato una sorta di quarto stato della materia, ottenuto mediante una scarica, fornita attraverso un arco elettrico, che consente di ottenere la ionizzazione di una corrente gassosa, caratterizzata da temperature elevatissime, dell'ordine dei 5.000-10.000 °C.

In particolare l'applicazione della tecnologia del plasma al trattamento dei rifiuti può avvenire con diverse modalità e finalità, come riportato sinteticamente in *figura 1*.

L'applicazione del plasma al trattamento dei rifiuti viene percepita dai non addetti ai lavori come una soluzione innovativa, ad elevato contenuto tecnologico. In realtà essa è utilizzata da decenni, anche se il suo campo di applicazione è rimasto ristretto al trattamento di flussi particolari quali i rifiuti, per lo più inorganici, altamente pericolosi o radioattivi. La sua applicazione consente di ottenere in questo caso un prodotto finale vetrificato che presenta le caratteristiche di un materiale pressoché inerte.

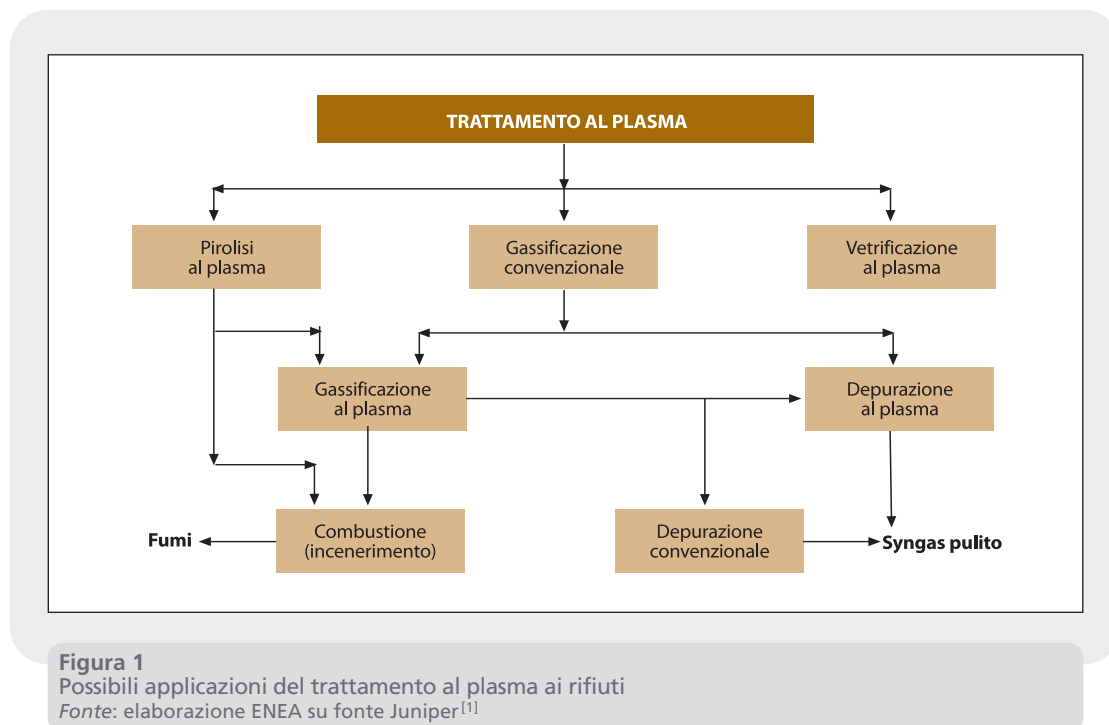
Occorre sottolineare che l'applicazione del plasma, specie se riferita al trattamento dei RU, può essere di norma inquadrata come una tecnologia di gassificazione ad alta temperatura se condotta in presenza di ossigeno e/o vapore, nella quale il plasma

funge da vettore termico, sostituendo in parte o in toto, come fonte di energia, la combustione parziale del rifiuto e/o di combustibili tradizionali.

I tempi più recenti l'applicazione del plasma è stata anche proposta per il trattamento spinto (*polishing*) finalizzato all'eliminazione del tar presente nel syngas grezzo prodotto tramite sistemi di gassificazione tradizionali (*figura 1*).

### Il recupero energetico

Nella gassificazione e nella maggior parte delle tecnologie basate sulla pirolisi il recupero energetico può essere effettuato tramite la successiva combustione del gas prodotto (che potrebbe avvenire anche in impianti diversi da quello di produzione)<sup>3</sup>, effettuata sia in cicli termici tradizionali, sia in apparecchiature di conversione diretta in energia elettrica, quali le turbine o i motori a combustione interna.



3. Le considerazioni di carattere generale valgono anche per gli altri sottoprodotti (liquidi, solidi) della pirolisi che possono trovare impiego come combustibili.

L'effettiva possibilità di utilizzo energetico dei syngas prodotti da processi di pirolisi o gassificazione è strettamente legata, oltre che al loro contenuto energetico, alla presenza di alcune componenti minori che possono rendere problematico sia il trasporto a utenze esterne all'impianto, sia l'eventuale impiego. Tra queste, particolare importanza rivestono le particelle solide trascinate, i composti acidi (HCl, H<sub>2</sub>S, acidi organici) ed alcalini (NH<sub>3</sub>) e il tar, costituito da un complesso di idrocarburi pesanti condensabili. Quest'ultimo, in particolare, può formare depositi viscosi di sostanze oleose e polveri a seguito del raffreddamento del syngas già a temperature intorno ai 250-300 °C, con conseguenti problemi di sporco e di intasamento delle apparecchiature e degli organi meccanici.

Il trasporto a distanza del syngas o il suo utilizzo in apparati o in cicli di produzione di energia elettrica ad elevato rendimento (motori a combustione interna, turbine a gas) richiede, quindi, trattamenti di depurazione piuttosto spinti (depolverazione, lavaggi multistadio) che, oltre alle complicazioni di carattere operativo-gestionale, determinano un impoverimento del contenuto energetico del syngas, sia in termini di perdita del calore sensibile (dovuta al raffreddamento) che di riduzione

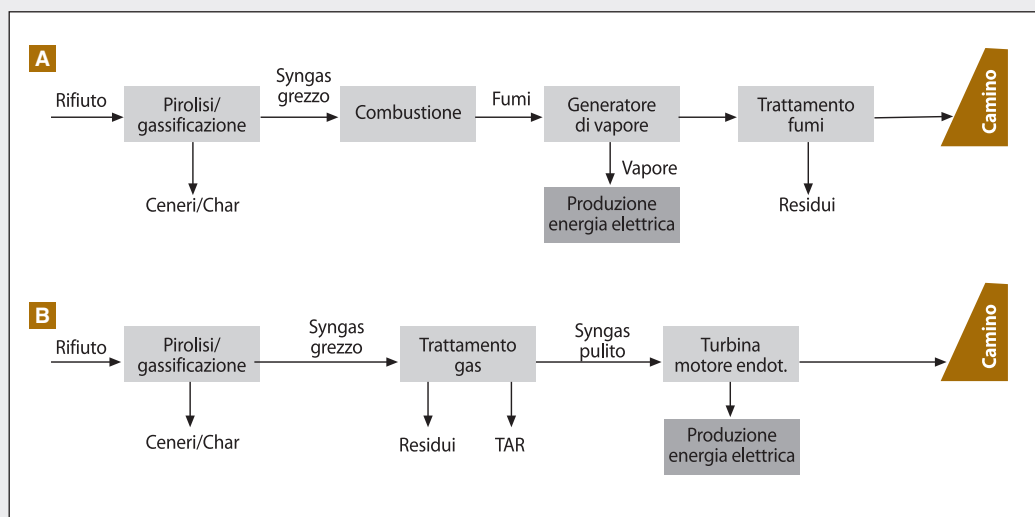
del potere calorifico inferiore (conseguente alla rimozione del tar).

In generale lo sfruttamento energetico del syngas prodotto può essere effettuato secondo due alternative (figura 2):

- la combustione diretta del syngas così come prodotto, oppure dopo trattamenti piuttosto blandi, in sistemi convenzionali di combustione (es.: generatore di vapore) posti a valle del gassificatore (conversione di tipo "termico");
- l'utilizzo del syngas in installazioni non convenzionali, quali i motori a combustione interna e le turbine a gas, previa depurazione spinta (gassificazione di tipo "elettrico").

Nella gassificazione di tipo "termico" il syngas prodotto viene combusto senza subire (o dopo piuttosto grossolani) trattamenti depurativi tesi all'eliminazione delle polveri trascinate, del tar e degli altri inquinanti presenti (HCl, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> ecc.), in modo da generare energia elettrica tramite la produzione di vapore. I fumi esausti debbono ovviamente essere trattati a valle della combustione, come avviene in un tradizionale impianto di incenerimento di rifiuti.

Questa soluzione non differisce sostanzialmente dalla combustione diretta dei rifiuti. La differen-



**Figura 2**  
Gassificazione di tipo "termico" (A) e di tipo "elettrico" (B)  
Fonte: elaborazione ENEA



ziazione diviene pressoché formale in alcuni casi nei quali non è possibile separare fisicamente la fase di pirolisi/gassificazione da quella di combustione finale del gas derivato, per cui il trattamento viene a configurarsi come un incenerimento e come tale, giustamente, sottoposto a tutte le prescrizioni e le normative ad esso applicabili<sup>4</sup>. Va sottolineato a riguardo che il termine “gassificazione” viene utilizzato sovente in una forma che potremmo definire in un certo senso impropria. In senso etimologico stretto esso dovrebbe identificare la trasformazione di un materiale solido o liquido in un vero e proprio prodotto costituito dal gas derivato, che potrebbe trovare impiego anche in luogo diverso da quello di produzione. La formazione di un syngas tramite la combustione parziale (gassificazione) o la decomposizione termica (pirolisi) di rifiuti e la sua immediata combustione senza alcuna depurazione preventiva è più inquadrabile tecnicamente come un processo di “combustione a stadi”, tipica dell’alternativa di tipo “termico”. Non a caso la direttiva 2000/76/CE sull’incenerimento dei rifiuti (ripresa a livello nazionale dal DLgs 133/2005) nel definire un impianto di incenerimento precisa che

«Sono comprese in questa definizione l’incenerimento mediante ossidazione dei rifiuti, nonché altri processi di trattamento termico, quali ad esempio la pirolisi, la gassificazione ed il processo al plasma, a condizione che le sostanze risultanti dal trattamento siano successivamente incenerite».

Nella gassificazione di tipo “elettrico”, invece, risultano ben distinte le due fasi della produzione del gas derivato e del suo impiego in turbina o motore a combustione interna per la produzione di energia elettrica, previo trattamento di depurazione spinta.

È proprio questa soluzione che, allo stato attuale, presenta maggiori potenzialità di sviluppo, poiché, sulla base di quanto già sperimentato con il carbone ed alcune biomasse, la produzione di un

combustibile gassoso destinato ad essere impiegato in una turbina consente l’adozione di cicli combinati per la produzione di energia elettrica. Dal recupero energetico effettuato sui fumi di scarico della turbina è possibile produrre vapore da destinare alla produzione di energia elettrica tramite espansione in una turbina secondaria. Questa soluzione offre la possibilità di incrementare notevolmente il rendimento di conversione in energia elettrica, con potenziali benefici di carattere economico ed ambientale.

### Potenzialità e limiti delle tecnologie alternative

L’interesse nei confronti dell’applicazione della gassificazione e della pirolisi al trattamento termico dei rifiuti è determinato essenzialmente da una serie di potenziali vantaggi che esse appaiono offrire in termini di:

- **maggiore recupero** del contenuto energetico dei rifiuti, attualmente piuttosto limitato negli impianti convenzionali di combustione diretta dei rifiuti, che fanno uso di cicli termici a vapore per la produzione di energia elettrica;
- **riduzione delle portate di effluenti gassosi** da sottoporre a trattamenti depurativi;
- **miglioramento delle caratteristiche** d’inertizzazione e migliori possibilità di riutilizzo dei residui solidi prodotti (scorie e ceneri leggere);
- **migliore accettabilità da parte dell’opinione pubblica**, derivante da una serie complessa di motivi, ai quali contribuiscono sicuramente fattori di carattere più emotivo che razionale, principalmente legati ad esperienze negative maturate in passato con l’incenerimento dei rifiuti.

A questi potenziali vantaggi fanno da contraltare alcuni aspetti, principalmente di carattere tecnico-economico, che ne hanno frenato, a tutt’oggi, l’applicazione su vasta scala, quali:

- **i problemi di carattere tecnico tuttora irrisolti**, in grado di condizionare pesantemente lo sviluppo (*scale-up*) degli impianti pilota e di

4. È ovvio tuttavia che i fornitori di tali tecnologie tendano a commercializzare tale soluzione come un impianto di gassificazione, nel tentativo di eludere la percezione negativa dell’opinione pubblica nei confronti dell’incenerimento.

mostrativi alla scala commerciale, messa a punto di tecniche e sistemi di pretrattamento e alimentazione del rifiuto, di depurazione spinta del syngas prodotto, di conversione dello stesso in energia elettrica tramite soluzioni impiantistiche ad elevata efficienza quali i cicli combinati turbina a gas / turbina a vapore, gli unici in grado di compensare, con ampi margini, i maggiori consumi endogeni del trattamento rispetto alle tecnologie convenzionali di recupero energetico;

- **alcuni aspetti economici**, legati principalmente alle molte incertezze che caratterizzano la definizione dei costi associati al trattamento, a causa della limitata esperienza acquisita nell'esercizio di impianti industriali. Esistono poi ancora punti oscuri riguardanti la reale remuneratività dei sottoprodotti ottenuti, l'effettiva esistenza di un loro stabile mercato, nonché la possibilità di garantire con costanza nel tempo la qualità dei materiali recuperati (per le tecnologie che privilegiano il recupero di materia);
- **le complessità impiantistiche e gestionali** caratteristiche di molte delle soluzioni tecnologiche proposte, del tutto simili a quelle tipiche di un impianto chimico, che ne riducono sensibilmente la flessibilità e l'affidabilità rispetto alle installazioni convenzionali di combustione, oltre a richiedere l'adozione di particolari misure di sicurezza per l'esercizio;
- **la necessità di reperire fondi da destinare allo sviluppo del settore**, legata alla esigenza sia di promuovere ulteriori programmi di R&S e dimostrazione, sia di disporre di finanziamenti per la costruzione di impianti basati su tecnologie non totalmente provate, che presentano ampi margini di insuccesso.

### La situazione attuale

Nella prima metà degli anni 90 si era registrato, soprattutto in Italia, un forte interesse nei confron-

ti della gassificazione, che aveva portato alla realizzazione di ben tre impianti di taglia significativa rispettivamente a Verbania, Greve in Chianti (FI) e Porto Azzurro (LI); impianti che, dopo vicende alterne, sono stati tutti fermati essenzialmente per motivi di natura tecnica associati ad una non competitività economica.

La situazione non è mutata sostanzialmente negli ultimi anni per lo meno a livello europeo, dove, salvo casi sporadici, la combustione diretta (incenerimento o "termovalorizzazione") rimane la tecnica predominante ai fini del recupero energetico da rifiuti. Il solo paese dove è stato raggiunto un certo grado di sviluppo di tale tecnologia risulta essere il Giappone, dove sono stati messi a punto sistemi di trattamento derivati per lo più dall'industria siderurgica o dalla rielaborazione di tecnologie sviluppate inizialmente in Europa, ma nel tempo abbandonate principalmente perché non competitive dal punto di vista economico.

Nella *tabella 2* viene riportato un elenco, non esaustivo, aggiornato a fine 2008, delle tecnologie che hanno raggiunto la maturità dal punto di vista commerciale per il trattamento di RU o di frazioni da essi derivati tramite trattamenti di tipo meccanico-biologico, quali il combustibile derivato da rifiuti (CDR) e la frazione secca.

Come si può facilmente rilevare dai dati riportati nella *tabella 2*, la stragrande maggioranza delle tecnologie che ad oggi hanno raggiunto la maturità commerciale è stata sviluppata o messa a punto in Giappone<sup>5</sup>, dove sono stati realizzati pressoché tutti gli impianti operativi su di esse basati. È da notare inoltre che, ad eccezione di una tecnologia proposta dalla JFE che prevede la depurazione preventiva del syngas per il suo successivo impiego in motore a combustione interna per la produzione di energia elettrica, tutte le proposte si basano su di una gassificazione di tipo "termico", vale a dire prevedono la combustione del syngas grezzo e la successiva produzione di energia elettrica tramite un ciclo convenzionale con turbina a

5. Va comunque evidenziato che, benché numerosi, gli impianti che impiegano le tecnologie di trattamento termico alternative alla combustione coprono a tutt'oggi in Giappone una quota minoritaria del recupero energetico da rifiuti, dell'ordine del 10% o di poco superiore, in considerazione dell'elevato numero di impianti di incenerimento tuttora presenti, mediamente di taglia maggiore.

vapore, così come avviene in un impianto di combustione diretta dei rifiuti.

Le motivazioni che sono alla base del notevole sviluppo che le tecnologie di gassificazione hanno registrato in Giappone possono essere così riassunte:

- la necessità di limitare, a partire dalla seconda metà degli anni 90, l'impatto ambientale (soprattutto in termini di emissioni di diossine), derivante dalla presenza sul territorio di un numero enorme (superiore alle 1.500 unità) di inceneritori per lo più di piccola taglia, molti dei quali funzionanti in discontinuo, sostituendoli con impianti ambientalmente più compatibili;
- la possibilità di ottenere le scorie allo stadio fuso all'interno del trattamento termico che con-

sente di limitare al massimo il ricorso allo smaltimento in discarica (aspetto particolarmente sentito in Giappone), favorendone il loro riutilizzo come materiale da costruzione.

È da rilevare inoltre che l'aspetto relativo al recupero energetico non risulta invece particolarmente sentito in Giappone, per cui i livelli di efficienza risultano essere mediamente inferiori a quelli ottenibili in un moderno impianto di incenerimento con recupero energetico, anche a causa della frequente presenza di uno stadio di fusione delle scorie. A livello europeo si registra di nuovo un certo interesse in alcuni paesi (soprattutto Regno Unito e Italia) dettato principalmente dal fatto che non riuscendo a superare l'annosa questione dell'accettazione da parte dell'opinione pubblica di impianti

Tabella 2 – Tecnologie alternative di trattamento termico di RU/CDR con referenze commerciali

Tecnologia	N° impianti	Campo di taglie Kt/a	Processo	Tipo
Ebara (JP)	8	21-183	G + C + M	T
Energos/EnerG (NO/GB)	6	37-75	G + C	T
Entech (AUS)	1	0,5-13	G + C	T
Foster Wheeler (FL)	1	100	G + C	T
Hitachi Ltd (JP)	3	11-78	P + C	T
Hitachi Metals (JP)	2	7-55	G (PL) + C	T
Hitachi Zosen (JP)	7	17-135	G + M + C	T
IHI (JP)	4	27-80	P + M + C	T
ITI Energy (GB)	1	12	G + C	T
JFE (JP)	16	32-185	G+M+C / P+G+M+GC	T/E
Kawasaki Giken (JP)	5	12-55	G + M + C	T
KHI (JP)	2	25-100	G + M + C	T
Kobelco (JP)	7	20-76	G + M + C	T
Mitsubishi Heavy (JP)	1	80	G + M + C	T
Mitsui (JP)	6	47-133	P + M + C	T
Nippon Steel (JP)	26	22-240	G + M + C	T
Sumitomo Heavy Ind. (JP)	1	44	G + M + C	T
Takuma (JP)	3	42-54	P + M + C	T
Techtrade (D)	2	32-100	P + C	T
Thide (F)	1	50	P + C	T
Toshiba (JP)	1	30	P + G + C	T
TPS (SE)	1	50	G + C	T

Legenda: G = gassificazione; P = pirolisi; C = combustione; M = fusione di scorie/ceneri; PL = plasma; GC = combustione del syngas depurato; T = gassificazione di tipo termico; E = gassificazione di tipo elettrico

Fonte: Juniper<sup>[1]</sup>, rielaborato da ENEA

ti di recupero energetico di tipo tradizionale si cerca di *by-passare* il problema proponendo, spesso con motivazioni più di carattere commerciale o di opportunità contingente piuttosto che tecniche, qualcosa di diverso che possa essere presentata come potenzialmente migliore.

Sono in corso in Italia alcune iniziative a livello pilota e/o dimostrativo, finalizzate principalmente al trattamento di CDR (è un dato ormai assodato che l'applicazione di queste tecniche richiede un certo grado di pretrattamento dei RU) e di alcune categorie di rifiuti speciali.

Sicuramente l'iniziativa di maggiore interesse riguarda l'impianto di gassificazione realizzato presso la discarica di Malagrotta a Roma. L'impianto, progettato inizialmente su 3 linee, è entrato in esercizio commerciale nel corso del 2009 ed è attualmente costituito da un'unica linea in grado di trattare fino a 250 t/g di CDR. La tecnologia adottata è derivata da quella della Thermoselect, solo che il primo stadio di pirolisi (che aveva funzione di omogeneizzatore in quanto operante su RU indifferenziati) è stato sostituito dalla produzione di CDR, che viene in questo caso alimentato direttamente al gassificatore ad alta temperatura. È indubbio che i risultati che verranno conseguiti con l'esercizio di questo impianto potranno fornire utili indicazioni sul futuro di tale tecnologia in termini di applicabilità, affidabilità e convenienza economica al trattamento di rifiuti di origine urbana. È prevista inoltre la realizzazione di impianti di gassificazione di tipo "termico" di una certa rilevanza, basati su tecnologie messe a punto in Giappone, ad Albano (RM) e a Genova.

Vengono spesso proposte tecnologie (per lo più messe a punto in realtà estere, anche extraeuropee) molto spesso caratterizzate da nomi altisonanti ma che, sotto l'aspetto tecnico, sono sempre riconducibili a processi di pirolisi e gassificazione (anche in combinazione fra di loro) ovvero di combustione magari con utilizzo di aria arricchita di ossigeno o di ossigeno puro. Un esempio tipi-

co è costituito dalla tecnologia della "dissociazione molecolare", che altro non è che una "rivisitazione" di un sistema di trattamento (di tipo discontinuo) per piccole potenzialità che impiega un primo stadio di gassificazione a bassa temperatura (400-600 °C), cui segue un secondo stadio di combustione del syngas sviluppatosi<sup>6</sup>.

## Conclusioni

L'analisi e le valutazioni effettuate sullo sviluppo delle tecnologie di trattamento termico alternative alla combustione diretta dei rifiuti permettono di trarre le seguenti conclusioni:

- Ai fini della valorizzazione energetica dei RU e delle frazioni da essi derivate (CDR, frazione secca) la tecnologia alternativa più consolidata e competitiva rispetto alla combustione diretta risulta essere allo stato attuale la gassificazione. Va comunque rilevato che la stragrande maggioranza degli impianti oggi in funzione si basano sullo schema di tipo "termico", vale a dire prevedono la combustione del syngas prodotto senza nessuna depurazione preventiva, aspetto che fa sì che dal punto di vista energetico che da quello ambientale non presentino rilevanti vantaggi rispetto all'incenerimento.
- La pirolisi, pur avendo trovato applicazione commerciale per il trattamento di alcune tipologie di rifiuti speciali, non costituisce allo stato attuale una reale alternativa all'incenerimento con recupero energetico dei RU, alla luce delle molto ridotte esperienze di impianti in esercizio a livello internazionale (due soli impianti a livello commerciale operativi in Germania basati su tecnologia *Techtrade*). Il problema principale, oltre alle caratteristiche disomogenee e variabili del rifiuto da trattare, è rappresentato dalla notevole produzione di carbonio incombusto (char) che necessita di un ulteriore stadio di trattamento. Essa può semmai trovare applicazione come stadio di trattamento primario al quale

6. È questa la configurazione "base" sulla quale sono stati realizzati tutti gli impianti ad oggi in esercizio. L'alternativa che prevede la depurazione preventiva del syngas prodotto (solo prospettata, ma non ancora sperimentata) non sembra essere agevolmente percorribile, proprio per la natura discontinua del trattamento, che dà luogo inevitabilmente ad un syngas di composizione fortemente variabile nel tempo.



faccia seguito uno stadio di gassificazione delle correnti gassose e solide in uscita.

- La tecnologia della torcia al plasma non risulta allo stato attuale sufficientemente sperimentata per il trattamento dei RU ai fini del recupero energetico. A livello commerciale sono operativi solo due impianti di gassificazione di tipo "termico" e di taglia ridotta in Giappone (tecnologia *Hitachi Metals*), oltre ad alcune esperienze a livello pilota/dimostrativo e semi-commerciale. La sua applicazione è invece industrialmente matura per la termodistruzione di particolari tipologie di rifiuti pericolosi o radioattivi, nonché per la vetrificazione di scorie e ceneri da incenerimento.
- In termini ambientali la soluzione di tipo "termico" non presenta grossi vantaggi rispetto all'incenerimento in quanto si è in entrambi i casi in presenza di fumi che non differiscono sostanzialmente in termini di portate e di concentrazioni di inquinanti. Nella realtà i fumi dalla combustione del syngas dovrebbero risultare meno carichi di inquinanti, anche se la configurazione impiantistica del sistema di trattamento dei fumi rimane sostanzialmente la stessa.
- Per quanto riguarda i livelli di recupero energetico essi risultano, allo stato attuale, analoghi se non addirittura inferiori a quelli conseguibili in un inceneritore, sia perché viene per lo più

adottata la configurazione di tipo "termico", sia perché la fusione integrata delle scorie e delle ceneri comporta perdite/consumi energetici che non vengono compensati. A questo riguardo è certamente migliorativa e promettente l'alternativa (gassificazione di tipo "elettrico") costituita dalla sequenza gassificazione-depurazione del syngas-combustione in apparecchiature ad alta efficienza di conversione in energia elettrica (motori a combustione interna, turbine a gas, cicli combinati), che però non appare essere attualmente una soluzione industriale consolidata.

In sintesi l'unica vera alternativa all'incenerimento con recupero energetico è attualmente costituita, indipendentemente dalla tecnologia impiegata, dalla gassificazione di tipo "termico", rispetto alla quale il vantaggio principale che essa è in grado di offrire è costituito dalla possibilità di pervenire alla fusione delle scorie/ceneri integrata all'interno del trattamento.

È tuttavia auspicabile lo sviluppo di tecnologie che consentano di ottenere come "prodotto" un syngas con caratteristiche qualitative idonee all'impiego come combustibile in apparecchiature ad alta efficienza di conversione in energia elettrica, nonché come materia prima per l'industria chimica o petrolchimica, alla luce degli evidenti vantaggi conseguibili in termini energetico-ambientali.

## Bibliografia

- [1] Juniper (2008), *Briefing document on the pyrolysis and gasification of waste*.
- [2] De Stefanis P. (2001), *Le tecnologie innovative per il recupero di energia dai rifiuti, Rapporto tecnico ENEA RT AMBI/2001/25*.
- [3] Juniper (2008), *Rating Report: Gasification*.
- [4] Genon G., Tedesco V., Urso P. (2010), *Verifica della fattibilità di un impianto di trattamento termico dei rifiuti a tecnologia innovativa nella Provincia di Torino*, Quaderno di Ingegneria Ambientale n. 51.
- [5] Politecnico di Milano (2008), *Le tecnologie per il recupero di energia dai rifiuti a confronto*. Atti della Giornata di Studio, Piacenza 18 giugno 2008.
- [6] Themelis N. (2007), *Thermal treatment review*, Waste management World, July/August 2007, pp 37-45.

## Emissioni globali di CO<sub>2</sub>: nel 2009 ferme al livello del 2008

Nel 2009 le emissioni globali del principale gas serra di origine antropica, l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), sono rimaste invariate rispetto all'anno precedente. Per oltre 15 anni la crescita delle emissioni era stata causata dal perdurare della crisi economica. Le emissioni nei paesi in via di sviluppo, come Cina e India, sono in realtà cresciute, compensando la riduzione verificatasi nei paesi industrializzati. È quanto affermato nel report *No growth in*

*total global CO<sub>2</sub> emissions in 2009*, pubblicato dall'Agenzia di Valutazione Ambientale dei Paesi Bassi, elaborando i dati energetici provenienti da BP, quelli sulla produzione di cemento dall'US Geological Survey, e quelli raccolti per l'*Emission Database for Global Atmospheric Research* (EDGAR), un progetto del Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea. L'Agenzia olandese ha calcolato che le emissioni provenienti dai combustibili fossili, compresi quelli dei gas di scarto delle perforazioni petrolifere e di altri processi industriali come la produzione di cemento e di ammoniaca, sono diminuiti del 6% nei paesi industrializzati. In Cina ed India tali emissioni sono invece aumentate rispettivamente del 9% e del 6%, nonostante il raddoppio dell'energia eolica e solare prodotta in tali paesi.

La riduzione verificatasi nei paesi industrializzati li aiuterà a soddisfare gli obblighi internazionali previsti dal Protocollo di Kyoto: nel 2009 il livello delle loro emissioni è stato del 10% inferiore ai livelli del 1990, quindi sotto il livello fissato dal Protocollo. Poiché la diminuzione è dovuta alla crisi finanziaria, non si esclude che la ripresa economica possa causare una risalita del livello delle emissioni.

Il report olandese ha anche analizzato le emissioni pro capite. È stato rilevato che, sebbene ci siano stati forti aumenti delle emissioni in paesi come Cina ed India, in questi paesi la media di emissioni per abitante, nel 2009, sia stata ancora inferiore a quella dei paesi industrializzati: 1,4 tonnellate di CO<sub>2</sub> pro capite in India e 6 in Cina, contro i 10 in Olanda e i 17 negli USA.

*Sintesi da nota China and India nullify global reduction in CO<sub>2</sub> emissions (Netherlands Environmental Assessment Agency)*

## La situazione energetica del Canada

Il Canada è uno dei più grandi produttori ed esportatori di energia fra i paesi industrializzati membri dell'International Energy Agency, che ha recentemente pubblicato *Energy Policies of IEA Countries - Canada*, dedicato alla politica energetica del paese nord-americano, riconoscendo il ruolo crescente del suo settore energetico nell'economia nazionale e nella sicurezza energetica globale.

Il governo federale centrale e i governi locali sono fortemente impegnati nel promuovere lo sviluppo sostenibile delle risorse naturali del paese e ad aumentare la capacità energetica complessiva. Il governo federale, in particolare, cerca di bilanciare la produzione e l'uso ambientalmente responsabile dell'energia con la competitività dell'economia assicurando prezzi energetici concorrenziali e sicurezza degli approvvigionamenti. La sostenibilità a lungo termine rimane comunque una sfida, dato che i fattori geografici (in particolare dimensioni e distanze interne) e climatici rendono il Canada il paese IEA con l'intensità energetica più alta ed uno dei più alti emettitori pro capite di CO<sub>2</sub>. Si ritiene pertanto necessaria una strategia mirata all'efficienza energetica accoppiata ad una politica del cambiamento climatico rivolta ai settori chiave delle emissioni. Il governo canadese ha dato la priorità alla tecnologia di cattura ed immagazzinamento del carbonio (*Carbon capture and storage - CCS*) per ridurre le emissioni di gas serra su grande scala. Lo stesso IEA spinge il Canada a fornire la sua leadership internazionale nello sviluppo di questa tecnologia.

## dal Mondo

### Emissioni globali di CO<sub>2</sub>: nel 2009 ferme al livello del 2008

### La situazione energetica del Canada

## Prospettive di mercato buone per l'energia nucleare

In un'analisi del mercato dell'energia elettrica recentemente effettuata dalla società di consulenza Frost & Sullivan, si stima che, a causa dell'invecchiamento degli impianti di generazione presenti in Europa, sarà necessario aggiungere una capacità di circa 300 GW entro il 2020. Le condizioni imposte dalle regole europee sulle emissioni di gas serra, EU Emission Trading Scheme (EU ETS) si faranno tuttavia ancora più stringenti nel 2013, quando inizierà la Fase III.

Di fronte a questo scenario, l'energia nucleare, che non genera emissioni di CO<sub>2</sub>, potrebbe diventare un'interessante alternativa. Anche se non mancano ostacoli da superare, quali gli alti costi iniziali, i permessi di costruzione e i lunghi tempi di attesa per i componenti critici, secondo Frost & Sullivan le prospettive per il nucleare nel lungo termine sono buone.

Il numero di reattori nucleari in Europa ha toccato il massimo storico nel 1989, quando ne erano in funzione 177. A fine 2008 erano 145 i reattori operativi in Europa e l'energia nucleare ha costituito circa il 30% dell'energia elettrica prodotta.

Dopo anni di stallo, dovuto anche alla mancanza di supporto politico e al problema dello smaltimento dei rifiuti, ancora da risolvere in alcuni Paesi, la Finlandia ha riaperto il discorso del nucleare nel 2005 ordinando la costruzione di un terzo reattore nell'impianto di Olkiluoto, primo impianto ordinato dopo una pausa di 15 anni in Europa occidentale. Questa ripresa è continuata con la Francia con la costruzione del reattore Flamanville 3 e la pianificazione di nuove unità. Nel dicembre 2008 le autorità slovacche hanno ripreso la costruzione di due unità nel sito di Mochovce mentre la Bulgaria ha iniziato la costruzione di un reattore a Belene.

La Svezia sta ridiscutendo il bando, stabilito in un referendum del 1980, alla costruzione di nuovi impianti nucleari.

Altri Paesi, come Gran Bretagna, Romania, Ungheria, Repubblica Ceca, Polonia e Lettonia, hanno annunciato la costruzione di centrali nucleari. Il crescente supporto politico e il numero di progetti pianificati e in attesa di sviluppo fanno

prevedere, conclude l'analisi della Frost & Sullivan, un periodo di rinascita per l'energia nucleare da fissione.

## 10 anni di ricerca UE sugli OGM

La Commissione Europea ha recentemente pubblicato un compendio dedicato a 10 anni di ricerca finanziata dall'Unione Europea sugli Organismi Geneticamente Modificati (OGM).

Nella pubblicazione vengono presi in esame i risultati di 50 progetti di ricerca che hanno affrontato, principalmente, la sicurezza degli OGM per l'ambiente e per la salute di animali ed esseri umani.

Lanciati tra il 2001 e il 2010, tali progetti hanno ricevuto stanziamenti UE per 200 milioni di €.

Obiettivo della pubblicazione è quello di contribuire a un dibattito trasparente sugli OGM, basato su informazioni equilibrate e scientifiche. Le ricerche effettuate in questi progetti offrono, potenzialmente, opportunità per ridurre la malnutrizione nei paesi meno sviluppati, aumentare i raccolti e adattare l'agricoltura al cambiamento climatico.

I destinatari della pubblicazione *A decade of EU-funded GMO research* sono ricercatori, policy-makers e tutti gli altri interessati.

I risultati dei progetti non hanno finora evidenziato rischi per l'ambiente o il cibo e la sicurezza alimentare più alti degli OGM rispetto alle piante ed agli organismi convenzionali. Il documento completo è disponibile all'URL [http://ec.europa.eu/research/biosociety/pdf/a\\_decade\\_of\\_eu-funded\\_gmo\\_research.pdf](http://ec.europa.eu/research/biosociety/pdf/a_decade_of_eu-funded_gmo_research.pdf)

dall'Unione Europea

Prospettive di mercato buone per l'energia nucleare

10 anni di ricerca UE sugli OGM

## Lampade "efficienti" e LED spingeranno la crescita del settore energia

Il mercato dei sistemi di illuminazione ad alta efficienza potrebbe essere, secondo uno studio di Frost & Sullivan, uno dei driver fondamentali della ripresa economica dei prossimi mesi nel settore energetico in Italia. A fronte di un tasso di crescita medio del fatturato pari a circa il 6%, ottenuto dalle previsioni per il quinquennio 2011-2016 nei Paesi dell'Unione Europea, il segmento dei sistemi di illuminazione ad alta efficienza potrebbe raggiungere un valore di circa 1,6 miliardi di euro en-

tro la fine del periodo considerato. A guidare la crescita dei prossimi anni saranno le tecnologie CFL (*Compact Fluorescent Lamps*) nel segmento residenziale e le nuove applicazioni per le tecnologie LED (*Light Emitting Diodes*) nel segmento commerciale.

In Italia, una forte espansione del segmento delle tecnologie LED è prevista nel prossimo biennio, con un tasso di crescita del fatturato che si aggirerà intorno al 25%, dovuto soprattutto alla consapevolezza dei vantaggi della tecnologia da parte dei consumatori e all'utilizzo estensivo sia per usi residenziali che commerciali. Il mercato delle tecnologie CFL sarà spinto soprattutto dagli interventi governativi e dalle preferenze del consumatore italiano medio, favorevole ad una illuminazione più "fredda", anche se scettico sulle questioni legate alla durata. Il tasso di crescita previsto per il periodo 2011-2016 è di circa il 4%. Le ipotesi degli studi di mercato si basano su alcuni fattori: la crescente attenzione dei consumatori alle tematiche di risparmio di costo nel bilancio familiare, aziendale e del settore pubblico, la diffusione della cultura di rispetto per l'ambiente e il sempre maggiore coinvolgimento del consumatore finale nell'adozione delle tecnologie innovative che apportano sensibili miglioramenti alla qualità della vita.

## Aperto ad Assago il primo distributore di miscela metano-idrogeno

Il futuro della mobilità di persone e merci dipende sempre più da opere infrastrutturali, collegamenti intermodali, incentivazione del trasporto pubblico, controllo e riduzione del-

le emissioni, agevolazioni per la sostituzione dei mezzi inquinanti con veicoli a ridotto impatto ambientale. Fra le iniziative in questa direzione, c'è quella della Regione Lombardia che ha portato all'apertura, presso un distributore di Assago, sulla Tangenziale Ovest, di un nuovo erogatore di "miscela" formata da metano (70%) e idrogeno (30%).

L'iniziativa ha coinvolto nel progetto Sapio (tecnologie dell'idrogeno), Eni (distribuzione di combustibili e realizzazione di stazioni a policombustibili, Centro Ricerche Fiat (messa a punto di motori innovativi), e Nuova Carrozzeria Torinese (adattamento di vetture per l'uso della miscela idrogeno-metano). La comunicazione e la divulgazione tecnico-scientifica dei risultati è stata affidata alla FAST-Federazione delle associazioni scientifiche e tecniche.

Grazie all'investimento di 2,1 milioni di euro, vengono messe su strada 20 Fiat Panda bifuel (metano e benzina); il loro impianto a gas è stato riprogettato per renderlo compatibile con l'idrogeno e per funzionare al meglio con la miscela; dopo la stazione di servizio di Assago inaugurata a febbraio, a novembre ne è stata aperta un'altra a Monza; viene garantito il monitoraggio continuo della flotta di veicoli via GPRS per il rilevamento dei dati di funzionamento. Le prove sul campo delle 20 Panda costituisce anche un percorso di avvicinamento ai vantaggi ambientali offerti dalle vetture con celle a combustibile, non ancora fruibili dagli automobilisti. In occasione dell'apertura della pompa, Regione Lombardia ed ENI hanno firmato un protocollo d'intesa per la mobilità sostenibile e lo sviluppo della rete di distribuzione del metano per autotrazione.

Fonte: [www.fast.mi.it](http://www.fast.mi.it)

## dall'Italia

Lampade "efficienti" e LED spingeranno la crescita del settore energia

Aperto ad Assago il primo distributore di miscela metano-idrogeno



## L'ENEA alla Conferenza India-EU and Member States Partnership for a Strategic Roadmap in Research and Innovation in India

La D.ssa Neeta Sharma, in organico presso l'Unità Tecnica Tecnologie Trisaia, ha rappresentato l'ENEA alla Conferenza Internazionale *India-EU and Member States Partnership for a Strategic Roadmap in Research and Innovation in India*.

dall'ENEA

L'ENEA alla Conferenza *India-EU and Member States Partnership for a Strategic Roadmap in Research and Innovation in India*

L'evento internazionale, che si è tenuto a Nuova Delhi (India) l'11 e il 12 novembre scorsi, è stato organizzato dalla Commissione Europea (DG Ricerca per l'Impresa e l'Industria) e dagli Stati membri dell'Unione Europea, nel contesto delle attività del Foro Strategico per la Cooperazione Internazionale S&T (SFIC), e con il sostegno dei seguenti organismi internazionali: la Delegazione dell'Unione Europea in India, le Ambasciate degli Stati membri UE in India, il Ministero indiano della Scienza e della Tecnologia, il Ministero della Risorsa Acqua (MOWR), il Ministero dello Sviluppo Urbano (MOUD), il Ministero dello Sviluppo Rurale, il Ministero della Salute&Benessere della Famiglia (MoH&FW), il Ministero dell'Agricoltura, il Dipartimento di Biotecnologia (DBT), il Ministero delle Fonti di Energia Nuove e Rinnovabili (MNRE) e, infine, il Ministero delle Scienze della Terra (MOEs).

La D.ssa Neeta Sharma, selezionata dalla Commissione Europea in rappresentanza dell'Italia e dell'ENEA, è stata invitata come *Speaker* e *Discussant* sulla tematica focale *Biomass/Biowaste/Bioenergy* e come partecipante alla discussione sulla costruenda proposta progettuale da presentare alla call KBBE.2011..4-05: *India-EU Partnering Initiative on biomass production and bio waste conversion through biotechnological approach*.

Nella conferenza è stato discusso lo stato dell'arte e la possibilità di collaborazioni internazionali UE-India su alcune questioni fondamentali relative alla produzione di biomassa, alla conversione sostenibile di biowastes e alla produzione di biocarburanti di se-

conda generazione attraverso un approccio di tipo biotecnologico.

In particolare sono state gettate le basi per la costruzione di un modello pilota, finalizzato ad una collaborazione sistematica UE-India, sul tema *Biomass/Biowaste/Bioenergy*. L'evento ha mobilitato policy makers, amministratori e azionisti della ricerca e dell'innovazione i quali hanno dato un contributo significativo nella individuazione di nuovi meccanismi efficienti ed efficaci di cooperazione internazionale bilaterale (India-UE) e multilaterale (India-UE-Stati membri) finalizzati ad una risposta collettiva nella soluzione delle nuove sfide internazionali.

In particolare, sulle soluzioni per l'acqua e sulle sfide per le bio-risorse, la conferenza ha abbozzato delle idee ed ha proposto delle raccomandazioni per lo sviluppo e la realizzazione di una roadmap strategica nella ricerca e l'innovazione tra India, UE e Stati membri basate sull'uso più efficiente delle risorse esistenti e future e sull'adozione di strumenti innovativi per sostenere la cooperazione internazionale.

Da ultimo, ma non meno importante, la conferenza è stata considerata il punto di partenza per tematiche che trattano altre sfide globali come il cambiamento climatico, la sicurezza di energia e cibo e la salute globale nel futuro, sulle quali è necessario rafforzare la cooperazione.

## Opportunità e limiti delle agroenergie La necessità di un approccio multicriteriale alla sostenibilità dell'energia verde

Maurizio Poletti,  
Tiziano Gomiero  
Aracne editrice, 2009,  
pagine 259, euro 22,00

Lo studio delle agroenergie viene affrontato da diverse prospettive: energetica, socio-economica, ambientale, politico-istituzionale, di sviluppo rurale. Nel primo capitolo, dopo una breve introduzione sul concet-

to di biomassa, vengono esplicitate le principali problematiche poste dall'uso di tale risorsa a scopo energetico. Le questioni politiche relative alla gestione del suolo, alla sua destinazione, alla produzione di semi e soprattutto alla sottrazione di aree agricole per produrre alimenti, devono bilanciare i vantaggi dei biocarburanti (basso impatto ambientale ma anche bassa efficienza) e svantaggi (aumento del costo degli alimenti, riduzione delle foreste tropicali, possibile degrado dei territori ecc.). Di particolare interesse tecnico il capitolo dedicato all'analisi energetica (efficienza) delle diverse fonti. Se lo sviluppo industriale, rilevano gli autori, si è finora basato sull'uso di fonti fossili, non è un caso: queste sono in assoluto le più efficienti. Con complessi calcoli e metodologie di valutazione gli autori mettono peraltro in rilievo che non bastano i numeri a definire una fonte efficiente o meno. È sempre necessario osservare il contesto in cui si opera e il buon analista energetico potrà dare un ventaglio di ipotesi operative che arrivino a un "compromesso" accettabile. La discussione intorno ai benefici ambientali dell'uso di biomasse come fonte energetica, alternativa e di nicchia, porta ad alcune conclusioni sul loro ruolo futuro: la biomassa può fornire un contributo alla sicurezza energetica delle aree rurali sia nei paesi sviluppati sia in via di sviluppo a patto che si perseguano obiettivi quali un miglioramento dell'efficienza energetica delle produzioni, un miglior utilizzo dei sottoprodotti, una miglior gestione delle foreste. Questo libro mette in rilievo come l'uso delle biomasse non sia la "soluzione" ma uno tra i tanti elementi che possono contribuire ad alleggerire la questione energetica a livello mondiale.

## Celle a combustibile (II edizione)

Marco Noro  
Dario Flaccovio editore, 2010  
pagine 224, euro 24,00

Il ricorso all'idrogeno come combustibile del futuro e la sua applicazione più diretta, cioè la cella a combustibile, sono temi oggi molto attuali, soprattutto a causa delle problematiche dell'inquinamento atmosferico: l'intenzione di tutti i Paesi industrializzati è infatti quella di muoversi verso la cosiddetta "economia dell'idrogeno", che, in una visione di lungo termine, vede l'idrogeno e l'elettricità come vettori puliti di energia. In questo libro viene descritta la tecnologia delle celle a combustibile in modo adatto sia al lettore con conoscenze specialistiche sia a chi desidera capire di più su un argomento di cui si parla spesso, e spesso a sproposito. Il testo ha la seguente impostazione: il capitolo 1 fornisce sia un'informazione generale con una breve sintesi sulla storia della tecnologia che richiami sui concetti fondamentali di energia; il capitolo 2 affronta la questione dell'idrogeno, descrivendo tutti gli aspetti tecnici; il capitolo 3 introduce la tecnologia delle celle a combustibile, descrivendone il principio di funzionamento, l'origine della tensione elettrica, le questioni riguardanti il rendimento; i capitoli 4-5 descrivono le diverse tecnologie più in dettaglio, sia dal punto di vista del funzionamento che delle applicazioni attualmente già realizzate o in fase di sperimentazione; il capitolo 6 è dedicato all'applicazione delle celle a combustibile negli edifici; in appendice sono riportati alcuni calcoli di dimensionamento di un sistema di generazione stazionaria a celle a combustibile.

### Lecture

Opportunità e limiti delle agroenergie  
La necessità di un approccio multicriteriale alla sostenibilità dell'energia verde

Celle a combustibile  
(II edizione)