

# Energia, Ambiente e Innovazione

Gentile Lettore,

stiamo effettuando un sondaggio di gradimento per delineare con maggiore chiarezza il profilo dei nostri lettori e consentirci di rendere la rivista ENEA Energia, Ambiente e Innovazione sempre più adeguata alle esigenze del suo pubblico.

Pertanto la invitiamo a compilare, entro il 31 gennaio 2009, il questionario, disponibile on-line sull'home page ENEA ([www.enea.it](http://www.enea.it)).

Desideriamo anche informare i nostri lettori di aver reso disponibile sul sito ENEA, in formato elettronico, il contenuto dei fascicoli di Energia, Ambiente e Innovazione, dal 2003 al 2007.

La ringraziamo per la collaborazione.

*La Redazione*



Il 12 novembre scorso è stato presentato a Londra il World Energy Outlook 2008 (WEO 2008) dell'Agencia Internazionale dell'Energia (AIE), la pubblicazione annuale più importante del settore. La nostra Rivista ha ritenuto utile darne conto in modo tempestivo, utilizzando questo editoriale che ne mette in evidenza i punti principali.

Il rapporto è diviso in tre parti principali.

Nella prima parte, l'Outlook offre un quadro delle tendenze al 2030 a livello globale. Il tasso di crescita medio previsto della domanda mondiale di energia primaria è dell'1,6% tra il 2006 e il 2030, che corrisponde ad un aumento complessivo del 45%. Cina e India contribuiscono per oltre la metà all'incremento complessivo, mentre il Medio Oriente registra i maggiori tassi di crescita. Quasi tutto l'aumento dell'offerta di energia da combustibili fossili avviene in paesi non OCSE. La domanda di petrolio passa dagli attuali 85 milioni di barili/giorno ai 106 milioni del 2030 (10 milioni di barili/giorno in meno rispetto alle proiezioni dello scorso anno).

La domanda di carbone cresce più di quella di ogni altro combustibile in termini assoluti, attestandosi a più di 1/3 della crescita dei consumi energetici.

Le rinnovabili commerciali (nella classificazione AIE con il termine *modern renewables* si intende il totale delle rinnovabili al netto delle biomasse non commerciali, ovvero quelle fonti di energia utilizzate per riscaldamento e uso cucina nei paesi in via di sviluppo) crescono più rapidamente, superando il gas, per diventare la seconda fonte per la produzione di energia elettrica subito dopo il 2010.

Queste tendenze richiedono investimenti di 26,3 trilioni di US\$ al 2030 per creare le condizioni di un'offerta adeguata di energia, più di 1 trilione/anno di US\$, che la crisi economica in atto, con una possibile restrizione creditizia, potrebbe impedire o quantomeno ritardare.

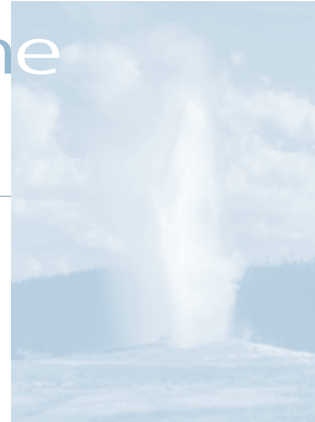
Nella seconda parte, il WEO 2008 offre un quadro dettagliato sul futuro dell'offerta di petrolio e gas naturale. Il petrolio rimarrà la principale fonte di energia per molti anni a venire, anche considerando l'ipotesi più ottimistica relativa allo sviluppo di tecnologie alternative. Ma le aree produttive, i costi di produzione e il suo prezzo sono estremamente incerti.

Le imprese petrolifere internazionali (IOC) avranno minori opportunità per accrescere riserve e produzione, mentre al contrario le imprese nazionali (NOC) rappresenteranno al 2030 l'80% circa dell'incremento della produzione sia di petrolio che di gas naturale. Gli investimenti nell'*upstream* sono cresciuti rapidamente negli ultimi anni, ma ciò è riconducibile in gran parte ad un forte aumento dei costi.

Si aggiunge a queste incertezze la prospettiva di un declino nella produzione dei singoli giacimenti. I risultati di un'analisi campo per campo su 800 siti di estrazione indicano che i tassi di declino aumenteranno in maniera significativa nel lungo periodo, passando da una media del 6,7% attuale a quella dell'8,6% nel 2030.

Nella terza parte, il WEO 2008 analizza le opzioni politiche con cui si è avviato il negoziato che si concluderà nel 2009 a Copenhagen con l'adozione di un nuovo Trattato che vada oltre l'attuale Protocollo di Kyoto. Rispetto alle tendenze attuali, le emissioni di CO<sub>2</sub> del settore energetico cresceranno del 45% tra il 2006 e il 2030, raggiungendo i 41 Gt. Tre quarti di tale incremento sono attribuibili a Cina, India e Medio Oriente, e il 97% ai paesi non-OCSE nel suo complesso. Stabilizzare la concentrazione dei gas a effetto serra a 550 ppm di CO<sub>2</sub> equivalente, che limiterebbe a circa 3 °C l'incremento della temperatura, richiederebbe emissioni non superiori a 33 Gt nel 2030. La quota proveniente dall'energia a basse emissioni di carbonio dovrebbe aumentare a livello mondiale dal 19% nel 2006 al 26% nel 2030. Questo richiederebbe US\$ 4,1 trilioni di investimenti aggiuntivi nel settore energetico rispetto allo Scenario di Riferimento in infrastrutture ed attrezzature – pari allo 0,2% del PIL mondiale annuo.

La sfida connessa alla riduzione della concentrazione dei gas a effetto serra a 450 ppm di CO<sub>2</sub> eq, che limiterebbe a circa 2 °C l'aumento della temperatura, è di gran lunga più ardua. Le emissioni di CO<sub>2</sub> legate al settore energetico dovrebbero diminuire drasticamente dal 2020 in poi, scendendo a meno di 26 Gt nel 2030, con un'azione concertata da parte di tutti i principali paesi emettitori. In questo caso gli investimenti globali nel settore dell'energia sono superiori ai US\$ 9,3 trilioni (lo 0,6% del PIL mondiale annuo).



Dall'analisi e dai dati globali presentati nel WEO passiamo alla situazione nazionale, illustrata nel Rapporto Energia e Ambiente pubblicato anche quest'anno dall'ENEA, divenuto ormai punto di riferimento per gli operatori nel campo energetico-ambientale. Scopo del Rapporto è quello di valutare l'evoluzione del sistema energetico italiano rispetto agli obiettivi comunitari e nazionali di breve e di medio periodo. In questo quadro assumono particolare importanza le analisi di scenario che consentono valutazioni quantitative sulla compatibilità tra diversi obiettivi. In particolare esse mettono a confronto l'evoluzione tendenziale del sistema con quella risultante da scenari di "accelerazione tecnologica" giudicata indispensabile per raggiungere gli obiettivi di politica energetica dell'Unione Europea (i cosiddetti 20-20-20). Le analisi di scenario contenute nel Rapporto presentato nel 2008 sono l'argomento del contributo di Francesco Gracceva, dell'Ufficio Studi ENEA.

Uno degli obiettivi fissati dall'UE riguarda la riduzione del 20% dei consumi energetici in ambito comunitario al 2020 attraverso politiche di efficienza e risparmio energetico. Il costo dell'energia rappresenta uno dei fattori che condizionano il livello dei consumi energetici e di conseguenza il raggiungimento degli obiettivi fissati. In Italia praticamente tutti (industria, servizi, famiglie) lamentano l'alto costo dell'energia. Alcuni settori poi ritengono di essere più penalizzati di altri. Ma come stanno effettivamente le cose? Nel nostro Paese l'energia è veramente troppo cara rispetto agli altri paesi sviluppati? Il problema va affrontato a livello nazionale o europeo? Chi paga di più l'energia? Abbiamo organizzato un tavolo rotonda virtuale dal titolo "Quanto costa l'energia e chi paga" girando le domande a tre esperti: Alessandro Lanza, dell'Eni in rappresentanza del settore petrolifero; Tullio Fanelli, dell'Autorità dell'energia e del gas; Paolo Landi, di Adiconsum per il mondo dei consumatori. Dal confronto fra le tre posizioni pensiamo che il lettore potrà trarre utili riflessioni sul tema.

Un altro obiettivo dell'UE riguarda la riduzione del 20% al 2020 rispetto al livello del 1990 delle emissioni di gas serra, l'anidride carbonica in primis, per fronteggiare il fenomeno dei cambiamenti climatici. Uno degli strumenti strategici a questo riguardo è rappresentato dalle tecnologie per la cattura e il sequestro della CO<sub>2</sub> da molti esperti considerata una soluzione chiave per coniugare la crescente domanda di energia, in particolare di elettricità, con l'esigenza di rendere disponibile l'energia in condizioni di economicità e con efficaci politiche di contenimento dei cambiamenti climatici. Cesi Ricerca, partecipata ENEA, da anni svolge ricerche e studi relativi alle configurazioni impiantistiche, alle tecnologie di cattura e di sequestro geologico della CO<sub>2</sub>. Una sintesi dei risultati di queste attività è presentata nell'articolo di Luigi Mazzocchi e Antonio Negri.

Un terzo obiettivo dell'UE fissa al 20% il contributo vincolante delle fonti rinnovabili ai consumi energetici dell'UE entro il 2020. Si tratta anche in questo caso per il nostro Paese di un obiettivo ambizioso. Appare dunque estremamente utile la valutazione dell'efficacia e dei costi del sistema di incentivazione per lo sviluppo della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in Italia e l'esame di possibili soluzioni alternative per gli incentivi, che consentano di raggiungere gli stessi obiettivi a costi ridotti. Questi temi vengono affrontati nel contributo di Marco Calisi, Antonio Mattucci e Davide Cicolin, mentre Paolo Paesani fornisce un quadro del crescente impegno della finanza privata nel settore delle fonti energetiche rinnovabili, sotto la spinta dell'opinione pubblica, delle istanze ambientali, ma anche nella convinzione che le tecnologie verdi saranno fonte di grandi profitti nei prossimi anni.

L'articolo di Laura Gaetana Giuffrida e Lorenzo Nicolosi fornisce un quadro delle problematiche geo-politiche per l'Italia nell'approvvigionamento di gas naturale e del ruolo che potrebbe giocare nello scacchiere mediterraneo, quale snodo per il trasporto di gas in Europa.

Infine, nell'articolo di Marina Bertinetti e Luciana Bordoni, viene presentato un esempio di applicazione delle tecnologie sviluppate dall'ENEA per i beni culturali in collaborazione con la Soprintendenza archeologica di Roma.

Il Direttore Responsabile  
**Flavio Giovanni Conti**

## primo piano

7

### **SCENARI E STRATEGIE DI MEDIO E LUNGO PERIODO PER IL SISTEMA ENERGETICO ITALIANO**

*LONG- AND MEDIUM-TERM SCENARIOS AND STRATEGIES FOR ITALY'S  
ENERGY SYSTEM*

Francesco Gracceva

## tavola rotonda

21

### **QUANTO COSTA L'ENERGIA E CHI PAGA**

*THE COST OF ENERGY AND WHO IS PAYING*

Tullio Fanelli, Paolo Landi, Alessandro Lanza

## riflettore su

33

### **TECNOLOGIE PER LA CATTURA E IL SEQUESTRO DELLA CO<sub>2</sub>**

*TECHNOLOGIES FOR CO<sub>2</sub> CAPTURE AND SEQUESTRATION*

Luigi Mazzocchi, Antonio Negri

48

### **ENERGIA RINNOVABILE, FINANZA E SOSTENIBILITÀ. QUADRO GLOBALE ED EVOLUZIONE RECENTE**

*RENEWABLE ENERGY SOURCES, FINANCE AND SUSTAINABILITY.  
OUTLOOK AND LATEST EVOLUTION*

Paolo Paesani

55

### **ANALISI DI MECCANISMI DI INCENTIVAZIONE PER LA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ DA FONTI RINNOVABILI**

*ANALYSIS OF INCENTIVATION POLICIES FOR RENEWABLE-GENERATED  
ELECTRICITY*

Marco Calisi, Antonio Mattucci, Davide Cicolin

68

### **ITALIA E GAS: TRA DIPENDENZA E PROBLEMI GEOPOLITICI**

*ITALY AND GAS: DEPENDENCE AND GEOPOLITICAL PROBLEMS*

Laura Gaetana Giuffrida, Lorenzo Nicolosi

## studi & ricerche

80

### **PAROLE DI PIETRA: LA VITA DELL'ANTICA ROMA RACCONTATA DALLE EPIGRAFI DELLA VIA APPIA**

*STONE WORDS: LIFE IN ANCIENT ROME TOLD BY EPIGRAPHS OF THE APPIA ROAD*

Marina Bertinetti, Luciana Bordoni

## appunti di

88

### **"SI RESPINGE PER MORTE DEL DESTINATARIO"**

SETTANT'ANNI DI MISTERO SULLA SCOMPARSA DI ETTORE MAJORANA

A cura di Emilio Santoro

## cronache

90

### **DAL MONDO, DALL'UNIONE EUROPEA, DALL'ITALIA, DALL'ENEA, EVENTI, LETTURE**

- |                     |   |
|---------------------|---|
| dal Mondo           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Diritti umani e clima <b>90</b></li><li>• A New Light for a Bright Future <b>90</b></li></ul>   |
| dall'Unione Europea | <ul style="list-style-type: none"><li>• L'atteggiamento verso i cambiamenti climatici <b>91</b></li><li>• Promuovere i veicoli a idrogeno <b>91</b></li></ul>   |
| dall'Italia         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Accordo per i ricercatori <b>92</b></li><li>• Roma per Kyoto <b>92</b></li></ul>  |
| dall'ENEA           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Danno collaterale delle radiazioni ionizzanti <b>93</b></li><li>• La microalga che s'illumina <b>93</b></li></ul>   |
| Eventi              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kyoto Club per l'efficienza energetica <b>94</b></li><li>• Intelligenza Artificiale e scienze della vita <b>94</b></li><li>• La notte europea dei ricercatori <b>95</b></li></ul> |
| Letture             | <ul style="list-style-type: none"><li>• La guerra del gas <b>96</b></li></ul>   |



Bimestrale dell'ENEA  
Anno 54, settembre-ottobre 2008

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

**Direttore responsabile**

Flavio Giovanni Conti

**Comitato tecnico-scientifico**

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

**Responsabile editoriale**

Diana Savelli

**Coordinamento editoriale**

Alida La Croce

ENEA - Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

Tel. 06-36272401

e-mail: lacroced@sede.enea.it

**Collaboratori**

Giuliano Ghisu, Paola Molinas

**Progetto grafico**

Bruno Giovannetti, Cristina Lanari



**Lo staff della rivista**

da sinistra: Bruno Giovannetti, Vincenzo Di Majo, Paola Molinas, Flavio G. Conti, Emilio Santoro, Paola Batistoni, Oswaldo Aronica, Stefano Giammartini, Diana Savelli, Massimo Maffucci, Alida La Croce  
(foto di Roberta Francescone)

**In copertina**

Old Faithful Geyser, Yellowstone National Park

Fonte: English Wikipedia

**Stampa**

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

**Registrazione**

Tribunale Civile di Roma - Numero 6047 del 2 dicembre 1957 del Registro Stampa.

Modifiche in corso

**Pubblicità**

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

Tel. 0141 8278202 - Fax 0141 8278300 - e-mail: info@fabianogroup.com

**Abbonamento annuale**

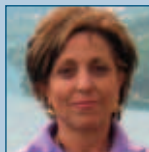
Italia € 21,00 + € 8,00 (spese di spedizione), Estero € 21,00+ € 15,00 (spese di spedizione); una

copia € 4,20 - C.C.P. n. 12439121 intestato a Fabiano Group srl

Tel. 0141 8278234 Fax 0141 8278300 - e-mail: ordini@fabianogroup.com

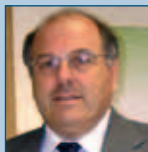
Finito di stampare nel mese di dicembre 2008

# autori



**Marina Bertinetti**  
Soprintendenza Archeologica di Roma

*pag. 80*



**Paolo Landi**  
Segretario Generale Adiconsum

*pag. 21*



**Luciana Bordoni**  
ENEA - Dipartimento Tecnologie Fisiche  
e Nuovi Materiali

*pag. 80*



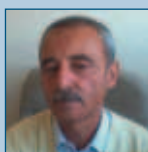
**Alessandro Lanza**  
Amministratore delegato Enicorporate  
University

*pag. 21*



**Marco Calisi**  
ENEA - Dipartimento Tecnologie per l'Energia,  
Fonti Rinnovabili e Risparmio Energetico

*pag. 55*



**Antonio Mattucci**  
ENEA - Dipartimento Tecnologie per l'Energia,  
Fonti Rinnovabili e Risparmio Energetico

*pag. 55*



**Davide Cicolin**  
Tesista ENEA

*pag. 55*



**Luigi Mazzocchi**  
CESI RICERCA SpA Dipartimento Sistemi di  
Generazione

*pag. 33*



**Tullio Fanelli**  
Componente del Collegio dell'Autorità  
per l'energia elettrica e il gas

*pag. 21*



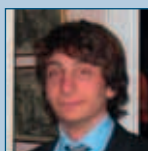
**Antonio Negri**  
CESI RICERCA SpA Dipartimento Ambiente e  
Sviluppo Sostenibile

*pag. 33*



**Laura Gaetana Giuffrida**  
ENEA, Ufficio di Presidenza

*pag. 68*



**Lorenzo Nicolosi**  
Laureato in Scienze Politiche presso la LUISS  
Cattedra di politica economica internazionale

*pag. 68*



**Francesco Gracceva**  
ENEA, Ufficio di Presidenza

*pag. 8*

**Paolo Paesani**  
Università di Tor Vergata

*pag. 48*

# Scenari e strategie di medio e lungo periodo per il sistema energetico italiano

Francesco Gracceva

ENEA - Ufficio di Presidenza

*Valutare praticabilità e costi di una politica di riduzione della CO<sub>2</sub>, in linea con gli obiettivi europei, aiuta a indirizzare per tempo le scelte energetiche*

L'ufficio studi dell'ENEA effettua analisi e valutazioni del sistema energetico nazionale mediante analisi di scenario, pubblicate annualmente nel Rapporto Energia e Ambiente (REA). Il ricorso ad analisi di scenario permette di "tenere insieme" tutte le componenti del sistema, un elemento essenziale per effettuare valutazioni quantitative circa una questione caratteristica della politica energetica, la compatibilità tra obiettivi diversi. Tale

analisi permette inoltre di esplorare le diverse possibili traiettorie di sviluppo del sistema energetico nazionale, valutandone i relativi costi con un'ottica di sistema, indispensabile per una corretta valutazione delle interazioni esistenti tra i molti fattori in grado di influire sullo sviluppo delle diverse tecnologie.

L'analisi presentata nel Rapporto Energia e Ambiente 2007 ha come obiettivo principale quello di valutare la praticabilità, cioè la realizzabilità nel contesto del sistema energetico italiano, e i costi di una politica di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> in linea, nel medio periodo (2020), con gli obiettivi della politica energetica europea (cosiddetti 20-20-20, pure ancora in via di definizione nella loro articolazione nazionale), nel lungo periodo con gli obiettivi di riduzione delle emissioni a livello globale e con le valutazioni in atto da tempo nei principali paesi industrializzati, sintetizzabili in una transizione verso una economia a basso tenore di carbonio che punti a riduzioni delle emissioni di gas serra dell'ordine di almeno il 50% nel 2050.

Per valutare le prospettive di evoluzione del sistema energetico nazionale rispetto agli obiettivi sia di medio che di lungo periodo, l'analisi di scenario con-

## Long- and Medium-term Scenarios and Strategies for Italy's Energy System

*Evaluating feasibility and costs of CO<sub>2</sub> reduction policies for Italy's energy system in line with the EU goals helps address decision-making policies on energy*



fronta l'evoluzione tendenziale del sistema con quella risultante da scenari definiti di "accelerazione tecnologica", in quanto prevedono una accelerazione dell'introduzione sul mercato di tecnologie volte a realizzare un massiccio ricorso all'efficienza energetica negli usi finali, un incisivo sviluppo del contributo delle fonti rinnovabili, una maggiore diversificazione dell'energia.

### Lo scenario di riferimento

Lo scenario di riferimento (o tendenziale) tiene conto del quadro legislativo vigente all'inizio del 2008 e ipotizza la sostanziale continuazione delle tendenze in atto in ambito demografico, tecnologico ed economico. Tra le ipotesi principali vi sono:

- una crescita economica che, nel breve periodo, è in linea con le più recenti proiezioni del Governo italiano (DPEF 2008-2011);
- un'evoluzione della popolazione residente, in linea con le proiezioni più recenti elaborate dall'ISTAT;
- un'evoluzione del prezzo del petrolio in linea con i valori utilizzati dall'Agenzia Internazionale dell'Energia per l'elaborazione degli scenari dell'Energy Technology Perspectives 2008 dell'International Energy Agency (IEA);
- infine, dal punto di vista delle politiche energetiche e ambientali, lo scenario di riferimento tiene conto solo delle misure pienamente implementate all'inizio del 2008, mentre non include tutte le misure a quella data ancora ipotetiche, possibili o perfino probabili.

Le principali caratteristiche dello scenario di riferimento possono essere sintetizzate in pochi punti:

- Il fabbisogno di energia primaria cresce a un tasso medio annuo dell'1% (leggermente inferiore a quello degli ultimi quindici anni) fino al 2020,

mentre nel lungo periodo la crescita si attesta su valori inferiori allo 0,5% annuo.

- Questa evoluzione dei consumi implica una significativa e costante riduzione dell'intensità energetica primaria, che però risulta in linea con l'evoluzione dell'intensità energetica prevista sia per l'Italia che per gli altri Paesi europei dagli scenari prodotti dalla Commissione Europea (modello PRIMES), e "prudente" se confrontata con l'evoluzione osservata nell'UE negli ultimi quindici anni.
- Per tutto l'orizzonte temporale il fabbisogno continua ad essere soddisfatto in larga misura dai combustibili fossili (quasi il 90% dell'energia primaria), con la conferma del trend di crescita dal ricorso al gas (prima fonte a partire dal 2015), mentre la dipendenza energetica risulta solo leggermente inferiore al 90%.
- I consumi dell'industria presentano una crescita moderata ma relativamente costante, a tassi annui solo leggermente inferiori a quelli dell'ultimo decennio, mentre tendono a stabilizzarsi nel lungo periodo.
- Per un decennio ancora, si conferma sostenuto il trend di crescita del settore civile, che tende sempre più ad affermarsi come il settore maggiormente responsabile dei consumi energetici, in particolare a causa dell'evoluzione del terziario (mentre i consumi del settore residenziale tendono a una sostanziale stabilizzazione già nel breve periodo).
- I trasporti presentano una crescita inferiore a quella del civile, ma comunque, ancora significativa per un paio di decenni e continuano ad aumentare anche nel lungo periodo.
- Le tendenze recenti di forti incrementi del consumo di energia elettrica continuano fino al 2020; nel lungo periodo il tasso di crescita dei consumi elet-

trici scende progressivamente, fino a valori inferiori all'1% medio annuo.

### Gli scenari di accelerazione tecnologica

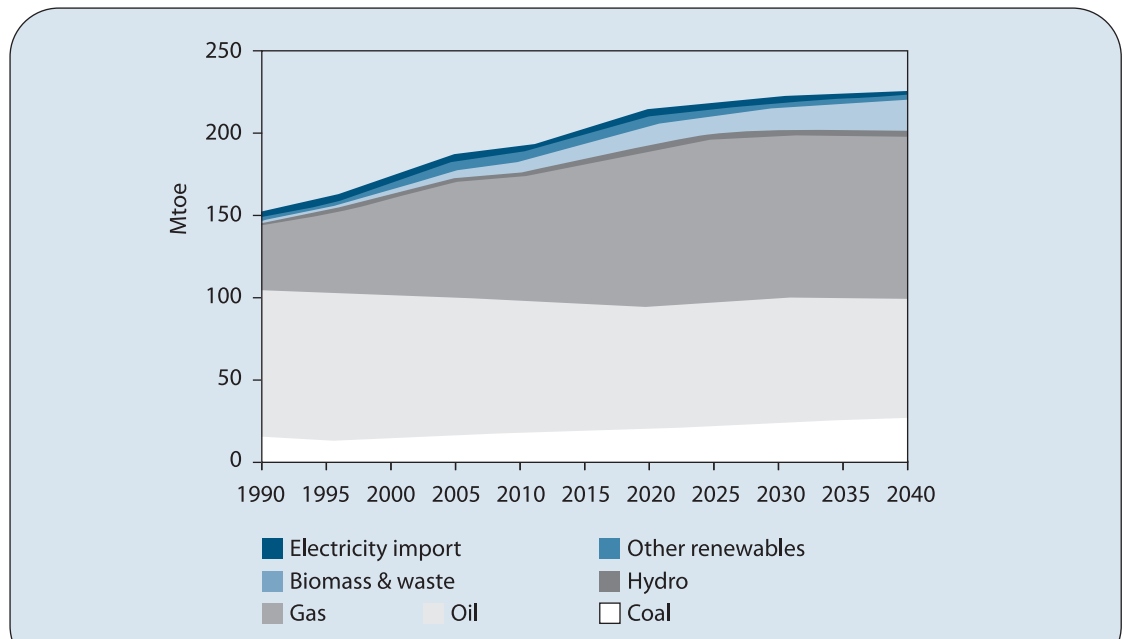
Gli scenari di accelerazione tecnologica ipotizzano la piena realizzazione del Piano d'azione italiano per l'efficienza energetica, cui si aggiungono forti incentivi alla generazione da fonti rinnovabili e alla penetrazione dei biocarburanti nei consumi per trasporto.

- Lo scenario ACT si basa sull'ipotesi di un'accelerazione nella penetrazione sul mercato di tecnologie energetiche che già esistono, o che sono già in una fase di sviluppo avanzato;
- lo scenario BLUE si pone l'obiettivo di una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> del 50% su scala globale entro il 2050, e ipotizza la diffusione anche di tecnologie ancora in fase di sviluppo tecnologico;
- lo scenario ACT+ rappresenta uno scenario intermedio, nel medio periodo

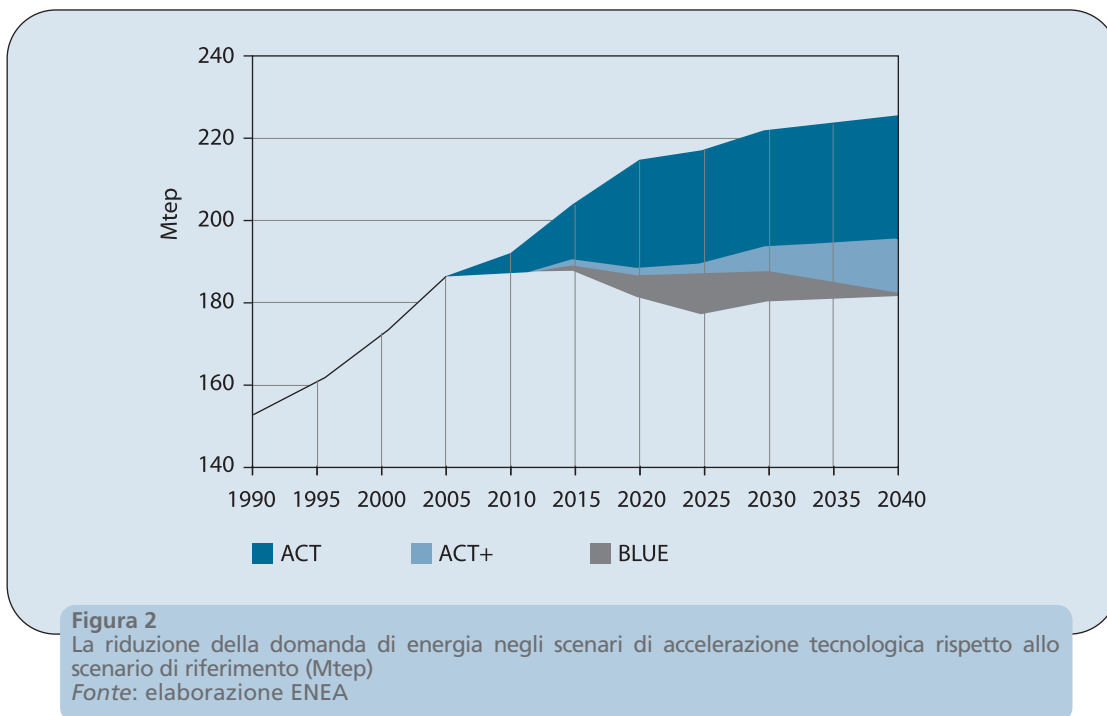
rappresentativo dello scenario ACT, nel lungo periodo dello scenario BLUE. Entrambe le tipologie di scenari includono tecnologie innovative nel campo degli usi finali, tecnologie di generazione elettrica con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>, molteplici tecnologie di utilizzo delle fonti rinnovabili, sia termiche che elettriche. A ciò si aggiunge l'ipotesi possibile di un effettivo ritorno del paese allo sfruttamento dell'energia nucleare, a partire dal 2020, in un numero di siti che nel lungo periodo corrisponde a quello delle centrali costruite negli anni settanta e ottanta. L'effettivo sfruttamento di ciascuna di tali tecnologie è quindi legato all'insieme delle condizioni che caratterizzano l'evoluzione del sistema nei diversi scenari.

### Effetti degli scenari di accelerazione tecnologica

I consumi energetici tendono sostanzialmente a stabilizzarsi a partire dai primi



**Figura 1**  
Evoluzione dei consumi di energia primaria per fonte nello scenario di riferimento (Mtep)  
Fonte: elaborazione ENEA



anni del prossimo decennio. Nello scenario ACT i consumi riprendono poi a crescere nel medio-lungo periodo, sia pure in modo contenuto, mentre le riduzioni sono più significative e prolungate negli scenari ACT+ e BLUE. Un elemento di rilievo è che negli scenari ACT+ e BLUE una parte non marginale di queste riduzioni dei consumi deriva dall'introduzione di misure di contenimento della domanda di beni e servizi energetici (o "risparmio energetico"), cioè di uso razionale dell'energia, che vanno oltre quelle propriamente di efficienza energetica (Figura 2).

In nessuno degli scenari di intervento la riduzione dei consumi di energia primaria raggiunge l'auspicato (ma non vincolante) -20%: rispetto allo scenario di riferimento, la riduzione è pari a circa 25 Mtep (-12%) nello scenario ACT, mentre arriva a circa 30 Mtep (-14% circa) nello scenario ACT+, e a 38 Mtep (-18%) nello scenario BLUE.

Un elemento di rilievo che emerge dal-

l'analisi di scenario è proprio la difficoltà che il sistema energetico italiano sembra incontrare nel superamento di una soglia di riduzione dei consumi che vada oltre quella conseguibile attraverso gli interventi di efficienza energetica: lo scenario BLUE, infatti, è l'unico scenario nel quale la trasmissione agli utenti di un significativo costo aggiuntivo contribuisce in modo rilevante a un uso "più razionale" dell'energia.

Il tasso di riduzione dell'intensità energetica sale progressivamente da uno scenario all'altro, dallo 0,9% medio annuo dello scenario di riferimento all'1,3% dello scenario ACT e a più dell'1,7% degli scenari ACT+ e BLUE (Figura 3). Si tratta di valori, questi ultimi, non molto diversi da quelli che caratterizzano lo scenario tendenziale relativo all'intera UE-15 elaborato dalla Commissione Europea. La Figura 3 mostra come le curve dell'intensità energetica seguano, nello scenario ENEA ACT+ e nello scenario tendenziale per l'UE-15, percorsi sostan-

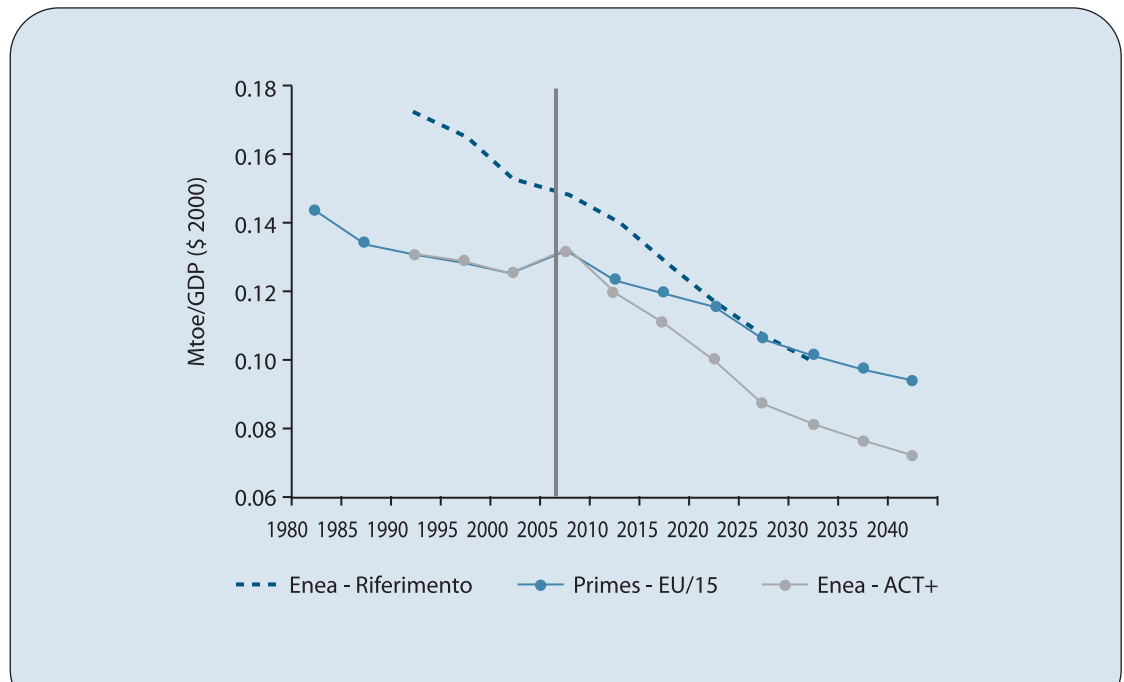
zialmente paralleli. Se dalla riduzione dell'intensità energetica si detrae il contributo derivante da fattori "strutturali" (la riduzione della domanda di servizi energetici a parità di reddito), per concentrare l'attenzione sull'incremento della vera e propria efficienza energetica, è interessante notare come l'aumento dell'efficienza energetica proceda comunque sempre al di sotto dell'1% medio annuo, a ulteriore conferma di una certa rigidità del sistema energetico italiano anche di fronte a interventi significativi.

Gli scenari di accelerazione tecnologica modificano l'andamento del mix energetico producendo rispetto allo scenario di riferimento una riduzione dei consumi di energia differenziata tra le diverse fonti primarie (Figura 4). Con riferimento allo scenario ACT+ si osserva che:

- lungo l'orizzonte temporale la quota di fabbisogno energetico soddisfatto

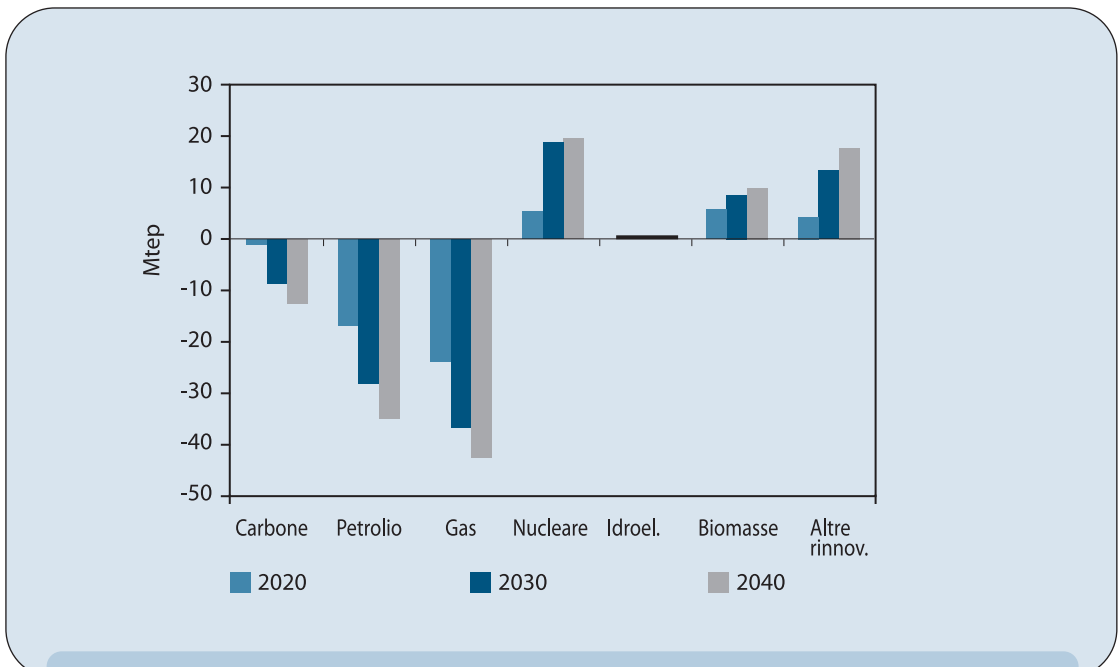
dai combustibili fossili scende dal 91% del 2005 al 79% del 2020, fino al 60% del 2040, con ovvie conseguenze sulla dipendenza energetica del Paese;

- la gran parte della riduzione riguarda gas naturale e petrolio, che presentano contrazioni rilevanti sia in termini relativi che assoluti (nel 2020, -21 Mtep il gas, -17 Mtep il petrolio);
- il carbone presenta nello scenario ACT+ all'orizzonte 2020 una riduzione di appena 1 Mtep che sale fino a 10 Mtep nel lungo periodo, per il suo minor utilizzo nella generazione elettrica, pur in presenza di una significativa penetrazione della generazione elettrica con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>;
- le fonti rinnovabili presentano tutti incrementi significativi rispetto allo scenario di riferimento, nel quale pure la produzione di energia rinnovabile aumenta in modo significativo;



**Figura 3**  
Consumi di energia primaria e intensità energetica negli scenari di intervento  
Fonte: elaborazione ENEA





**Figura 4**  
Effetti dello scenario ACT+ sul mix delle fonti  
Fonte: elaborazione ENEA

- infine, una variazione di rilievo rispetto allo scenario di riferimento, che tiene conto solo delle misure “pienamente implementate” all’inizio del 2008, riguarda lo sfruttamento dell’energia nucleare, possibile a partire dal 2020, e che a partire dal 2030 raggiunge valori corrispondenti a poco meno del 10% dell’energia primaria consumata da paese.

### Consumi finali di energia

Nello scenario ACT+ nel 2020 i consumi finali di energia si riducono rispetto allo scenario di riferimento di circa 22 Mtep (Figura 5), più della metà dei quali nel settore civile, per la gran parte grazie alla forte crescita dell’efficienza energetica negli usi finali (mentre è modesto il contributo del “risparmio energetico”). In particolare, nel settore residenziale, nel quale l’aumento tendenziale dei consumi risulta marcato solo negli usi

elettrici, appare rilevante l’effetto delle misure riguardanti gli apparecchi elettrodomestici e le sorgenti luminose, che traggono spunto dal quadro legislativo europeo e nazionale in materia di etichettatura energetica. Nel settore terziario, invece, nel quale la tendenza crescente dei consumi è più difficile da contrastare, i risparmi aggiuntivi al 2020 sono dovuti principalmente al miglioramento della climatizzazione e alla maggiore efficienza dei sistemi di illuminazione.

Nel settore dei trasporti, la riduzione dei consumi è significativa (7 Mtep), ma parte di questi è legata in effetti a un importante cambiamento modale e a riduzioni della domanda di servizi energetici, cioè a misure che nelle valutazioni del Piano d’azione sono definite come “orientate alla domanda e al comportamento” e “infrastrutturali”. Un contributo alla riduzione dei prodotti petroliferi viene poi da una parziale sostitu-

zione con i biocarburanti. Quanto alle vere e proprie misure di incremento dell'efficienza, che devono tra l'altro bilanciare le tendenze all'aumento delle percorrenze complessive e al continuo incremento della cilindrata media (e del peso) dei veicoli nuovi, l'estensione del Piano d'azione al 2020 prevede un'accelerata penetrazione di veicoli a basso consumo, ibridi o che usano motori molto efficienti (fino al 15% del mercato nel 2020). A questi si aggiunge una consistente flotta di veicoli che utilizzano combustibili a più basso impatto ambientale, metano, GPL e biodiesel. Anche in questo caso la forbice tra i due scenari si allarga ancora nel lungo periodo, fino a superare i 10 Mtep.

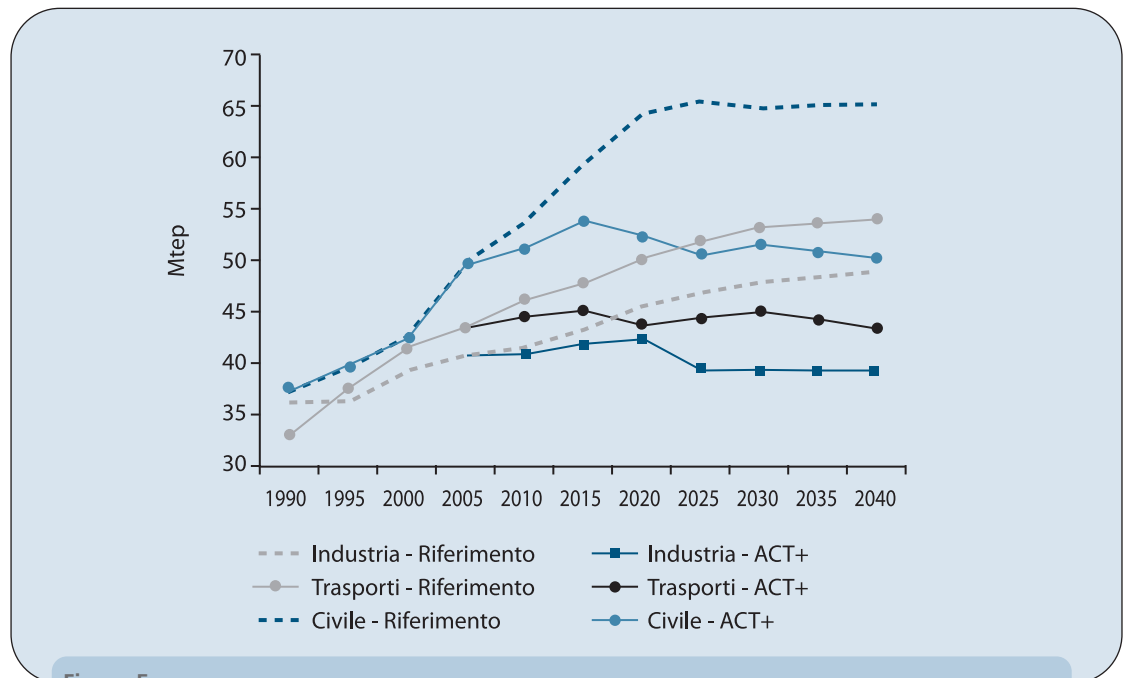
Nell'industria i consumi dello scenario ACT+ sono nel 2020 inferiori di circa 3 Mtep a quelli dello scenario di riferimento, con un calo in particolare dei consumi di gas naturale e di energia elettrica, parzialmente compensati da un mo-

desto incremento del consumo di carbone e biomasse. In questo caso, alla modesta riduzione dei consumi nel medio periodo, segno di una certa rigidità del settore, segue nel lungo periodo una forte accelerazione nel miglioramento dell'efficienza, che arriva a determinare riduzioni dei consumi comparabili a quelle degli altri settori.

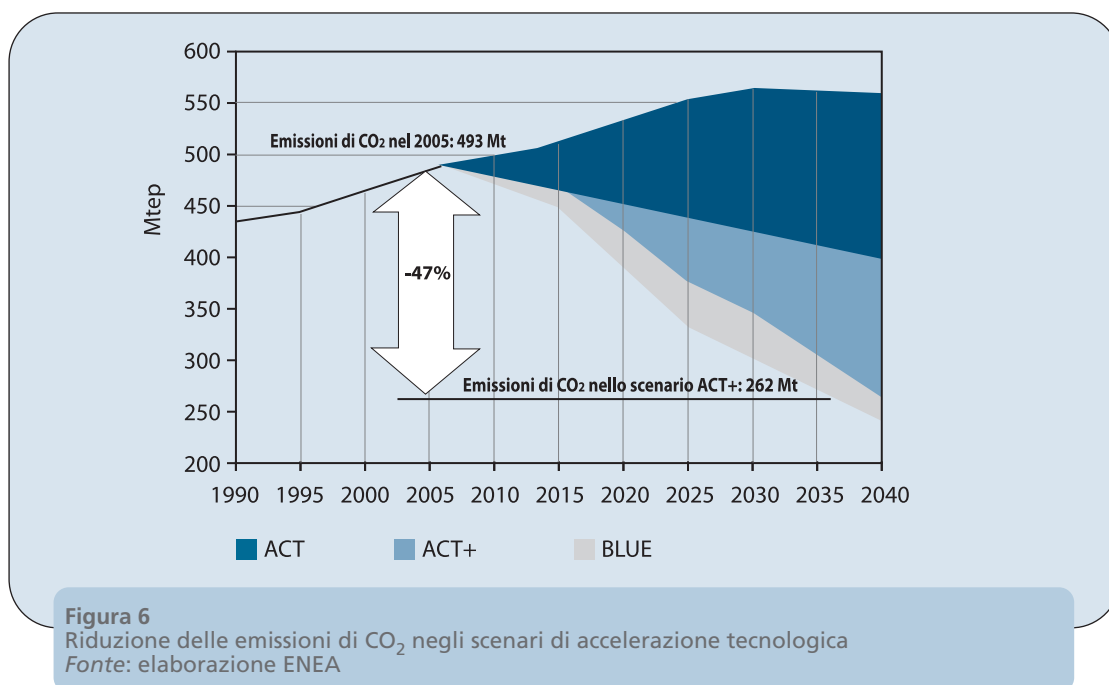
Nonostante il carattere molto significativo delle misure di politica energetica e ambientale considerate negli scenari di accelerazione tecnologica, il tasso di crescita dei consumi di energia elettrica in nessuno di questi scende al di sotto dell'1% medio annuo prima del 2020.

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

Rispetto al livello delle emissioni di CO<sub>2</sub> nel 2005 (anno di riferimento secondo il recente pacchetto di proposte della Commissione UE), pari a 490 Mt, nel 2020 le emissioni risultano inferiori in tutti gli sce-



**Figura 5**  
Effetti degli scenari di accelerazione sui settori di uso finale  
Fonte: elaborazione ENEA



nari di intervento: -8% circa nello scenario ACT, -13% circa nello scenario ACT+ (-2% rispetto al 1990), -19% nello scenario BLUE (-9% rispetto al 1990, con una discesa delle emissioni sotto al livello previsto dal Protocollo di Kyoto per il 2012). Nell'orizzonte di lungo periodo, si è detto come l'analisi delle prospettive del sistema energetico nazionale non possa che fare riferimento agli obiettivi in via di definizione a livello europeo e internazionale, sempre più orientati al dimezzamento delle emissioni di gas serra entro il 2050 su scala globale (un valore medio che significa evidentemente che nei paesi OCSE le riduzioni dovranno essere ancora maggiori). Concentrando l'attenzione sullo scenario ENEA ACT+, nel lungo periodo un elemento di rilievo che lo caratterizza è che esso sembra in effetti in grado di "spostare la traiettoria" del sistema energetico italiano lungo un sentiero di sviluppo tale da determinare riduzioni molto significative delle emissioni di CO<sub>2</sub>, comparabili con le suddette riduzioni auspiccate da organismi come il G8.

Nel corso dell'orizzonte temporale, le riduzioni delle emissioni di CO<sub>2</sub> divengono infatti progressivamente più consistenti, in quanto l'entrata nel sistema di tecnologie energetiche profondamente innovative riesce a dispiegare pienamente i suoi effetti. Nel dettaglio, lo scenario ACT+ determina una riduzione delle emissioni vicina al 50% entro il 2040, pari alla metà delle emissioni dello scenario di riferimento (-260 Mt) (Figura 6).

### Scenari di accelerazione tecnologica e obiettivi al 2020

Il 10 gennaio 2008 la Commissione Europea, in attuazione del Piano d'azione sulla politica energetica (definito dalla Presidenza del Consiglio Europeo, Bruxelles 8-9 marzo 2007) ha adottato un pacchetto di proposte, invitando il Consiglio e il Parlamento europeo ad approvare:

- un impegno unilaterale dell'UE a ridurre di almeno il 20% le emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990 entro il 2020 (obiettivo che sale al 30% in caso di ac-

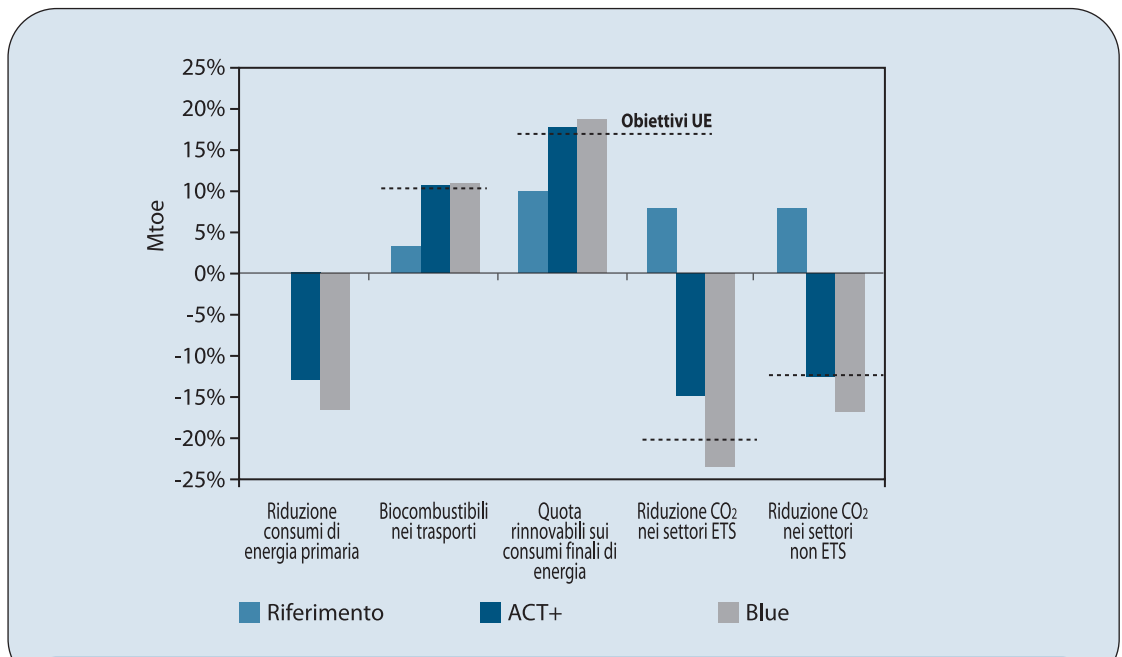
cordo internazionale sui cambiamenti climatici); tra gli strumenti su cui far leva per raggiungere l'obiettivo, la Commissione propone una riduzione delle emissioni dei settori rientranti nella direttiva ETS pari nel 2020 al 21% (rispetto al 2005); nei settori non rientranti nel sistema di scambio delle quote si punta invece a una riduzione delle emissioni UE (sempre entro il 2020) del 10% rispetto ai livelli del 2005, con una prima proposta di ripartizione degli obiettivi a livello nazionale che prevede per l'Italia una riduzione delle emissioni di gas-serra pari al 13%;

- un obiettivo vincolante per l'UE del 20% di energia da fonti rinnovabili entro il 2020, compreso un obiettivo del 10% per i biocarburanti; il pacchetto di proposte della Commissione contiene anche obiettivi individuali giuridicamente vincolanti per ciascuno degli Stati membri, assegnando all'Italia una quota di fonti rinnovabili al 17% dei consumi finali di energia.

- il Piano d'azione del Consiglio Europeo del marzo 2007 prevedeva infine anche un obiettivo di riduzione dei consumi finali di energia, da ridurre del 20% rispetto all'evoluzione tendenziale; tale obiettivo non è più previsto nel pacchetto di proposte della Commissione UE del gennaio 2008, ma il forte incremento dell'efficienza resta comunque il principale strumento individuato dalla Commissione per la riduzione delle emissioni.

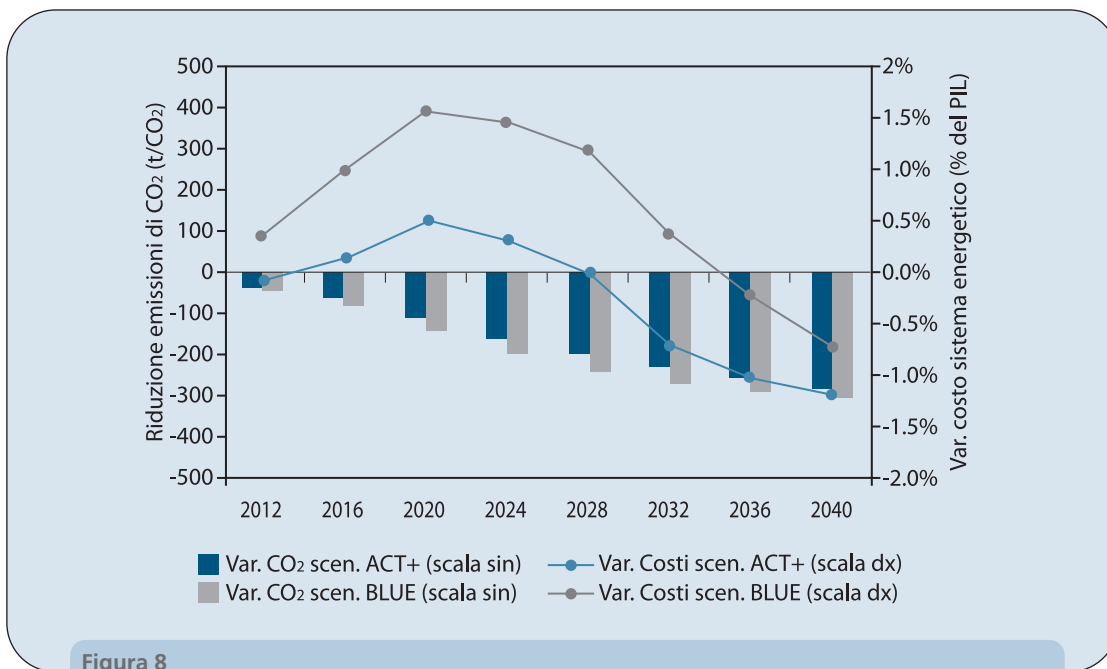
La *Figura 7* mostra il posizionamento degli scenari di accelerazione tecnologica rispetto agli obiettivi UE del 2020:

- In nessuno degli scenari di intervento la riduzione dei consumi di energia primaria raggiunge l'auspicato (ma non vincolante) -20%. Rispetto allo scenario di riferimento, la riduzione è pari a circa 25 Mtep (-12%) nello scenario ACT, mentre arriva a circa 30 Mtep (-14% circa) nello scenario ACT+, e a 38 Mtep (-18%) nello scenario BLUE. Un elemento di rilievo che emerge dall'analisi di scenario è proprio



**Figura 7**  
 Posizionamento degli scenari di accelerazione tecnologica rispetto agli obiettivi UE del 2020  
 Fonte: elaborazione ENEA





**Figura 8**  
Costo totale del sistema energetico e riduzione delle emissioni in due scenari di accelerazione tecnologica (ACT+ e BLUE)  
Fonte: elaborazione ENEA

la difficoltà che il sistema energetico italiano sembra incontrare nel superamento di una soglia di riduzione dei consumi che vada oltre quella conseguibile attraverso gli interventi di efficienza energetica. Lo scenario BLUE, infatti, è l'unico scenario nel quale la trasmissione agli utenti di un significativo costo addizionale contribuisce in modo rilevante a un uso "più razionale" dell'energia.

- Quanto agli obiettivi sulle fonti rinnovabili, lo scenario di riferimento mostra come essi siano considerevolmente distanti sia rispetto ai dati storici del 2005, sia rispetto alle proiezioni al 2020: il 5,2% del 2005 raddoppia nel 2020, ma resta ben lontano dall'obiettivo. Gli interventi previsti da tutti gli scenari di accelerazione tecnologica riescono in questo caso a conseguire il raggiungimento dell'obiettivo del 17% del totale dei consumi finali di energia. Si tratta di un risultato di rilievo, reso possibile dal fatto che alla significativa riduzione dei consumi finali

di energia si affianca il sostanziale raggiungimento di quasi tutto il "potenziale accessibile" al 2020.

- Per quel che riguarda infine l'obiettivo delle emissioni di gas serra, è possibile effettuare una stima approssimata, in quanto riferita alla sola CO<sub>2</sub> (peraltro il gas serra di gran lunga prevalente, in quanto rappresenta più dei 4/5 del totale): lo scenario ACT+ si avvicina agli obiettivi del pacchetto di proposte della Commissione EU arrivando a una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> pari a circa il 12% nei settori non-ETS, a circa il 13% nei settori ETS. Lo scenario BLUE è invece l'unico scenario in grado di andare oltre tutti gli obiettivi della Commissione.

### Costi e opportunità dagli scenari di accelerazione tecnologica

Un elemento significativo dell'analisi di scenario, ben evidenziato dalla *Figura 8*, riguarda l'andamento temporale della va-

riazione del costo totale del sistema energetico (rispetto allo scenario di riferimento) nel corso dell'orizzonte temporale. Concentrando l'attenzione sui due scenari di accelerazione tecnologica in grado di determinare un'evoluzione del sistema "sostanzialmente in linea con gli obiettivi" di riduzione delle emissioni, tanto di medio quanto di lungo periodo (gli scenari ACT+ e BLUE), la *Figura 8* mostra come entrambi gli scenari siano caratterizzati, nella prima parte dell'orizzonte temporale, da un costo aggiuntivo del sistema energetico, crescente fino al 2020, non a caso anno-obiettivo delle politiche europee, che evidentemente impongono al sistema un forte aumento degli investimenti.

Mentre però nel caso dello scenario ACT+ questo costo aggiuntivo risulta nel 2020 simile all'impatto stimato dalla Commissione Europea sull'insieme dei paesi EU, nel caso dello scenario BLUE tale costo raggiunge invece valori ragguardevoli, superiori all'1,5% in rapporto al PIL, al di sopra delle stime della Commissione Europea.

Gli scenari di accelerazione tecnologica determinano inoltre impatti molto rilevanti su tutte le altre componenti di costo del sistema energetico. In particolare, concentrando l'attenzione sul 2020, l'appena visto aumento del costo totale del sistema energetico deriva dalla necessità di un forte incremento degli investimenti in tecnologie energetiche innovative, che permettono d'altra parte riduzioni consistenti delle spese per l'importazione di energia: nel periodo 2008-2020 gli investimenti in tecnologie energetiche aumentano del 2% circa (rispetto allo scenario di riferimento), mentre le spese per le importazioni di energia si riducono complessivamente di più del 5% (nel 2020 la riduzione raggiunge il 10%, con un risparmio sulla bolletta energetica del paese per valori dell'or-

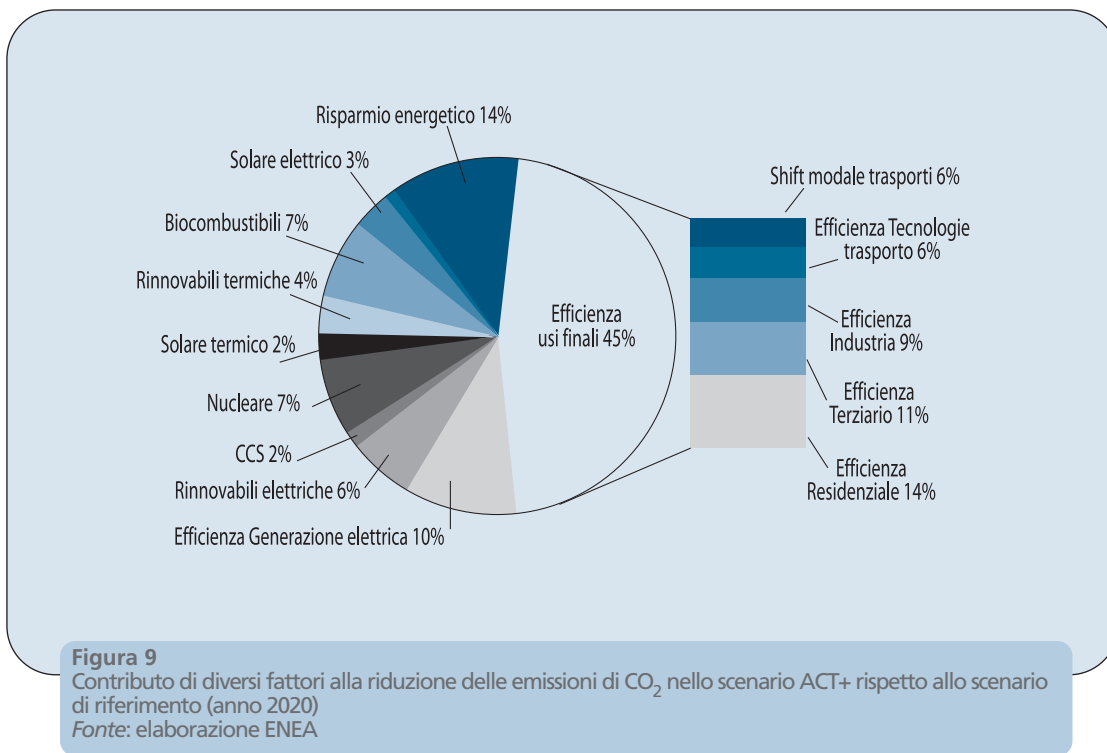
dine di 5 miliardi di euro l'anno nel 2020).

L'altro dato significativo emerge dai risultati di lungo periodo degli scenari:

- il costo aggiuntivo dell'accelerazione tecnologica diviene negativo in entrambi gli scenari, in quanto i maggiori investimenti effettuati determinano riduzioni dei consumi energetici e quindi del costo dell'energia (delle spese per le importazioni di energia in primo luogo), che nel corso del tempo permettono infine di arrivare a compensare completamente le maggiori spese legate agli investimenti aggiuntivi in nuove tecnologie.
- allo stesso tempo, la differenza tra i due scenari in termini di impatto sulle emissioni di CO<sub>2</sub> si riduce progressivamente, fino a divenire marginale rispetto alla riduzione totale.

### Il ruolo delle tecnologie per la riduzione delle emissioni nel medio e nel lungo periodo

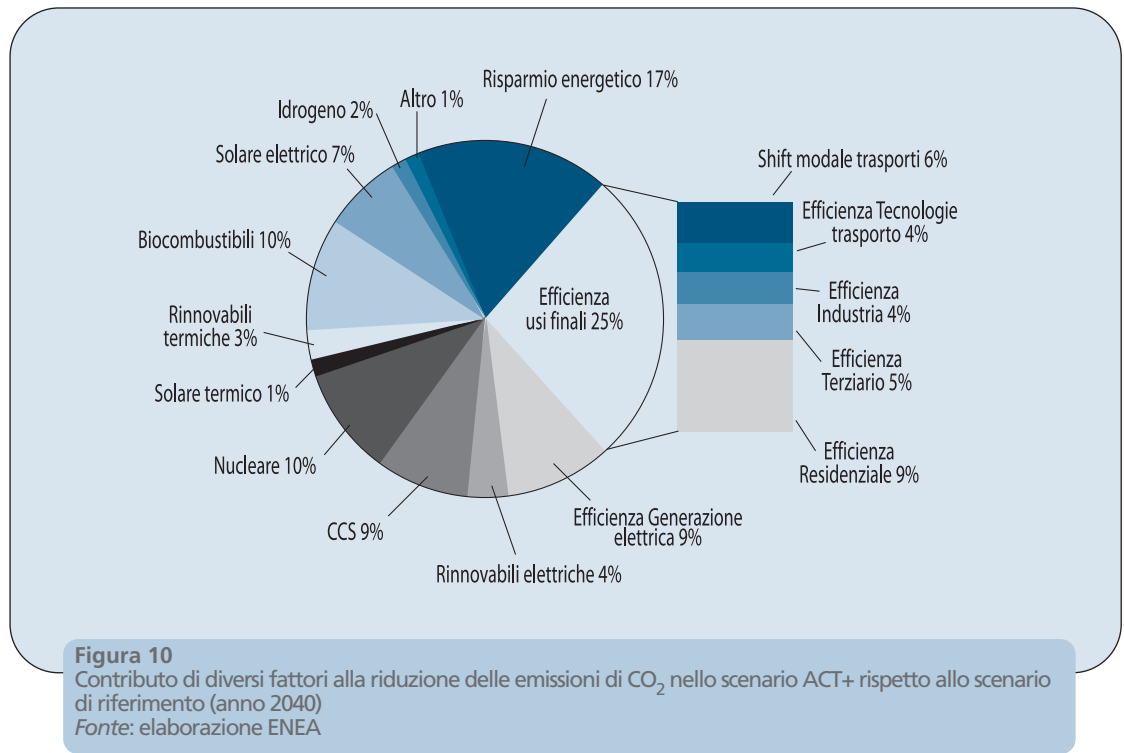
Il "Technology Map for the European Strategic Energy Technology Plan" sottolinea l'importanza delle tecnologie per raggiungere gli obiettivi europei su energia e clima, ma nel contempo segnala il rischio di ritardi ascrivibili a investimenti insufficienti. Il documento propone iniziative a livello europeo per accelerare lo sviluppo e il decollo di tecnologie energetiche low carbon, con un'attenzione particolare alle tecnologie per la generazione elettrica (cui sono affiancati i biocombustibili, l'idrogeno e le celle a combustibile, le infrastrutture energetiche). Molti paesi europei hanno preso sul serio questa sfida e gli altri, compreso il nostro, rischiano di esser trascinati in un processo di cui pagheranno i costi senza averne i benefici. Questi ultimi non saranno soltanto la CO<sub>2</sub> evitata, ma anche il possesso di tecnologie che aumen-



ranno la competitività di paesi leader come Germania e Regno Unito che da tempo, ormai, si sono collocati in questa prospettiva. Chi non avrà investito in R&S e nelle nuove tecnologie si troverà, con ogni probabilità, ad incentivare, pagandone i relativi costi (come già succede oggi), le energie rinnovabili e allo stesso tempo ad importare la relativa tecnologia dai paesi leader, nonché a pagare il conto del mancato rispetto degli impegni assunti a livello internazionale per la riduzione della CO<sub>2</sub>.

La Figura 9 mostra il peso delle diverse componenti tecnologiche all'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub> ottenuto nello scenario ACT+ rispetto al riferimento (pari a circa 108 Mt) all'orizzonte 2020. Il primo dato di rilievo è che nel medio periodo circa il 60% dell'abbattimento dipende da un uso più efficiente dell'energia, realizzato in particolare mediante l'accelerazione nella sostituzione delle tecnologie nei settori di uso finale:

- il 45% è riconducibile a una maggiore efficienza energetica nei diversi settori di uso finale;
- a questo si aggiunge un contributo rilevante (14%) da parte delle opzioni di "risparmio energetico" che implicano cambiamenti nei modelli di uso dell'energia;
- un altro 10% è riconducibile a un miglioramento dell'efficienza di conversione nella generazione elettrica e alla diffusione della cogenerazione, cui si aggiunge un piccolo contributo derivante dalla prima introduzione della tecnologia della cattura della CO<sub>2</sub> (2%);
- il resto della riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> è riconducibile in primo luogo a un cambiamento del mix di energia utilizzata dal sistema, con la riduzione dell'intensità carbonica dell'energia primaria, grazie all'incremento dell'uso delle fonti rinnovabili, sia elettriche che termiche, che nel loro insieme con-



tribuiscono per un significativo 22%;  
 - a questo si aggiunge infine il contributo dell'energia nucleare, pari al 6% della riduzione totale.

La *Figura 10* permette infine di comprendere meglio il ruolo svolto dalle diverse opzioni tecnologiche nel raggiungimento di obiettivi di abbattimento delle emissioni nel lungo periodo (2040).

- la tecnologia che più contribuisce alla riduzione delle emissioni rispetto all'evoluzione di riferimento è la generazione elettrica da fissione nucleare (di III Generazione), che concorre per il 10% alla riduzione totale;
- anche la generazione elettrica da fonti fossili accompagnata da sequestro e confinamento della CO<sub>2</sub> presenta nel lungo periodo un ruolo importante, determinando da sola circa un decimo della riduzione totale;
- l'uso di fonti rinnovabili nel settore della generazione elettrica raggiunge nel lungo periodo un peso di poco superiore

al 10%, metà del quale legato all'elettricità da fonte solare, in particolare fotovoltaica;

- complessivamente, l'insieme delle fonti rinnovabili contribuisce per il 25% circa alla riduzione totale, della quale una parte rilevante è legata a una forte penetrazione dei biocarburanti (prevalentemente di importazione);
- l'efficienza negli usi finali dell'energia costituisce il 25% del totale;
- l'accelerazione nel miglioramento dell'efficienza di conversione nella generazione elettrica e nella diffusione della cogenerazione continua a fornire un contributo significativo anche nel lungo periodo;
- infine, anche nel lungo periodo un contributo rilevante (17%) viene dalle opzioni di riduzione della domanda di servizi energetici (risparmio energetico), derivanti però come già detto da interventi la cui efficacia è difficilmente quantificabile.



# Quanto costa l'energia e chi paga

**Tullio Fanelli**

Componente del Collegio dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas

Negli ultimi anni, a fronte dell'impennata dei prezzi del petrolio, molti analisti, più o meno informati, hanno delineato scenari futuri caratterizzati da carenza strutturale di offerta, a fronte di una domanda mondiale attesa in continua crescita, e quindi da prezzi elevati e crescenti.

Ma prima di giudicare tale carenza di offerta come situazione strutturale occorre riflettere sul fatto che i costi marginali di produzione del petrolio sono ancora intorno ai 30 \$/b ed il costo medio della produzione mondiale è inferiore ai 10\$/b.

La domanda quindi è: se i costi vanno da 3 a 30 \$/b non esiste un barile a 31\$?

La risposta è: certamente sì ed in quantità ancora molto consistenti.

Le più recenti stime sulle riserve petrolifere mondiali, quali ad esempio quelle della ExxonMobil, o dell'Oil and Gas Journal, valutano in circa 1.200 miliardi di barili le cosiddette "riserve accertate" di petrolio. Si tratta di un quantitativo ben superiore a ciò che l'umanità ha consumato negli ultimi secoli.

A tali cifre si obietta che si tratta di valutazioni incerte, che la massima parte di tali riserve è concentrata in pochi Paesi mediorientali e che in ogni caso il crescente livello della domanda fa sì che bastino per pochissimi decenni (attualmente la domanda mondiale di petrolio è circa 30 miliardi di barili/anno).

Ma si dimentica o si omette che oltre queste "riserve accertate", ovvero riserve convenzionalmente recuperabili alle condizioni economiche e tecnologiche vigenti, esistono non solo "riserve probabili" ma soprattutto risorse "non convenzionali", quali sabbie e scisti bituminosi, di cui è nota la presenza per almeno 7.000 miliardi di barili, nonostante sino ad oggi siano state oggetto di limitate attività di ricerca. Già attualmente le tecnologie disponibili consentirebbero di recuperare da tali risorse almeno 1.500 miliardi di barili di petrolio di buona qualità a costi intorno ai 40 - 60 \$/b.

Va notato inoltre che i giacimenti finora noti di tali risorse "non convenzionali" non sono in Medioriente ma sono concentrati in paesi come il Canada, la Venezuela, la Russia e l'area del Caspio.

Se poi si allarga la visione all'insieme degli idrocarburi (com'è corretto fare, visto che da alcuni anni, grazie alle tecnologie Gas To Liquids, vengono prodotti carburanti liquidi di ottima qualità dal metano) ci si accorge che nel mondo, accanto alle riserve convenzionali di metano, esistono riserve di idrati di metano, il cui sfruttamento è certamente più costoso ma già oggi tecnologicamente possibile, per quantitativi superiori di almeno 100 volte al totale delle riserve mondiali di petrolio e metano.

Non vi è quindi alcun dubbio che le disponibilità mondiali di idrocarburi siano ben lungi dall'esaurimento.

Posto che i prezzi hanno superato largamente i costi di estrazione di queste risorse

“non convenzionali” la domanda è: perché non vengono sfruttate?

Molte cause vengono addotte: problemi ambientali, logistici, politici. Ma la vera ragione è che ancora oggi è meno costoso estrarre e raffinare il petrolio dei giacimenti “convenzionali”.

Il fatto che i prezzi siano elevati non implica quindi scarsità strutturale, come molti osservatori si sono affrettati a concludere; implica solo una scarsità congiunturale sulla quale qualcuno sta guadagnando molto.

La realtà è che le grandi compagnie, per minimizzare i rischi connessi alla ricostituzione delle riserve, hanno privilegiato l’acquisizione di piccole e medie compagnie piuttosto che l’attività di ricerca ed esplorazione. La ventennale politica di bassi investimenti e di sottovalutazione della domanda posta in atto dalle stesse compagnie petrolifere ha ridotto la differenza tra offerta e domanda di petrolio a meno di 3 milioni di barili/giorno, valore insufficiente anche in considerazione che l’offerta residua è di greggi pesanti, utilizzabili solo da una parte del sistema di raffinazione mondiale.

Le precedenti crisi petrolifere hanno mostrato chiaramente che di fronte a livelli di prezzo elevati si manifestano due reazioni tipiche di ogni mercato: la domanda è scesa (sia per iniziative di diversificazione, sia per l’elasticità tra prezzi e domanda, sia per il rallentamento dell’economia indotta dai prezzi alti) e l’offerta è salita per la maggiore convenienza ad investire nella ricerca di nuovi giacimenti. Sebbene i tempi necessari per adeguare sia la domanda che l’offerta siano stati dell’ordine di alcuni anni, il risultato è stato sempre un contro-shock con il crollo dei prezzi.

Questa volta i tempi di adeguamento potrebbero essere più lunghi e la motivazione va cercata nella analisi di chi ci guadagna dal protrarsi di una situazione di prezzi alti.

I soggetti che guadagnano non sono solo i paesi produttori ma anche le compagnie petrolifere.

In questo contesto gli investimenti di molte compagnie sono cresciuti, ma meno di quanto sarebbe stato logico aspettarsi: essi sono di norma una frazione dei margini operativi e persino degli utili netti; gli utili vengono invece destinati massicciamente a ricchi dividendi. Le motivazioni addotte sono la chiusura dei paesi mediorientali agli investimenti esteri e le difficoltà ambientali in quelli occidentali.

La vera motivazione è che lo *status quo* alle compagnie va benissimo ed è basso il rischio, per ciascuna di esse, di essere spiazzate da meccanismi concorrenziali.

Infatti la differenza con le precedenti crisi è che è cresciuta la concentrazione (dopo le molte fusioni e acquisizioni) ed è molto diminuita la concorrenza: quasi tutti i nuovi giacimenti vengono “cogestiti” sia nella fase di esplorazione che di produzione. Inoltre, soprattutto in Europa, negli anni 70 molte compagnie erano pubbliche o partecipate o influenzate dagli Stati e non potevano sottrarsi a collaborare per ripristinare l’equilibrio dei mercati; attualmente le residue partecipazioni pubbliche vengono gestite in termini finanziari e non in termini strategici.

Oggi quindi la situazione è diversa e ciò implica che la carenza di offerta, che riguarda sia la produzione che la raffinazione, potrebbe protrarsi più a lungo.

Naturalmente un rallentamento più vistoso dell’economia mondiale può accelerare fortemente il riequilibrio agendo sul lato della domanda, ma occorre chiedersi se non sia possibile intervenire con appropriati strumenti anche sul lato dell’offerta per stabilizzare il quadro nel medio-lungo termine.

Nessun paese europeo può incidere da solo sul mercato petrolifero: il mercato è sensibile a variazioni della differenza tra offerta e domanda dell'ordine del milione di barili/giorno ovvero circa 50 milioni di tonnellate/anno; l'Italia, che è uno dei maggiori consumatori, consuma meno di 2 milioni di barili/giorno.

Ma una strategia congiunta dei 25 paesi europei sull'offerta e sulla domanda petrolifera potrebbe essere di grande efficacia.

Sull'offerta la strategia dovrebbe essere basata sul recupero di una funzione operativa, ma a livello europeo, orientata a favorire nuovi investimenti per incrementare la produzione petrolifera sulla base di garanzie di lungo periodo sull'effettiva redditività degli investimenti aggiuntivi (quale paese non sarebbe disponibile oggi a stipulare un contratto di acquisto di lungo periodo a 50\$/b?).

Infatti gli attuali mercati mondiali del petrolio non soddisfano le esigenze degli investitori, siano essi paesi produttori o compagnie petrolifere, in termini di certezza dei ritorni dei nuovi investimenti e di stabilità e prevedibilità dei prezzi.

Infatti essi:

- da una parte non consentono di governare i rischi connessi ai nuovi investimenti in quanto i prodotti attualmente disponibili sui mercati hanno riferimenti temporali troppo brevi per essere utilizzati per dare certezza ai ricavi di un nuovo investimento nel settore petrolifero;
- dall'altra consentono invece alla speculazione finanziaria di estrarre una quota significativa del valore del petrolio attraverso una forte volatilità dei prezzi.

In effetti oggi i principali mercati regolamentati, ovvero il NIMEX (New York Mercantile Exchange), l'ICE (Intercontinental Exchange – London) e il SIMEX (Singapore International Monetary Exchange) rendono disponibile una serie di contratti derivati (futures, opzioni, swaps) regolati per contanti (salvo alcuni prodotti regolati anche con la consegna fisica, come ad esempio alcuni futures trattati al NIMEX con consegna a Cushing in Oklahoma), ma l'arco temporale è di norma sempre di breve termine e in rari casi raggiunge i dieci anni.

Quindi questi prodotti finanziari garantiscono molte possibilità agli operatori di coprirsi sull'andamento dei prezzi del petrolio di breve e medio termine, ma non svolgono di fatto un ruolo rispetto ai nuovi investimenti.

Infatti, se si considera che un nuovo investimento petrolifero richiede almeno 5 anni dalla fase di esplorazione alla produzione e basa la sua profittabilità sul valore della produzione nell'arco di almeno un ventennio, appare evidente che i prodotti finanziari attualmente disponibili non hanno una significativa utilità rispetto alle decisioni di investimento.

Esiste naturalmente un'altra categoria di strumenti finanziari non standardizzati né regolamentati, creati da società più o meno affidabili, il cui commercio non è sottoposto ad alcun controllo ma si svolge a livello mondiale con un semplice accordo tra chi compra e chi vende senza verifiche sui rischi di insolvenza. Si tratta dei cosiddetti derivati OTC (Over The Counter), ovvero prodotti "da banco" come i farmaci generici venduti nei vecchi drugstore statunitensi.

Nei mercati OTC sono disponibili numerosi prodotti (swaps, forwards, opzioni) tra i quali anche swaps a scadenza decennale con i quali si scambia petrolio a prezzo fisso con petrolio a prezzo variabile.

Ma la fondamentale differenza tra i derivati regolamentati e gli OTC è che i primi, grazie al controllo delle borse e alle case di compensazione (clearing house) consen-

tono di ridurre al massimo i rischi di insolvenza dei partecipanti alle transazioni in quanto impongono garanzie che vengono incamerate in caso di mancato rispetto degli impegni; i secondi si basano invece solo sulla affidabilità della controparte.

In sostanza, di norma solo un mercato regolamentato attraverso il sistema delle garanzie è in grado di sostenere un piano finanziario di investimento.

Uno dei problemi che ostacola lo sviluppo di mercati finanziari regolamentati che trattino prodotti finanziari di lungo termine è l'onerosità delle garanzie necessarie per minimizzare i rischi di insolvenza.

Di fatto, in ambito esclusivamente privato, il costo di una garanzia fideiussoria o assicurativa ventennale o trentennale può vanificare la convenienza delle controparti nella stipula dei contratti.

Tuttavia questo ostacolo può essere agevolmente superato se:

- la controparte centrale, ovvero la controparte sia dell'acquirente che del venditore, è un soggetto di elevata autorevolezza, capacità finanziaria e stabilità istituzionale, come potrebbe essere ad esempio in ambito europeo la BEI, al quale sia affidato l'obiettivo pubblico della garanzia degli approvvigionamenti europei;
- i prodotti siano contratti regolati con la consegna fisica in uno o più punti europei.

Di fatto questo autorevole soggetto europeo che svolgesse la funzione di controparte centrale potrebbe governare i rischi di insolvenza:

- lato domanda limitando le garanzie richieste al differenziale tra il prezzo della transazione e quello connesso ad un prezzo del petrolio ritenuto "congruo" dall'Europa nel lungo termine, tenendo conto dell'inflazione e del corso dei tassi di cambio (di fatto l'Europa assumerebbe il "rischio" che il prezzo del petrolio scenda al di sotto del valore ritenuto "congruo");
- lato offerta limitando l'accesso a operatori qualificati e credibili in termini di disponibilità petrolifere (compagnie di paesi produttori, grandi compagnie internazionali) per i quali l'eventuale insolvenza nei confronti dell'Europa avrebbe non solo conseguenze finanziarie ma anche politiche ed economiche.

I vantaggi della creazione di un simile mercato regolamentato europeo sono evidenti:

- i produttori potrebbero avviare nuovi investimenti sulla base di ricavi futuri certi, con importanti vantaggi in termini di stabilità economica e politica per i paesi produttori;
- l'Europa potrebbe fare affidamento su scenari affidabili di prezzi energetici di lungo termine.

## Paolo Landi

Segretario Generale Adiconsum\*

Il processo di liberalizzazione del settore energetico, specialmente per quanto attiene al gas metano, non ha generato un sufficiente livello di concorrenza, né apprezzabili vantaggi per i consumatori domestici, nonostante la positiva attività di regolazione svolta dall'Autorità per l'Energia.

Le imprese ex monopoliste (in particolare Eni nel settore del gas e dei carburanti) esercitano ancora un ruolo dominante nel mercato ed ostacolano un effettivo sviluppo della concorrenza.

Intanto, il frenetico aumento del prezzo del greggio e l'abnorme tassazione che grava sui prodotti energetici, stanno diventando insopportabili per il bilancio delle famiglie e richiedono interventi decisi e immediati: la bolletta energetica è ormai di gran lunga la voce più importante delle spese domestiche.

### *Interventi immediati per alleggerire la bolletta energetica delle famiglie*

Adiconsum è contraria al blocco delle tariffe energetiche: provvedimento demagogico che avrebbe come unica conseguenza quella di ritardare l'effetto delle inefficienze del sistema e dei maggiori costi, per scaricarli tutti insieme al termine del blocco.

Invece, per contenere in modo strutturale il peso della bolletta energetica sulle famiglie si propone al Governo di adottare i seguenti provvedimenti.

1. Ridurre la tassazione che grava sulle bollette del gas metano delle famiglie, a partire dalla abolizione delle accise sui primi scaglioni di consumo (per favorire le famiglie meno abbienti), per giungere alla applicazione dell'aliquota IVA ridotta (10%), considerando anche il gas, come l'energia elettrica, un bisogno primario. Una parte delle risorse occorrenti, potrebbe essere reperita aumentando le *royalties* liquidate dall'Eni allo Stato per la produzione nazionale.
2. Trasferire in tutto o in parte alla fiscalità generale gli *Oneri di Sistema*, che gravano sulla bolletta elettrica dei clienti domestici per oltre il 10%. Più precisamente:
  - i costi connessi allo smantellamento delle centrali elettronucleari dismesse e alla chiusura del ciclo del combustibile nucleare (*voce A2 nella tariffa*);
  - i costi per le attività di ricerca finalizzate all'innovazione tecnologica di interesse generale per il sistema elettrico (*voce A5 nella tariffa*);
  - i costi relativi alla copertura delle integrazioni tariffarie alle imprese elettriche isolate (*voce UC4 nella tariffa*);
  - le compensazioni ai comuni presso i quali sono presenti depositi di scorie radioattive (*voce MCT nella tariffa*);
  - i costi delle condizioni tariffarie favorevoli per forniture di energia elettrica a particolari soggetti: industrie energivore, Ferrovie dello Stato ecc. (*voce A4 nella tariffa*);
  - riduzione dei cosiddetti *stranded costs* (*voce A6 nella tariffa*).

\* ADICONSUM è un'associazione di consumatori costituita nel 1987, che conta oltre 122.000 iscritti e 283 sportelli di informazione e consulenza in tutte le Regioni.

3. Eliminazione dell'IVA sugli oneri di sistema eventualmente non trasferiti alla fiscalità generale, che attualmente grava sulle bollette elettriche per circa 670 milioni di euro l'anno.

4. Abolizione del comma 298 della Legge Finanziaria 2005 e del comma 493 della Legge Finanziaria 2006, che trasferiscono dalle bollette elettriche al bilancio dello Stato rispettivamente 100 e 35 milioni di euro all'anno, tra l'altro soggetti ad IVA.

5. Assegnare all'Autorità per l'Energia il potere di disciplinare le modalità di pompaggio del gas metano (attualmente gestite autonomamente da Eni) e di intervenire nelle situazioni temporanee e locali ove l'esercizio del potere dominante delle Imprese elettriche determina anomali ed esorbitanti livelli del prezzo dell'elettricità.

#### Gas metano

Il ruolo dominante dell'Eni, che è proprietario e gestisce in regime di monopolio le strutture di stoccaggio, la rete di trasporto e la gran parte delle importazioni di gas, impedisce di fatto l'ingresso nel settore di altri *competitors*.

A questo fine è indispensabile che il Governo dia attuazione alle raccomandazioni della Commissione Europea ed alle segnalazioni dell'AEEG, affidando ad una Società terza la proprietà e la gestione degli stoccaggi e della rete di trasporto del gas, anche per impedire il ripetersi di carenze di offerta, che, diversamente dall'anno 2005, sono state evitate negli anni successivi per la mitezza degli inverni.

Inoltre, è urgente superare tutti gli ostacoli che impediscono la costruzione di nuovi rigassificatori, indispensabili per aumentare l'offerta di gas, per permettere l'ingresso di nuovi operatori e per diversificare l'approvvigionamento del prodotto.

Il verificarsi delle condizioni suindicate permetterebbe di realizzare, come avviene nel settore elettrico, una Borsa del gas, quale strumento per un effettivo mercato competitivo, ed un Acquirente Unico del gas per i clienti domestici del mercato di maggior tutela.

#### Elettricità

Riguardo al settore elettrico si ritengono prioritari i seguenti interventi.

1. Vanno rapidamente rimossi gli ostacoli amministrativi che impediscono a TERNA di effettuare gli investimenti necessari per implementare la rete di trasmissione interna e le interconnessioni internazionali. Si tratta di interventi non più procrastinabili per superare le strozzature che impediscono la fluidità della trasmissione elettrica, che si ripercuote negativamente sul prezzo dell'energia elettrica ed espone vaste aree del paese (Sicilia) al rischio di *black out*.

2. I costi per la promozione della produzione di elettricità da fonti rinnovabili (voce A3 nella tariffa) derivano dal c.d. CIP6, che solo in minima parte è destinato alle fonti rinnovabili, mentre la gran parte sovvenziona le c.d. assimilate. Tali costi erano destinati a una progressiva riduzione in vista della scadenza dei contratti in essere. L'introduzione del Conto Energia per incentivare la realizzazione di impianti fotovoltaici, senza alcun tetto di potenza installabile (facilitando così i grandi impianti) e con un incentivo cinque volte superiore al costo di vendita dell'elettricità prodotta, sta riportando pericolosamente in alto la componente tariffaria A2. D'altra parte di tali incentivazioni beneficiano soprattutto i produttori esteri di



pannelli fotovoltaici (mentre l'industria nazionale è quasi assente) ed i soggetti che finanziano e installano tali impianti (banche e aziende). Per queste ragioni chiediamo di rivedere i criteri di incentivazione degli impianti fotovoltaici:

- prevedendo l'incentivo soltanto per i piccoli impianti sufficienti a coprire l'autoconsumo dei clienti domestici;
- ridimensionando l'incentivazione in modo da rientrare dai costi dell'investimento, ma senza produrre utili;
- fissando un tetto massimo di potenza installata complessiva.

**3.** Il mix di combustibili utilizzato in Italia per la produzione di energia elettrica è troppo costoso. Il Governo ha il dovere di realizzare una politica energetica che permetta di ridurre la dipendenza dal petrolio e dai suoi derivati, ricercando e promuovendo l'utilizzo di fonti alternative. A questo fine, anche l'opzione nucleare non può essere scartata a priori. Tuttavia, per dare concretezza al dibattito, è decisivo che il Governo individui e realizzi il sito per lo stoccaggio delle scorie radioattive esistenti, che a breve la Francia ci rimanderà indietro, senza che siamo ancora pronti ad accoglierle.

#### *Insediamiento di nuovi siti energetici*

Al fine di facilitare l'insediamento di nuovi siti energetici (centrali termoelettriche nucleari, a carbone o tradizionali, campi eolici, termovalorizzatori, rigassificatori ecc), occorre prevedere che, oltre alla massima trasparenza nelle procedure per la scelta dei siti, agli abitanti delle aree interessate ai nuovi siti energetici siano concessi consistenti sconti sulle bollette. Superando così lo schema dei compensi diretti ai Comuni, che spesso assumono l'aspetto di concessioni clientelari, senza incidere sull'opinione della gente.

#### *Carburanti*

Anche a seguito della procedura di infrazione aperta dalla CE verso il nostro Paese, occorre agire con decisione per introdurre una maggiore concorrenza nel settore, favorendo l'ingresso di nuovi operatori ed eliminando i vincoli oggi presenti per la realizzazione di nuove aree di servizio. A questo proposito è decisivo prevedere la graduale eliminazione dell'obbligo dei gestori di acquistare i carburanti esclusivamente dalla *Casa Madre* dell'area di servizio, lasciando loro la possibilità di rifornirsi liberamente sul mercato.

Il vorticoso aumento del costo dei carburanti permette all'erario un'importante crescita delle entrate, dovuta all'incremento dell'IVA, che chiediamo sia restituita ai consumatori. Si ritiene che lo strumento per tale restituzione non debba essere la riduzione delle accise, che non garantisce un vantaggio certo agli automobilisti, ma un mezzo più diretto, quale l'aumento delle detrazioni fiscali o la riduzione del bollo auto.

#### *Contratto Servizio Energia*

La difficoltà delle famiglie di disporre di risorse finanziarie, rappresenta l'ostacolo principale alla realizzazione degli investimenti energetici necessari alla riqualificazione degli impianti di riscaldamento condominiali obsoleti.

Il Contratto di Servizio Energia (CSE) permette di effettuare la riqualificazione degli impianti di riscaldamento utilizzando le risorse economiche derivanti dal rispar-

mio energetico, senza anticipazioni finanziarie da parte delle famiglie.

Il CSE è stato sinora sostenuto dalla legislazione italiana con l'applicazione dell'aliquota IVA ridotta al 10% (DPR 412/93). Talune recenti modifiche legislative permettono invece l'applicazione dell'IVA al 10% soltanto per gli impianti che utilizzano energia prodotta da fonti rinnovabili, svuotando l'obiettivo del DPR 412/93.

Gli uffici del Dipartimento Energia del Ministero hanno approntato una nuova bozza di Decreto che precisa meglio le caratteristiche dei Contratti di Servizio Energia, ai quali applicare l'IVA al 10%.

È necessario che il Governo, dopo la recente approvazione del testo del decreto, dia attuazione attraverso normativa affinché si chiarisca l'applicabilità dell'IVA al 10% sui Contratti di Servizio Energia, in modo da favorire la riqualificazione energetica degli impianti di riscaldamento degli edifici. Questa norma, insieme ad una maggiore efficienza dei sistemi di riscaldamento e ad un uso razionale dell'energia prodotta, consentirebbe alle famiglie con riscaldamento centralizzato un risparmio del 20-30% sulla bolletta.

#### *Risparmio energetico*

L'efficienza dei consumi energetici delle abitazioni permette significativi risparmi economici per le famiglie: gli incentivi fiscali previsti dalla Legge Finanziaria 2007 e prorogati sino al 2010 dalla Legge Finanziaria 2008, rappresentano uno strumento importante per promuovere gli investimenti di qualificazione energetica degli edifici.

Questi provvedimenti andrebbero accompagnati da una efficace campagna informativa, anche rafforzando il servizio informativo e di assistenza fornito dal Numero Verde 800 985 280.

## Alessandro Lanza

Amministratore Delegato Eni Corporate University

Il tema relativo al prezzo del petrolio ha occupato i palinsesti televisivi e le pagine dei giornali nei mesi passati. Nel momento in cui si è realizzato un incremento così repentino (il greggio WTI ha toccato il suo valore massimo di 145,3 US\$/barile il 3 luglio) è stato difficile cercare di analizzare alcuni fattori che potrebbero contribuire a spiegare questo aumento. La significativa riduzione di questi mesi, che ha riportato il petrolio decisamente al di sotto degli 80 US\$/barile, offre oggi la possibilità di affrontare alcuni nodi con maggiore lucidità. Capire cosa determina il prezzo dell'energia non può essere disgiunto da un'analisi su chi (e quanto) guadagna su queste merci.

Il prezzo del petrolio – che possiamo tranquillamente utilizzare come indicatore per il prezzo dell'energia nel complesso – dipende da una molteplicità di fattori. È sotto gli occhi di tutti come, specie negli ultimi mesi, l'attenzione si sia concentrata sul tema della finanza e molto spesso gli operatori puramente finanziari sono finiti con clamore mediatico sul banco degli imputati.

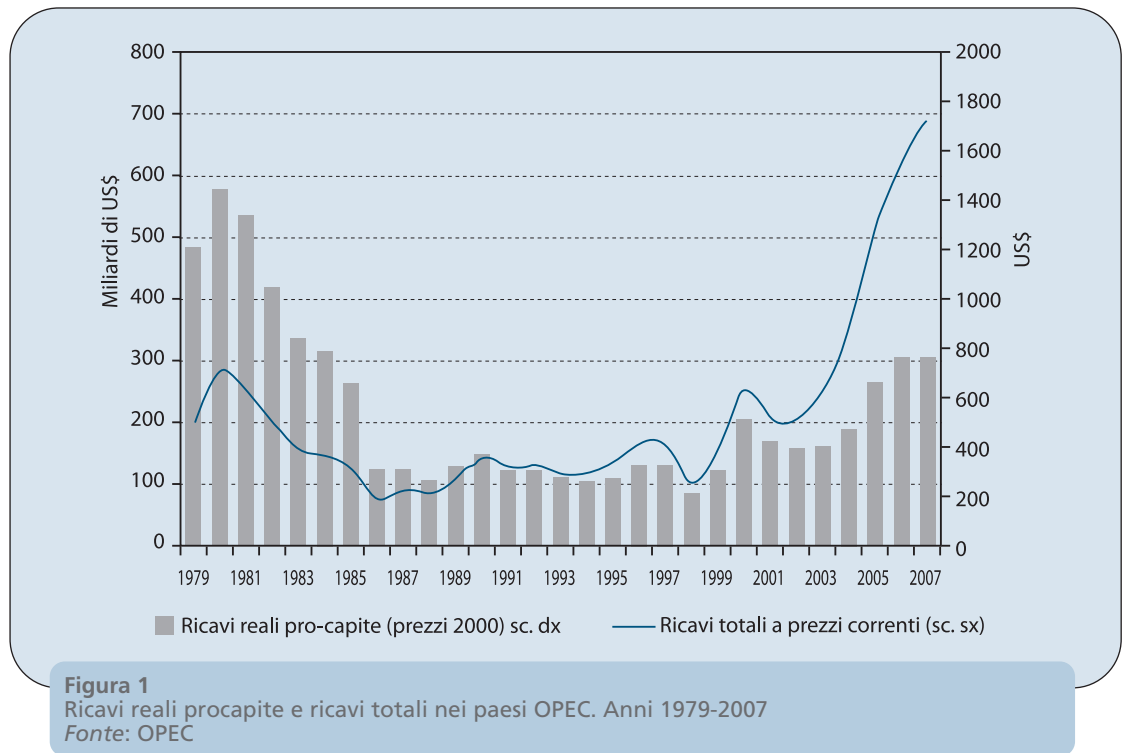
Questa attenzione unidirezionale ha finito per nascondere alcuni elementi di struttura su cui è invece utile focalizzare la nostra attenzione.

Per poter essere pienamente compreso, il prezzo del petrolio – come qualsiasi prezzo – deve essere messo in relazione con il paniere di merci che quel barile di petrolio può acquistare. Supponiamo di trovarci in un'economia di baratto. Questa economia semplificata si basa sulla conoscenza esatta di che cosa posso scambiare con un barile di petrolio. Tuttavia questo scambio non è fisso nel tempo perché cambiano le condizioni al contorno, ovvero le ragioni di scambio, e dunque in un giorno diverso posso ricevere più o meno merci di quelle che ricevevo prima. In generale, moneta, prezzi e mercato assolvono questo compito: rendere immediatamente confrontabili i valori delle merci.

Se comprendiamo questo passaggio ci risulterà dunque evidente del perché non dobbiamo guardare al prezzo nominale del petrolio quanto al suo valore reale. Tuttavia, utilizzare la serie dei valori reali per capire la dinamica di un prezzo non è un'operazione banale. La stessa serie storica del prezzo del petrolio può offrire risultati diversi se si utilizzano deflatori differenti. E l'uso di un deflatore piuttosto che di un altro è operazione del tutto legittima. Tutto dipende dalla nostra prospettiva, ovvero dal modo in cui intendiamo guardare il mondo, che dipende dal fenomeno che vogliamo spiegare. Se, per esempio, ci interessa confrontare la dinamica del prezzo del petrolio con l'occhio del paese consumatore, utilizzeremo come deflatore l'indice dei prezzi al consumo.

Nel nostro caso vogliamo invece assumere il punto di vista del paese produttore. In questo caso il deflatore non sarà più l'indice dei prezzi al consumo, ma un indice che tenga conto della prospettiva del paese produttore, ovvero quanto il produttore può acquistare con un barile di petrolio. Si comprende come il ragionamento sottostante sia completamente diverso. Il deflatore da utilizzare nel caso del valore reale del petrolio, espresso prendendo come riferimento l'ottica di un paese produttore, si chiama *valore medio unitario* (VMU) delle esportazioni dei paesi industrializzati.

In poche parole, chi utilizza questo indice vuole conoscere il valore reale del proprio barile per rapporto alle merci che può comprare dai paesi industrializzati. Questo *valore medio* tiene conto tanto delle modifiche delle ragioni di scambio (prezzi re-



lativi) quanto delle differenze (apprezzamento o deprezzamento) del tasso di cambio. Facciamo un passo oltre. Un paese che produce petrolio non è interessato unicamente al prezzo in quanto tale. La sua attenzione preponderante è rivolta al prodotto tra prezzo e quantità, ovvero ai ricavi. Inoltre se assumiamo (com'è corretto) un'ottica più ampia (ma anche più concreta) possiamo utilizzare come indicatore più preciso i ricavi pro-capite. Si tratta di una misura che più di altre può dar conto delle forze che guidano le scelte di un paese produttore. Si tratta, infatti, di paesi in cui il petrolio pesa moltissimo nell'economia nazionale. La distribuzione, per quanto teorica, della rendita petrolifera può aiutare a comprendere diversi fenomeni. Inoltre, nella maggioranza dei casi, si tratta di paesi che hanno tassi di crescita della popolazione importanti e che quindi richiedono risorse crescenti dalla propria industria petrolifera. Per completare questo esempio, non mostreremo i risultati di un singolo paese, ma dei paesi OPEC in aggregato<sup>1</sup>.

La *Figura 1* mostra quanto abbiamo appena descritto. I ricavi totali (a prezzi correnti) raccontano una storia di grande successo: un incremento importante a partire dal

<sup>1</sup>L'OPEC (ovvero Organization of the Petroleum Exporting Countries) è stata creata nel 1960. Ai cinque paesi fondatori (Iran, Irak, Kuwait, Arabia Saudita e Venezuela se ne sono aggiunti altri nove: Qatar (1961); Indonesia (1962); Libia (1962); Emirati Arabi Uniti (1967); Algeria (1969); Nigeria (1971); Ecuador (1973) (che ha sospeso la propria adesione per poi rientrare quest'anno); Angola (2007); e Gabon (1975-1994).

<sup>2</sup>Il dibattito accademico su questa tecnica (nota come *shift and share analysis*), è stato ampio e di lunga durata. Ripercorrere questo dibattito in questo breve articolo appare non appropriato. Dobbiamo però ricordare che la scomposizione così come illustrata contiene necessariamente un elemento residuo che è dato dalla interazione delle diverse componenti. In altre parole, la somma dei tassi di crescita delle variabili elementari non è uguale al tasso di crescita della variabile oggetto di studio. Questa differenza, che in questo esercizio è molto modesta, è stata ricalibrata proporzionalmente alle diverse componenti.

2000 in poi, anno in cui i ricavi volano da circa 200 fino a quasi 700 miliardi di US\$. La storia che è invece raccontata dal reddito *pro capite* in termini reali è meno eclatante. Se consideriamo sempre gli anni tra il 2000 e il 2007, vediamo che il reddito pro capite aumenta da 200 a 300 US\$. La crescita percentuale media del reddito complessivo sfiora il 16% per anno, mentre il reddito pro capite cresce al 5% per anno.

Che cosa spiega questa differente dinamica? Il reddito pro capite reale può essere definito con una semplice formula:

$$\frac{p_i Q_i d_i}{POP_i} \quad \text{dove } p \text{ è il prezzo, } Q \text{ la quantità, } d \text{ il deflatore, } POP \text{ la popolazione.}$$

In modo molto semplice si può trasformare questa espressione in:

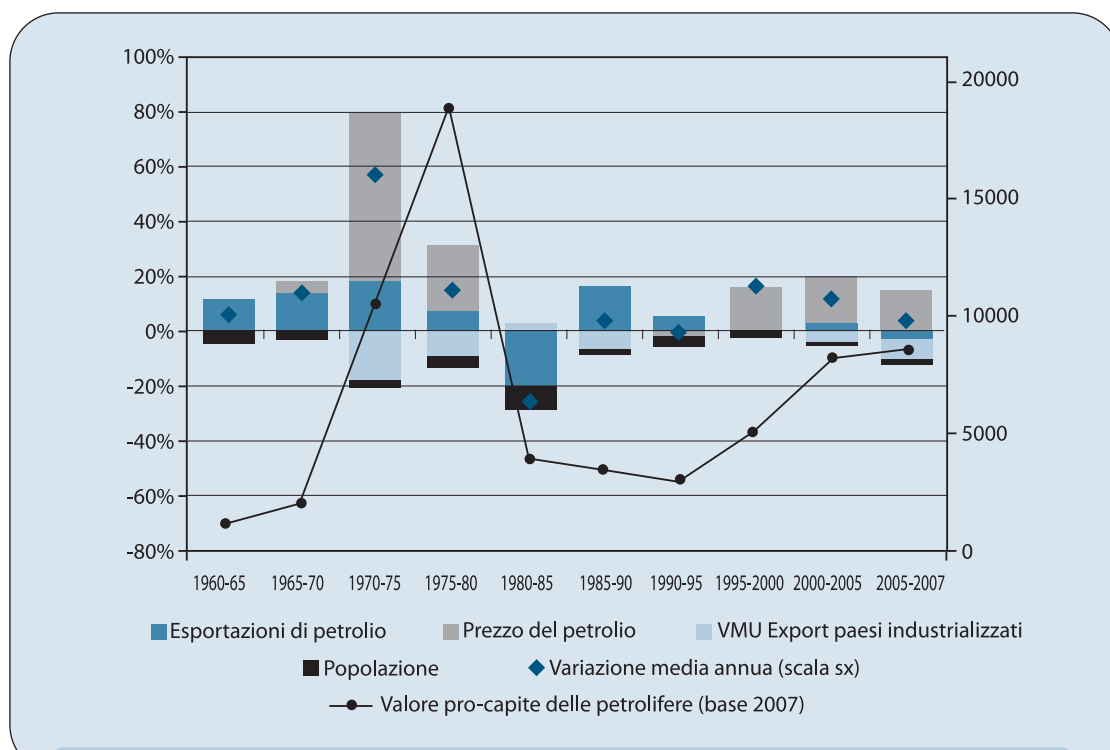
$$\Delta \frac{p_i Q_i d_i}{POP_i} = \Delta p_i + \Delta Q_i + \Delta \left( \frac{1}{POP_i} \right) \quad \text{dove con } \Delta \text{ si indica il tasso di crescita medio annuo}^2.$$

Si può in questo modo scomporre la dinamica dei ricavi reali pro capite nella dinamica dei suoi fattori elementari.

Per mostrare un esempio concreto guardiamo il caso dell'Arabia Saudita.

Con un quarto delle riserve mondiali di petrolio ed una popolazione di quasi 25 milioni di abitanti, l'Arabia Saudita rappresenta un caso molto interessante. Osserviamo la *Figura 2*.

In questo grafico vengono riportate numerose informazioni che possono servire a



**Figura 2**  
Arabia Saudita: scomposizione del reddito medio annuo procapite reale. Anni 1960-2007  
Fonte: OPEC

comprendere meglio come si forma il prezzo e chi e quanto ha guadagnato da questi incrementi. La figura è un po' complessa e va esaminata con attenzione. Il fenomeno che intendiamo focalizzare è il reddito pro capite espresso in termini reali. Il periodo in esame copre quasi 50 anni (1960-2007) ed è espresso in medie quinquennali. Il dato di partenza è espresso dalla linea spezzata. Il reddito pro capite (espresso in moneta 2007) valeva circa 1000 dollari in media nel periodo 1960-65. La crescita media annua di questo reddito pro capite è espressa dal rombo blu e vale circa il 6% nello stesso quinquennio. Questa crescita può essere letta anche come somma algebrica delle quattro componenti: *Esportazioni* o *Quantità* (+11%), *Prezzo* (-2%), *Deflattore* (-1%), *Popolazione* (-3%). Queste ultime due componenti sono sostanzialmente esogene alle scelte della politica. Come si può osservare dalla Figura 2, negli ultimi 15 o 20 anni (ma non dimentichiamo che questi dati sono fermi al 2007) l'Arabia Saudita ha utilizzato la leva del prezzo per mantenere sostanzialmente invariato il reddito pro capite reale. Se da una parte la popolazione cresce ad un tasso intorno al 2,5% e l'effetto inflazione vale almeno 3 o 4 volte di più, in assenza di politiche sulle quantità, la leva prezzo deve essere utilizzata per oltre il 15% in media annua per mantenere il reddito pro capite invariato. L'esempio potrebbe ovviamente essere esteso. Resta da sottolineare come, vista da Occidente, la politica OPEC, ed in questo esempio quella dell'Arabia Saudita, appaia unicamente una politica di successo e di alti prezzi. Come si vede chiaramente dalle figure, questi paesi hanno perso moltissimo nel tempo. Si osservi per esempio il periodo 1970-80. Due successivi *shock* hanno permesso all'Arabia Saudita di fare politiche di prezzo e di quantità. La vulnerabilità, ovvero la dipendenza dal petrolio da parte delle economie occidentali era molto maggiore. Inoltre, nel caso specifico dell'Arabia Saudita, vi è stato un massiccio intervento diretto sulla quantità offerta, teso a compensare il greggio mancante a causa della lunga guerra Iran-Irak. Resta il fatto che il reddito pro capite si è quasi dimezzato rispetto ad allora e le politiche di domanda sono quasi inesistenti. I tassi di crescita della domanda petrolifera OECD si sono ridotti ai minimi storici ed il mondo nel complesso cresce con un ritmo intorno all'1,3% per anno che, in livello, significa in media poco più di 1 milione di barili/giorno. Poco, troppo poco, per fare politiche di espansione di quantità. Un aspetto da cogliere riguarda le diverse strategie messe in atto nel costo del tempo. Fino agli anni 80 il reddito è stato mantenuto utilizzando prevalentemente la leva delle quantità. Del ruolo ricoperto dall'Arabia Saudita nel corso del conflitto Iran-Irak si è già detto. Tuttavia, al netto di questo intervento, lo spazio riservato alle quantità risulta evidente. Diverso è il periodo 1990-2007, dove non è stato possibile agire unicamente sulle quantità, ma sono le politiche di prezzo che hanno avuto un ruolo fondamentale. È difficile prevedere il futuro per queste politiche ma, in presenza di una domanda che si mantiene contenuta, il ruolo del prezzo risulterà ancora fondamentale.



# Tecnologie per la cattura e il sequestro della CO<sub>2</sub>

Luigi Mazzocchi\*, Antonio Negri\*\*

CESI RICERCA SpA

\*Dipartimento Sistemi di Generazione

\*\* Dipartimento Ambiente e Sviluppo Sostenibile

*Una sintesi dei risultati di studi e ricerche relativi alle configurazioni impiantistiche, alle tecnologie innovative di cattura, alle potenzialità di sequestro geologico ed ai fenomeni di trasporto e stabilizzazione nel sottosuolo*

La correlazione fra i cambiamenti climatici in atto e le attività umane è un dato ormai ampiamente condiviso. Ad esempio l'Intergovernmental Panel on Climate Change (un Organismo creato nel 1988 in ambito ONU per la valutazione dei rischi dei cambiamenti climatici) indica [1] che anche stabilizzando le concentrazioni di gas serra ai livelli 2000 si avrebbe un incremento di circa 0,6 °C di temperatura media al 2030, mentre, in tutti gli scenari di emissione ritenuti più realistici possibili, l'incremento di temperatura è compreso fra 1,8 e 4,0 °C. Il principale gas serra responsabile dei cambiamenti in atto è l'anidride carbonica. In base a dati dell'International Energy Agency, la produzione centralizzata di elettricità e calore è al primo posto, con circa il 40% del totale, fra le sorgenti di emissione di CO<sub>2</sub> derivanti dall'utilizzo dei combustibili fossili.

Il contenimento delle emissioni di CO<sub>2</sub> può essere realizzato attuando una serie di azioni, fra loro complementari, che secondo l'analisi svolta dall'International Energy Agency (AIE) possono essere classificate, in ordine di importanza, come segue [2]:

- miglioramento dell'efficienza energetica;
- cattura e stoccaggio della CO<sub>2</sub> ;

- passaggio a combustibili a minore contenuto di carbonio;
- energie rinnovabili;
- energia nucleare.

Si evidenzia quindi il potenziale ruolo strategico delle tecnologie di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>, che rappresentano nelle aspettative di molti esperti una soluzione chiave che consentirebbe di conciliare tre esigenze:

## Technologies for CO<sub>2</sub> Capture and Sequestration

*A summary of the results of studies and research on plant configuration, capture innovation technologies, geological sequestration potentials, and underground transport and stabilisation phenomena*

- soddisfare la crescente domanda di energia, e in particolare di elettricità;
- rendere disponibile l'energia in condizioni di economicità, in modo da non frenare lo sviluppo;
- intervenire in modo efficace sui mutamenti climatici.

### La cattura della CO<sub>2</sub>

È anzitutto opportuno sottolineare la priorità di applicazione della cattura della CO<sub>2</sub> agli impianti a carbone. Il costo della cattura, per unità di CO<sub>2</sub> catturata, è infatti nettamente più basso nel caso del carbone, per ragioni di concentrazione nei fumi. Una stima [3] dei costi, indica valori dell'ordine di 15÷25 €/tCO<sub>2</sub> nel caso di impianti a carbone, di 50÷60 €/tCO<sub>2</sub> nel caso del gas naturale<sup>1</sup>.

Va inoltre considerato che l'abbondanza delle riserve di carbone è assai superiore a quella del gas naturale e che le prospettive di andamento dei prezzi dei due combustibili sono più favorevoli all'impiego del carbone.

Le configurazioni impiantistiche, considerate applicabili per la cattura della CO<sub>2</sub> in impianti termoelettrici a carbone, sono essenzialmente tre:

**1. cattura post-combustione:** si realizza una combustione tradizionale abbinata ad un ciclo a vapore possibilmente ad alta efficienza (USC). Sui fu-

mi di combustione si opera un'estrazione selettiva della CO<sub>2</sub>;

**2. cattura pre-combustione:** si realizza mediante un impianto IGCC (gassificazione integrata con un ciclo combinato), modificato con l'inserimento, nella linea di trattamento del syngas prodotto, di un sistema di separazione della CO<sub>2</sub>. Il syngas residuo, essenzialmente costituito da idrogeno, viene poi inviato alla turbina a gas del ciclo combinato;

**3. combustione in aria arricchita, detta anche "Oxyfuel":**

Si realizza in un impianto termoelettrico a carbone polverizzato, di tipo tradizionale salvo che il comburente non è aria, ma ossigeno relativamente puro. Si ottiene quindi una miscela di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, quest'ultima facilmente eliminabile mediante condensazione.

I tre schemi principali si presentano in forte competizione e non è ancora emersa una chiara preferenza, anche se fra i progetti dimostrativi annunciati si manifesta una certa prevalenza della cattura pre-combustione a partire da processi di gassificazione del carbone. Fattori positivi e negativi tendono a bilanciarsi, come si può osservare nella seguente tabella di confronto.

Come si può osservare, la soluzione pre-combustione è più indicata nel caso di un nuovo impianto, quella post-combu-

**Tabella 1 - Confronto qualitativo fra le diverse tecniche di cattura della CO<sub>2</sub>**  
( "-" punti di debolezza, "+" punti di forza)

	POST-COMBUSTIONE	PRE-COMBUSTIONE	OXYFUEL
Efficienza elettrica	---	-	--
Facilità di gestione	++	-	+
Adatto a retrofit	++	-	+
Prospettive di miglioramento	+	++	+
Coproduzione di idrogeno	NO	SI	NO

Fonte: CESI RICERCA

<sup>1</sup> Va precisato che tali valori sono intesi come obiettivi da raggiungere a valle di attività di miglioramento delle tecnologie di cattura.

stione è maggiormente indicata come retrofit. La combustione in aria arricchita si presenta come intermedia. Sulla base di tali considerazioni, le ricerche svolte da CESI RICERCA si sono finora indirizzate su due linee: la cattura pre-combustione e quella post-combustione.

### Tecnologie innovative di cattura pre-combustione: membrane metalliche per la separazione H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>

Le membrane sono ampiamente studiate nell'ambito della cattura pre-combustione della CO<sub>2</sub> in impianti IGCC. In particolare, numerose ricerche sono finalizzate allo sviluppo di membrane basate su palladio o sue leghe, in grado di separare l'idrogeno dalla CO<sub>2</sub> in un gas di sintesi. Uno degli obiettivi è l'ottenimento di film sottili di palladio, il che presenta il duplice vantaggio di migliorare le caratteristiche di differente permeazione dei gas, cioè delle capacità selettive della membrana, e di ridurre il quantitativo di palladio, materiale di costo piuttosto elevato. Fra le diverse tecniche di deposizione del palladio reperibili in letteratura (sputtering, CVD ecc.), quella cosiddetta di "electroless plating" è stata selezionata per alcuni aspetti vantaggiosi: possibilità di ottenere film sottili, buona adesione, realizzabilità mediante attrezzature relativamente semplici.

La ricerca adotta un approccio integrato in cui confluiscono sia studi teorico-modellistici che attività di sviluppo e di prova di prototipi.

#### *Preparazione delle membrane*

Membrane in palladio e in lega palladio/argento sono state ottenute su supporti inizialmente di tipo ceramico poroso in allumina. Si sono utilizzati tubi ceramici, con diametro esterno di 10 mm e granulometria compresa fra 50 e 200 nm.

La procedura prevede le seguenti fasi:

1. pulizia del supporto;
2. attivazione del supporto (ottenuta mediante immersioni alternate in soluzioni di sali di stagno e di palladio);
3. deposizione del palladio, con la tecnica di "electroless plating";
4. deposizione dell'argento;
5. trattamenti tecnici per l'ottenimento della lega Pd/Ag mediante diffusione.

Le fasi 4. e 5. ovviamente non si applicano nel caso si voglia ottenere una membrana di palladio puro. L'ottenimento di una lega Pd/Ag può presentare vantaggi di minore fragilità in presenza di idrogeno a bassa temperatura; tuttavia tale vantaggio è risultato, nelle esperienze condotte finora, di scarso rilievo e quindi, per semplicità, si è per il momento approfondito prevalentemente il caso di membrane in palladio puro.

I migliori risultati sono stati ottenuti con supporti in allumina con porosità di 200 nm. Lo spessore ottimale di palladio è risultato fra 5 e 10 µm.

In una fase successiva, si è passati all'utilizzo di supporti in acciaio sinterizzato (AISI 316L, granulometria media 100 nm, diametro esterno di 10 mm), allo scopo di superare le seguenti problematiche tipiche dei supporti ceramici:

- intrinseca fragilità dei prototipi ottenibili, già manifestatasi nel corso delle esperienze in presenza di transistori termici, ed a maggior ragione prevedibile nella prospettiva di un'applicazione industriale;
- rilevanti difficoltà tecnologiche nella fase applicativa, a causa della necessità di realizzare giunzioni metallo-ceramiche.

Tali importanti e forse decisive limitazioni dei prototipi in supporto ceramico possono essere sostanzialmente eliminate mediante il ricorso a supporti metallici porosi.

La procedura di deposizione nel caso di

supporti metallici è analoga a quella già descritta per i supporti ceramici; le principali differenze riguardano la fase di pulizia e il fatto che la deposizione viene effettuata all'esterno dei tubi.

#### Caratterizzazione delle membrane

Sono stati svolti test di permeazione su membrane a supporto ceramico mediante un apposito circuito, utilizzando gas puri ( $H_2$ ,  $N_2$ , He,  $CO_2$ ) a temperatura fino a  $380^\circ C$ , con  $\Delta P$  attraverso la membrana da 0,1 a 0,5 MPa.

La selettività dell'idrogeno, rispetto a elio e  $CO_2$ , alla temperatura di  $310^\circ C$  è presentata in *Figura 1*.

Si notino i valori piuttosto elevati (dell'ordine di 800) della selettività rispetto alla  $CO_2$ .

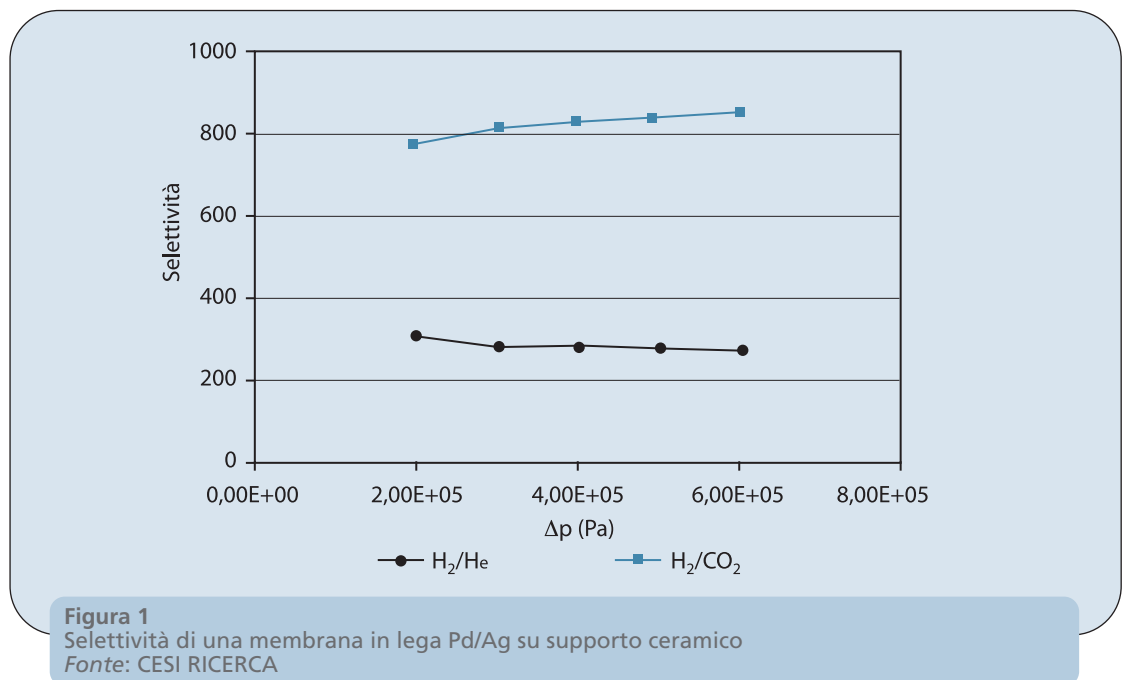
Per ovviare agli inconvenienti relativi alla connessione fra il supporto ceramico e le tubazioni esterne si è successivamente passati alla realizzazione di membrane su supporto metallico poroso.

La *Figura 2* presenta la selettività di una membrana di palladio depositata

su un supporto metallico poroso, per diverse temperature e pressioni differenziali. Si notano valori di selettività rispetto all'elio abbastanza buoni (fra 50 e 300). La causa di tali prestazioni un po' meno soddisfacenti della membrana su supporto metallico, rispetto a quella su supporto ceramico, è da ricercarsi nella morfologia del supporto, meno regolare. Si tenga peraltro presente che la selettività rispetto alla  $CO_2$ , che corrisponde al caso di reale interesse, è 3-4 volte superiore a quella rispetto all'elio. Ulteriori attività sono comunque previste al fine di migliorare le prestazioni delle membrane a supporto metallico.

#### Tecnologie innovative di cattura post-combustione: sorbenti solidi per assorbimento reversibile di $CO_2$

Fra le principali soluzioni impiantistiche per la cattura della  $CO_2$ , citate in precedenza, la cattura post-combustione è l'opzione più percorribile per un'appli-



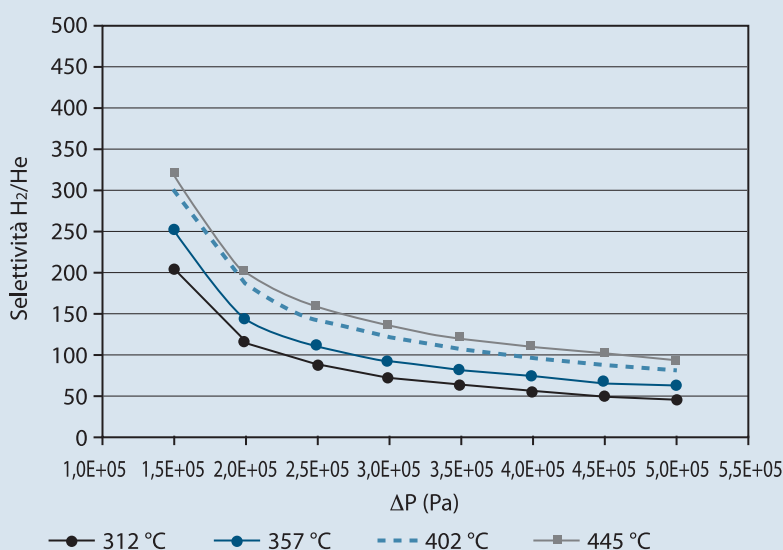
cazione ad impianti esistenti. Allo stato attuale, l'unica tecnologia commercialmente disponibile per la cattura post-combustione è l'assorbimento in una soluzione acquosa di ammine. Vi sono tuttavia alcuni fattori che rendono piuttosto costosa tale opzione: la vita utile delle ammine è limitata, si verificano importanti fenomeni di corrosione, ma soprattutto lo stadio di rigenerazione delle ammine, per l'estrazione della CO<sub>2</sub>, ha un altissimo costo energetico e può incidere sull'energia elettrica prodotta fra il 20 e il 35%.

L'assorbimento su sorbenti solidi è ritenuto una delle soluzioni più promettenti e meno dispendiose energeticamente per la cattura post-combustione della CO<sub>2</sub>. Tale approccio potrà avere successo a patto di individuare un sorbente che possa svolgere la funzione di cattura in termini competitivi con il processo ad ammine, cosa ad esempio ottenibile se il processo di assorbimento potesse avvenire a temperature relativamente basse, tipicamente fra 70 e 90 °C.

CESI RICERCA ha sviluppato un sorbente costituito da dietanolamina (DEA) supportata su una resina acrilica (Amberlite) e lo ha caratterizzato ai fini di un processo "TSA" (Temperature Swing Absorption) per la cattura della CO<sub>2</sub>.

#### Procedura sperimentale

Sono state eseguite prove di assorbimento di CO<sub>2</sub> sul sorbente di cui sopra e di rigenerazione del sorbente stesso. La composizione del gas simula i fumi di combustione di carbone, con la seguente tipica composizione in volume: 10% CO<sub>2</sub>, 3% O<sub>2</sub>, 10% H<sub>2</sub>O, 500 ppm NO, per il resto N<sub>2</sub>. Il reattore sperimentale è stato caricato con 135 grammi di sorbente; la velocità spaziale (definita come la portata di gas rapportata alla massa del sorbente) è stata variata da 0,44 and 0,88 Nlh-1g-1 e la temperatura del letto è mantenuta a 40 °C. Le composizioni di ingresso e di uscita del gas sono misurate con analizzatori in continuo. La quantità di CO<sub>2</sub> catturata dal sorbente è ottenuta per integrazione nel tempo del-



**Figura 2**  
Selettività dell'idrogeno rispetto all'elio, per una membrana in lega Pd/Ag su supporto metallico  
Fonte: CESI RICERCA

**Tabella 2 - CO<sub>2</sub> assorbita su Amberlite con 36% DEA - Velocità spaziale 0,44 Nlh<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup>****Composizione di ingresso in volume [CO<sub>2</sub>]=10%, [O<sub>2</sub>]=3%, [NO]=500 ppmv**

Test n°	H <sub>2</sub> O (% vol)	T (°C)	capacità netta di cattura		capacità totale di cattura mg CO <sub>2</sub> /g sorbente	CO <sub>2</sub> desorbita totale mg CO <sub>2</sub> /g sorbente
			mg CO <sub>2</sub> /g sorbente	T <sub>utile</sub> (min)		
1	-	25	14,8	10,9	16,4	15,9
2	-	25	14,5	10,7	16,7	16,4
3	-	25	14,6	9,8	15,9	15,3
4	10	40	12,5	9,4	14,1	13,7
5	10	40	12,8	9,5	13,6	13,2
6	-	25	14,3	9,7	16,3	15,9

Fonte: CESI RICERCA

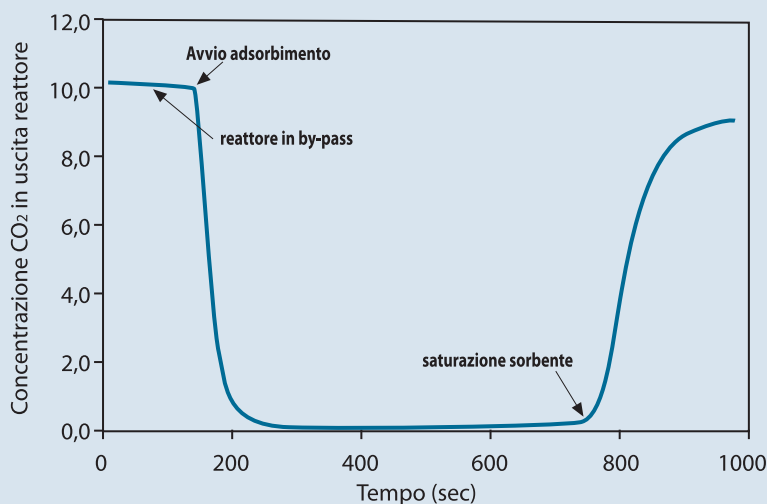
la concentrazione di CO<sub>2</sub>, acquisita durante la fase di assorbimento.

La rigenerazione del sorbente si realizza portando la temperatura del reattore a 80 °C.

#### Risultati delle esperienze di assorbimento/desorbimento di CO<sub>2</sub>

I parametri caratteristici del processo di assorbimento, ricavati dalle misure sopra descritte, sono, con riferimento alla Tabella 2 e alle Figure 3 e 4:

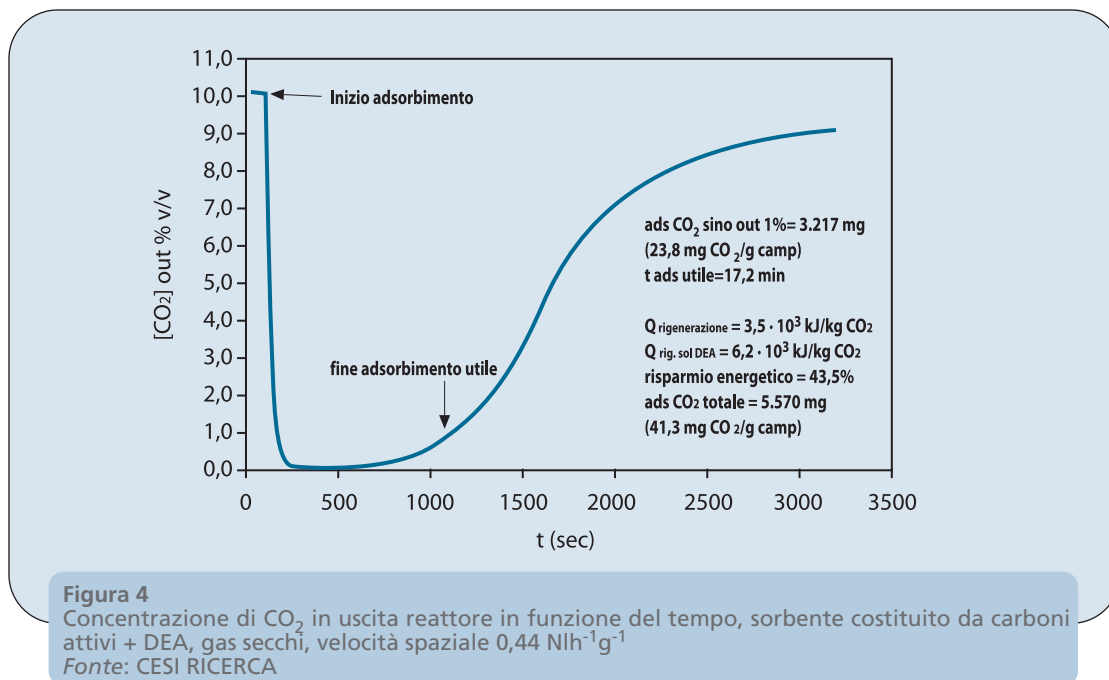
- capacità totale di cattura di CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub> assorbita dall'inizio dell'assorbimento all'istante in cui la concentrazione in uscita raggiunge il valore di ingresso, pari al 10% (saturazione del sorbente);
- capacità netta di cattura di CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub> assorbita dall'inizio dell'assorbimento all'istante in cui la concentrazione in uscita raggiunge il valore di un decimo di quella di ingresso, pari all'1% (assorbimento inferiore al 90% della portata entrante);

**Figura 3**

Concentrazione di CO<sub>2</sub> in uscita reattore in funzione del tempo, sorbente Amberlite + DEA, gas secchi, velocità spaziale 0,44 Nlh<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup>

Fonte: CESI RICERCA





- tempo utile di assorbimento: intervallo di tempo fra l'inizio dell'assorbimento e l'istante in cui la concentrazione in uscita raggiunge il valore di un decimo di quella di ingresso, pari all'1%. Le capacità di cattura vengono rapportate alla massa di sorbente impiegato e quindi forniscono un indice della resa del processo. Con gas secchi, le capacità nette e totali di cattura di CO<sub>2</sub> sono circa 15 e 17 mg di CO<sub>2</sub> per grammo di sorbente, rispettivamente. La presenza di vapor d'acqua abbassa in modo lieve le capacità di cattura. L'esecuzione di un certo numero di cicli di assorbimento/desorbimento non produce effetti di degrado e dimostra la stabilità del sorbente. La *Figura 3* mostra un tipico andamento della concentrazione di CO<sub>2</sub> nel tempo. Non appena il flusso di gas è diretto al reattore, la fase di assorbimento inizia e la concentrazione di CO<sub>2</sub> in uscita crolla praticamente a zero, il che indica un'altissima efficienza di assorbimento. La concentrazione di CO<sub>2</sub> rimane

circa nulla per una decina di minuti, poi sale rapidamente fino al valore di ingresso (saturazione del sorbente).

#### Valutazioni energetiche

Una prima analisi energetica ha consentito di verificare i benefici conseguibili con l'impiego di sorbenti solidi in alternativa all'uso di ammine in soluzione (DEA al 30% in acqua). Si è considerata la sola fase di rigenerazione, in quanto è l'unica ad avere importanti riflessi sull'efficienza d'impianto. Nel caso del DEA in soluzione si è fatto riferimento a dati di letteratura per processi industriali ottimizzati.

Nel caso dei sorbenti solidi, la rigenerazione è risultata infatti possibile già a 75 °C contro i circa 120 °C del processo commerciale. Ciò è molto importante, in quanto:

1. riduce il salto di temperatura fra la fase di desorbimento e assorbimento e quindi il fabbisogno di calore;
2. consente di utilizzare come fonte di calore vapore a pressione molto più bas-

sa, quindi la produzione elettrica da parte della turbina è meno penalizzata.

La combinazione dei due effetti porta ad una riduzione del 40% degli oneri energetici nel caso del processo innovativo rispetto al processo commerciale in fase liquida.

#### Ulteriori sviluppi

In tempi più recenti è stata sperimentata da parte CESI RICERCA una diversa formulazione del sorbente, mediante deposizione della DEA su carboni attivi. I risultati ottenuti sono sintetizzati in *Figura 4*. Come si può osservare, a parte un diverso andamento della curva di concentrazione in uscita, la capacità netta di assorbimento è in questo caso sensibilmente più alta rispetto al caso con amberlite, il che comporta un più elevato beneficio energetico. Il calore richiesto per la rigenerazione è infatti ridotto del 43% rispetto al caso di DEA in soluzione, ma se si considera la più bassa temperatura la penalizzazione in termini di produzione elettrica si riduce di ben il 60% circa.

### Il sequestro geologico della CO<sub>2</sub>

Una volta separata dal combustibile gassoso oppure dagli effluenti di combustione, la CO<sub>2</sub> va avviata ad uno o più siti in cui possa essere confinata, in formazioni geologiche profonde, in tutta sicurezza per migliaia di anni.

Le alternative per il confinamento sono, attualmente, le seguenti:

- acquiferi salini profondi;
- giacimenti di olio e gas esauriti oppure ancora in attività in quest'ultimo caso, in abbinamento alle procedure di recupero assistito di olio o gas, ovvero EOR o EGR, Enhanced Oil (or Gas) Recovery;

- miniere esaurite di carbone, eventualmente in abbinamento alla procedure di recupero assistito di metano (ECBM Enhanced Coal Bed Methane). In tutti i casi il confinamento deve avvenire a profondità tipicamente maggiori di 800 metri, al fine di garantire condizioni supercritiche del fluido iniettato (T=38 °C e P=78 atm). Le condizioni supercritiche determinano infatti una densità della CO<sub>2</sub> nettamente superiore a quella del gas compresso e facilitano quindi lo stoccaggio di elevate quantità. Al fine di valutare le potenzialità di confinamento geologico della CO<sub>2</sub> nel sottosuolo italiano e di identificare le zone di maggiore interesse, CESI RICERCA<sup>2</sup> ha effettuato la raccolta e l'analisi dei dati relativi a tutti i pozzi perforati negli ultimi cinquanta anni, approfondendo l'esame degli oltre 1.200 aventi profondità superiore agli 800 metri.

Le caratteristiche principali analizzate hanno riguardato:

- l'integrità della roccia di copertura, *caprock*, con bassa permeabilità ed elevata potenza;
- la presenza di acquiferi salini profondi in rocce permeabili;
- le caratteristiche litologiche del serbatoio;
- la distanza dalle principali strutture sismogenetiche;
- la presenza di zone a naturale emissione di CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>;
- le condizioni normali del gradiente geotermico.

Utilizzando opportune parametrizzazioni numeriche delle caratteristiche del serbatoio e del "*caprock*", è stato definito un indice chiamato "Fattore di Bontà pozzo", che raggruppa e classifica i pozzi secondo 5 classi di impermeabilità della copertura (in ordine crescente di bontà, da 1 a 5).

<sup>2</sup> In collaborazione con INGV, Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia, e OGS, Istituto di Oceanografia e Geofisica Sperimentale.

Le caratteristiche dei pozzi e dei relativi serbatoi sono state inserite in un "geo-database" appositamente realizzato, insieme alle altre informazioni utili alla caratterizzazione completa del processo di confinamento geologico, fra cui i limiti amministrativi, la presenza di perforazioni e pozzi, le sorgenti industriali di emissione della CO<sub>2</sub>, le carte geologiche e sezioni geologiche/stratigrafiche, le aree protette, i giacimenti di idrocarburi, informazioni sulla sismica. Per valutare le capacità di confinamento è essenziale avere chiari requisiti, quali: porosità e permeabilità, profondità e caratteristiche del *caprock*. Nei giacimenti di idrocarburi l'efficacia del *caprock*, nella sua funzione sigillante, è dimostrata dall'esistenza stessa del giacimento e dalla permanenza in profondità degli idrocarburi per periodi di tempo geologici e quindi lunghissimi. Questa proprietà sigillante non è, invece, stata ancora dimostrata per gli acquiferi salini in cui si inietta la CO<sub>2</sub> se non per periodi temporali molto limitati e nell'ordine della decina di anni. La risposta a questi dubbi può venire solo da un'intensa fase di sperimentazione e studi sui *natural analogues*, che sono aree in cui la CO<sub>2</sub> è naturalmente presente in particolari situazioni geologiche.

Per valutare il potenziale globale di stoccaggio della CO<sub>2</sub> sul territorio italiano, in mancanza di informazioni di dettaglio sui potenziali serbatoi, è stato scelto un approccio basato su dati tipici di acquiferi desunti da attività sperimentali.

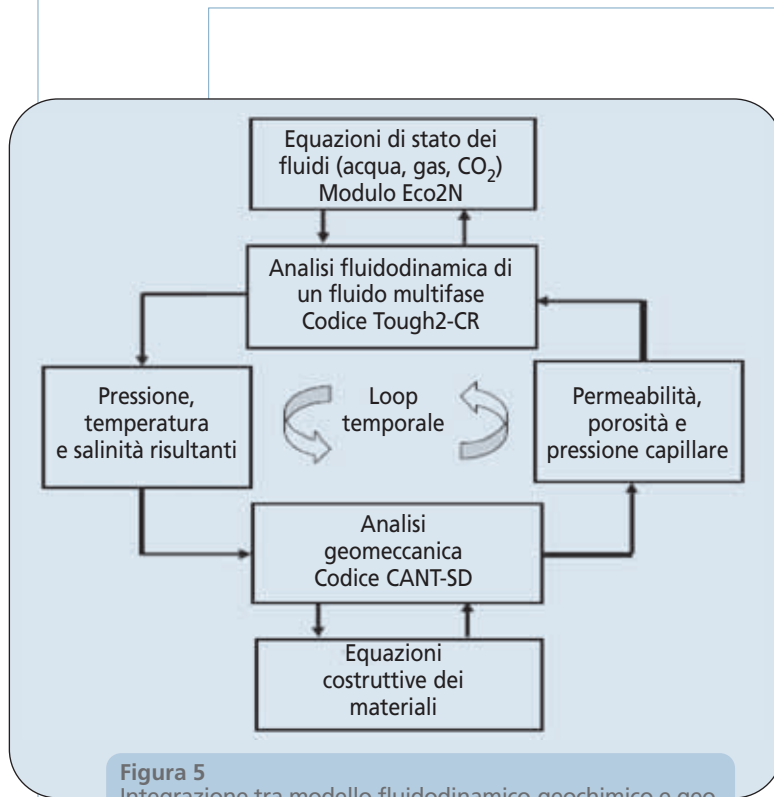
Dall'analisi di questi dati sperimentali è stato possibile calcolare dei valori di riferimento unitari riferiti ad un km quadrato per un ipotetico acquifero spesso 100 metri. I risultati hanno evidenziato che con porosità nell'ordine del 20-25% il confinamento medio è di 5 Mt/km<sup>2</sup> di CO<sub>2</sub> e scende a 2,5 Mt/km<sup>2</sup> di CO<sub>2</sub> per porosità nell'ordine del 10-15%.

Una stima eseguita sui principali bacini sedimentari italiani per la ricerca degli idrocarburi è stata fatta considerando come utile solo il 10% della superficie dei bacini di Alto Adriatico e Pianura Padana, Pescara, Adriatico meridionale, Off-shore Calabro e area di Gela. L'Appennino Meridionale e la Catena Siciliana non sono stati considerati, in quanto aree con significativo rischio sismico. La superficie complessiva dell'ipotetico acquifero con spessore di 100 metri sarebbe nell'ordine dei 9000 km<sup>2</sup>, ciò che, considerando una porosità del 10%, fornisce una stima di capacità globale superiore alle 20 Gtonn di CO<sub>2</sub>. Tale valore, per quanto preliminare ed approssimato per difetto, mostra che esiste la possibilità di confinare la CO<sub>2</sub> prodotta dall'intero parco termoelettrico italiano per oltre 100 anni.

### Modellistica geochimica e geomeccanica per il sequestro geologico della CO<sub>2</sub>

CESI RICERCA sta sviluppando un sistema integrato per lo studio della possibilità di confinare CO<sub>2</sub> in acquiferi salini profondi, che prevede, a valle delle indagini descritte poc'anzi, la costruzione di modelli tridimensionali dei serbatoi nelle zone prescelte e lo studio, tramite modelli di simulazione, del comportamento a lungo termine del fluido iniettato e dell'integrità del serbatoio. A tale scopo è stato realizzato un sistema modellistico di simulazione, in grado di considerare la specificità comportamentale della CO<sub>2</sub> per una corretta valutazione della sua dislocazione e della sua immobilizzazione, includendo:

- gli aspetti fluidodinamici (pressione, temperatura, diffusione e galleggiamento ecc.);
- gli aspetti geochimici (interazione con le rocce, precipitazione e dissoluzione



**Figura 5**  
Integrazione tra modello fluidodinamico-geochimico e geomeccanico-strutturale  
Fonte: CESI RICERCA

della calcite ecc.);

- gli aspetti fisici (precipitazione salina, pH, solubilità delle diverse fasi ecc.);
- gli aspetti geomeccanici (fratturazione, porosità, integrità del caprock).

Di tale sistema risultano già operativi il modello fluidodinamico e quello geochimico, entrambi basati sul codice sorgente ToughReact della Nea Data Bank. Il codice ToughReact consente la modellazione ed il trasporto di fluidi non isotermi, con reattivi a più componenti sia in fase liquida che in fase gassosa. Inoltre è dotato di un'ampia gamma di processi chimici, fisici e termici sub-superficiali al variare delle condizioni di pressione, temperatura, saturazione dell'acqua e forza di scambio ionico, e può essere applicato a mezzi porosi e fratturati a più dimensioni.

La necessità di conoscere l'andamento delle pressioni determinato in una struttura geologica dall'iniezione di CO<sub>2</sub>, per

poter successivamente valutare con un modello geomeccanico gli sforzi sulle strutture e la possibilità di fratturazioni, ha portato alla definizione di uno specifico modello semplificato, finalizzato a mettere a punto una procedura di accoppiamento tra la simulazione fluidodinamica e quella geomeccanica (Figura 5), per la quale è previsto l'utilizzo del codice CANT-SD già ampiamente utilizzato dal nostro gruppo di ricerca e specifico per problematiche meccaniche e strutturali. Il modello geomeccanico-strutturale è attualmente in corso di sviluppo.

### Fattibilità tecnico-economica di un impianto a carbone con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>

#### Obiettivi e configurazione adottata

Obiettivo di questa attività è verificare la praticabilità tecnica ed economica di un impianto di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>, alimentato a carbone, basato su processi commercialmente maturi e disponibili. Lo scopo non è quindi definire una configurazione ottimizzata, ma comprendere se esista la possibilità di realizzare in tempi medio-brevi un impianto dimostrativo, ed eventualmente quali strumenti ed entità di sussidio pubblico si rendano necessari.

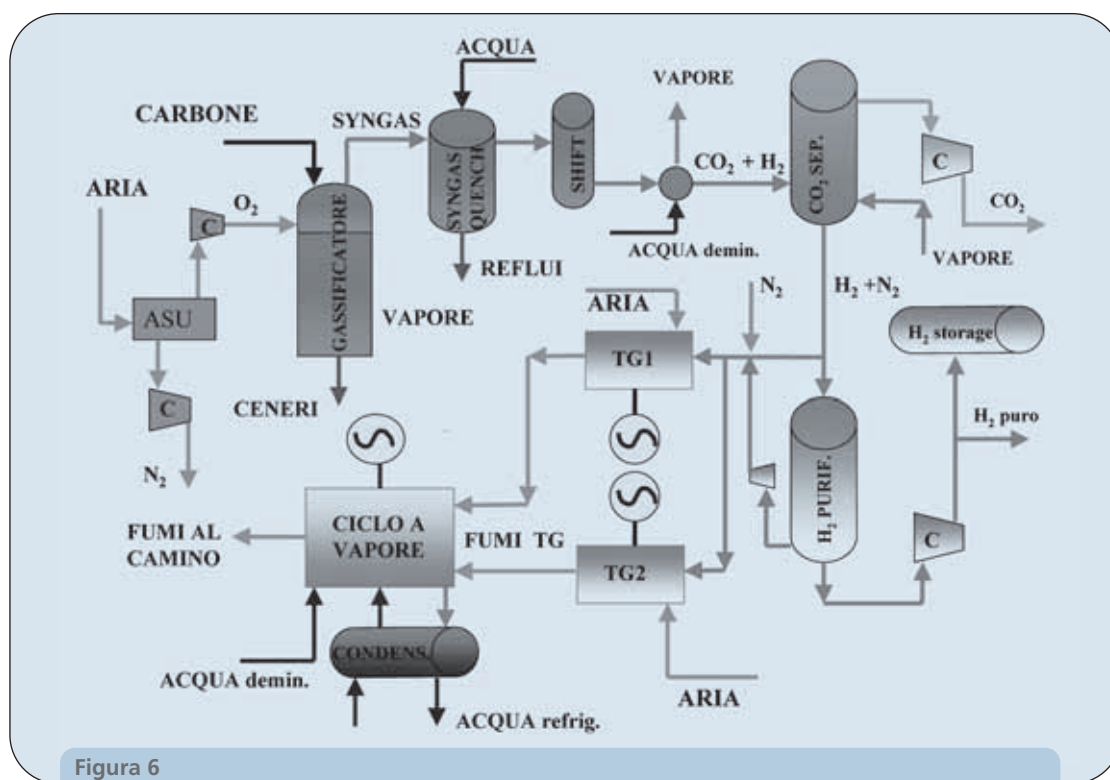
La potenza nominale di circa 70 MWe è stata scelta nell'intento di proporre un impianto di scala limitata ma già industrialmente rappresentativo, atto a limitare al minimo l'entità di sostegno finanziario presumibilmente necessario e a poter essere autorizzato e costruito in tempi relativamente brevi. Si è ritenuto che tali considerazioni fossero prevalenti rispetto agli svantaggi di una taglia modesta (maggior costo specifico di investimento e minore efficienza). La localizzazione ipotizzata è nel sud della Sardegna, per trarre vantaggio dalla vi-

cinanza delle miniere di carbone del Sulcis, sia come fonte di energia primaria che come possibile sito di stoccaggio della CO<sub>2</sub>.

L'impianto è concepito secondo la configurazione IGCC con cattura pre-combustione, soluzione che dagli studi effettuati in passato da CESI RICERCA appare in prospettiva la più efficace sia in termini di resa energetica che di flessibilità operativa (possibilità di produzione congiunta, in proporzioni variabili, di elettricità e idrogeno). Una rappresentazione schematica della configurazione adottata è presentata in *Figura 6*. La specifica configurazione impiantistica è stata scelta con l'intento di assicurare una riposta flessibile agli andamenti di prezzo dell'energia elettrica su base giornaliera e settimanale, salvaguardando nel contempo la stabilità operativa del sistema di gassificazione, che per sua

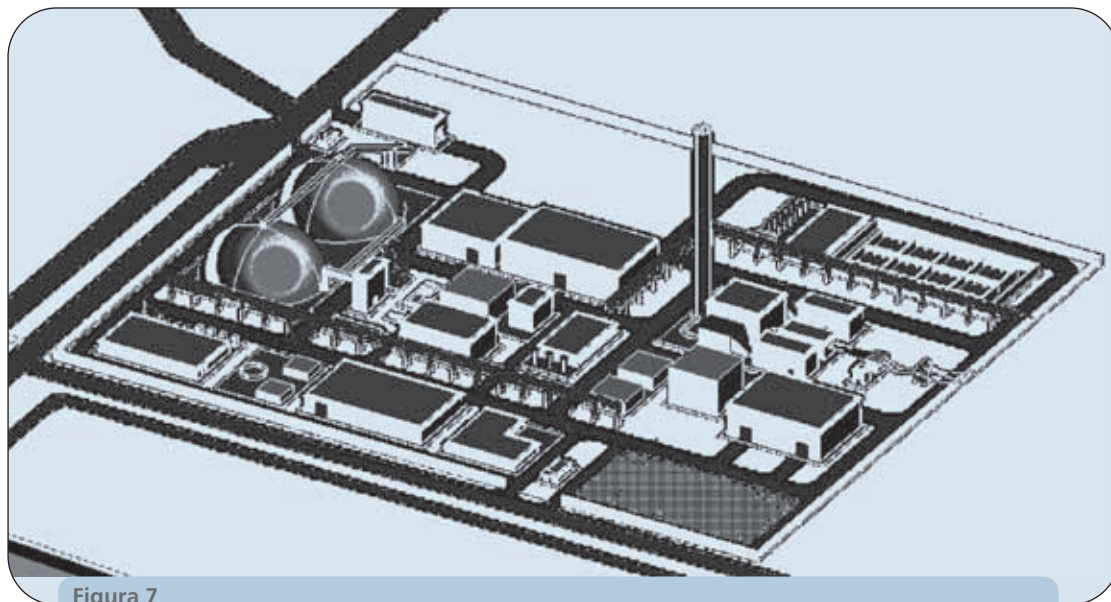
natura non è adatto a frequenti avviamenti o forti variazioni di carico. La conciliazione di tali opposte esigenze è resa possibile proprio dalla natura "co-produttiva" dell'impianto, che consente di massimizzare la produzione elettrica nelle ore di massima domanda e di ridurla fortemente quando opportuno, convertendo il gas di sintesi prodotto in idrogeno agevolmente accumulabile.

Per quanto concerne il sequestro geologico della CO<sub>2</sub>, si è ipotizzato di riutilizzare il bacino carbonifero del Sulcis, nelle sue parti più profonde e non economicamente sfruttabili. La CO<sub>2</sub> catturata, deumidificata e compressa a circa 10 MPa viene immessa in una tubazione che la trasporta al punto di iniezione, con un percorso stimato in circa 40 km. Uno studio preliminare di sistemazione impiantistica ha anche consentito di valutare gli ingombri dell'impianto, iden-



**Figura 6**  
Schema della configurazione dell'impianto dimostrativo a zero emissioni  
Fonte: CESI RICERCA





**Figura 7**  
Sistemazione impiantistica dell'impianto dimostrativo a emissioni zero  
Fonte: CESI RICERCA

tificando la necessità di un'area di circa 8 ettari. La *Figura 7* mostra il *layout* preliminare.

#### *Modalità operative e prestazioni*

Nel modo operativo "tutto elettrico" il syngas (a valle della cattura della CO<sub>2</sub>, e quindi costituito da idrogeno quasi puro) è totalmente inviato ad alimentare il ciclo combinato, mentre nel modo "co-produzione" solo una parte del syngas è inviata alla "power island", il resto è trasferito al sistema di purificazione (PSA) e da questo allo stoccaggio a 20 MPa e/o ad una pipeline per il trasporto ai luoghi di utilizzo<sup>3</sup>.

L'approccio adottato per l'esercizio flessibile è quello di mantenere il sistema di gassificazione, ogni volta che esso è disponibile, al 100% della sua capacità produttiva, e di variare la produzione elettrica operando sulla ripartizione del syngas fra ciclo combinato e sistema

PSA. Vi sono in sostanza due condizioni, una (indicata con 100%-100%) con due turbogas in servizio al massimo carico (produzione elettrica massima, produzione di idrogeno nulla) e l'altra (0-50%) che all'estremo opposto prevede un turbogas fermo, l'altro al 50% (minimo tecnico come produzione elettrica, massima produzione di idrogeno). La scelta fra le due configurazioni viene effettuata in base al prezzo di mercato dell'energia elettrica: la condizione 100%-100% risulta conveniente per prezzi dell'elettricità superiori a 50 euro/MWh circa.

La *Tabella 3* riassume i principali risultati delle simulazioni. L'efficienza elettrica netta, nel caso della massima produzione elettrica, è di poco superiore al 30%, come conseguenza delle penalità energetiche associate alla cattura della CO<sub>2</sub> e della taglia dell'impianto, volutamente modesta come già spiegato.

<sup>3</sup> Nell'ipotesi cautelativa in cui non fosse possibile prevedere una collocazione dell'idrogeno sul mercato esterno, è stata valutata anche una configurazione impiantistica alternativa che consente lo stoccaggio temporaneo dell'idrogeno sull'impianto e il suo successivo riutilizzo nel ciclo combinato, nelle ore di domanda elettrica elevata.



### Valutazioni economiche

L'analisi economica ha riguardato la valutazione del costo di investimento, inclusi l'acquisto del terreno e una stima dei costi relativi a trasporto e sequestro geologico della CO<sub>2</sub>, la valutazione dei costi di esercizio e manutenzione, dei ri-

cavi derivanti dalla vendita di energia elettrica, idrogeno e dei crediti di emissione<sup>4</sup> e infine l'analisi dei flussi di cassa nel corso della vita dell'impianto. La valutazione dell'investimento è stata svolta in accordo con la metodologia DOE [9].

**Tabella 3 - Risultati della simulazione delle prestazioni dell'impianto dimostrativo ad emissione zero**

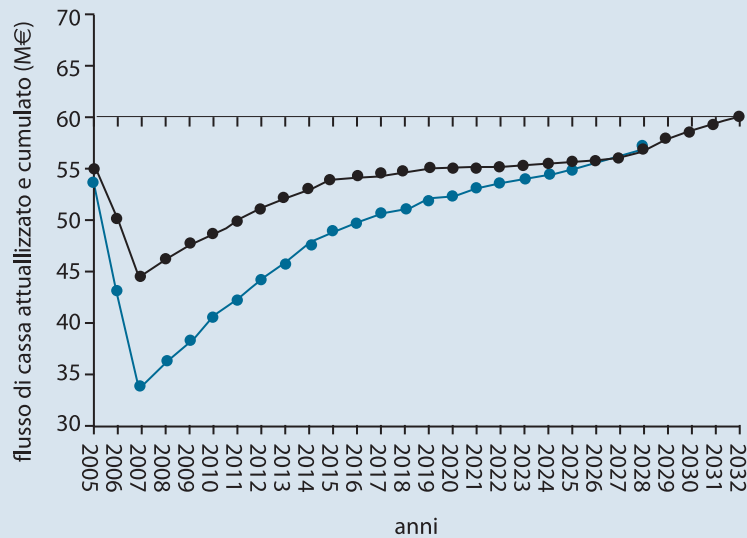
Assetti	100%-100%	0%-50%	unità di misura
Portata carbone al gassificatore	10,7	9,59	kg/s
Portata aria all'ASU	38,6	35,4	kg/s
Portata syngas prodotto	22,7	20,4	kg/s
Portata syngas al TG1	2,03	2,73	kg/s
Portata aria al TG1	84,8	68,2	kg/s
Portata <i>off-gas</i> dal PSA al TG1	0	1,36	kg/s
Portata idrogeno al TG1	0	0	kg/s
Carico TG1	100	50	%
Potenza elettrica lorda TG1	29,734	16,375	MW
Temperatura scarico TG2	502	498	°C
Portata syngas al TG2	2,03	0	kg/s
Portata aria al TG2	84,8	0	kg/s
Portata <i>off-gas</i> dal PSA al TG2	0	1,36	kg/s
Portata idrogeno al TG2	0	0	kg/s
Carico TG2	100	0	%
Temperatura scarico TG2	29,734	15	°C
Potenza elettrica lorda TG2	502	0	MW
Potenza elettrica lorda TV	39,889	23,707	MW
Potenza elettrica lorda totale	99,357	40,082	MW
Consumi ausiliari	27,026	26,777	MW
Potenza compressore H <sub>2</sub>	0	2,636	MW
Potenza compressore CO <sub>2</sub>	4,917	4,110	MW
<b>Potenza elettrica netta uscente dalla Centrale</b>	<b>72,464</b>	<b>13,305</b>	<b>MW</b>
Potenza termica entrate carbone	236,893	213,204	MWth
<b>Rendimento elettrico netto Centrale</b>	<b>30,59</b>	<b>6,24</b>	<b>%</b>
Portata H <sub>2</sub> prodotto	0	0,66	kg/s
Potenza termica H <sub>2</sub> co-prodotto <sup>(1),(2)</sup>	0	77,37	MWth
Potenza totale uscente dall'impianto <sup>(2)</sup>	72,464	90,674	MW
<b>Rendimento energetico totale della Centrale<sup>(2)</sup></b>	<b>30,59</b>	<b>42,53</b>	<b>%</b>
Portata CO <sub>2</sub> catturata	17,88	16,09	kg/s

<sup>(1)</sup> potenza elettrica + potenza H<sub>2</sub> co-prodotto

<sup>(2)</sup> (potenza elettrica + potenza H<sub>2</sub> co-prodotto) / potenza termica entrante nella Centrale

Fonte: CESI RICERCA

<sup>4</sup> Si è assunto come certo l'orientamento già espresso a livello di istituzioni europee, cioè che le operazioni di sequestro geologico della CO<sub>2</sub> equivalgano, nel sistema europeo ETS, a emissioni evitate.



**Figura 8. Confronto tra varie forme di finanziamento. Configurazione coproduttiva in presenza di mercato dell'H<sub>2</sub>**

Flusso di cassa attualizzato e cumulato dell'investimento per la Centrale, operante nella modalità di esercizio in assenza di mercato per l'idrogeno; in nero: contributo a fondo perduto del 40% sul capitale richiesto per l'investimento, in blu: crediti di emissione per la CO<sub>2</sub> evitata incentivati a 68 €/t (valore ordinario di 26 €/t più incentivo di 42 €/t)

Fonte: CESI RICERCA

Il costo di investimento è stato stimato in circa 240 M€. L'investimento specifico è elevato se paragonato ad impianti IGCC+CCS di grande taglia (ca. 2.000 €/kW) ed è di circa 3.500 €/kW. La piccola taglia dell'impianto comporta pertanto un incremento nel costo specifico di investimento che si ripercuote sul costo di produzione dell'energia (COE), che è pari a 8,5 c€/kWh da paragonare con i valori di 6,5-7,1 c€/kWh degli impianti IGCC con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> di grande taglia.

L'analisi del ritorno dell'investimento ha mostrato che è necessario disporre di un supporto pubblico di finanziamento. Sono quindi state analizzate due forme di finanziamento: la prima corrisponde ad un'incentivazione dei crediti di emissione della Centrale, mentre il secondo consiste in un contributo a fondo perduto in conto capitale.

Nella *Figura 8* sono mostrati i flussi di cassa cumulati e attualizzati per la mo-

dalità di esercizio in presenza di mercato per l'idrogeno, ipotizzando le due forme di incentivazione suddette. L'analisi dell'investimento mostra che per portare a zero il Valore Attuale Netto dell'investimento a fine vita dell'impianto, cioè per avere un tempo di ritorno pari a 25 anni, è necessario che i crediti di emissione per la CO<sub>2</sub> evitata siano incentivati a 68 €/t (valore ordinario stimato in 26 €/t più incentivo di 42 €/t) o alternativamente bisogna disporre di un contributo del 40% a fondo perduto sul capitale richiesto per l'investimento.

## Conclusioni

Nell'ambito delle attività svolte da CESI RICERCA nel contesto della Ricerca per il Sistema Elettrico, un notevole impegno è dedicato al tema della cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> in impianti di generazione. Tali attività toccano diversi aspetti, dalle configurazioni impiantisti-

che alle tecnologie innovative di cattura, alla valutazione delle potenzialità di sequestro geologico nel territorio italiano, agli studi finalizzati alla sicurezza del sequestro e in definitiva alla sua accettabilità ambientale e sociale. Si tratta di una tematica con notevoli prospettive applicative per i prossimi decenni, cruciale al fine di conciliare il soddisfacimento della crescente domanda elettrica e le fondate preoccupazioni sui mutamenti climatici.

È auspicabile l'avvio di uno o più progetti dimostrativi italiani di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>, con il più ampio coinvolgimento di tutti i soggetti (Istituzioni, Imprese, Centri di Ricerca e Università) da tempo impegnati in questo ambito. Tale progetto, oltre a valorizzare le capacità industriali e le competenze tecnicistiche del nostro Paese, rappresenterebbe un passo essenziale per il futuro utilizzo delle fonti fossili secondo criteri corretti dal punto di vista ambientale.

CESI RICERCA è una Società a maggioranza pubblica: ENEA detiene il 51% del capitale sociale e CESI "Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano Giacinto Motta" SpA ne detiene il 49%. I dipendenti sono circa 370, di cui oltre la metà laureati.

CESI RICERCA sviluppa attività di ricerca nel settore elettro-energetico ed ambientale, con particolare riferimento ai progetti strategici nazionali, di interesse pubblico generale, finanziati con il Fondo per la Ricerca di Sistema.

Le attività dell'azienda riguardano:

- condizioni tecniche, economiche, organizzative ed istituzionali per lo sviluppo sostenibile del sistema elettrico italiano e delle infrastrutture collegate;
- impiego efficiente e sicuro delle fonti primarie di energia e del vettore idrogeno;
- produzione, trasporto, distribuzione ed utilizzo efficiente dell'energia negli usi finali.

## Bibliografia

[1] IPCC (2007) – Climate change 2007: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers.

[2] A. Pfluger (2007) – Keynote Session on Coal Policies and Energy Security – 3<sup>rd</sup> International Conference on Clean Coal Technologies for Our Future – Cagliari, 15-17 Maggio 2007.

[3] The European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP) (2006) – Strategic Research Agenda.

[4] P.J. Birbara et al. (1999) Regenerable solid amine sorbent, U.S. Patent 5,876,488.

[5] F.Moia, E.Rondena, G.Locatelli, F.Quattrocchi, M.Buttinelli, B.Cantucci, M. Procesi. (2007) A pre-

liminary study of the CO<sub>2</sub> storage potential of Italian geological reservoirs based on the interpretation of deep well data, Third International Conference on Clean Coal Technologies for our Future, Cagliari, 15-17 May 2007.

[6] F.Moia, F.Quattrocchi, M.Buttinelli, B.Cantucci, M. Procesi (2007) CESI RICERCA – INGV CO<sub>2</sub> storage sites catalog & feasibility studies in Italy, 30<sup>th</sup> Course of the International School of Geophysics, "Ettore Majorana" Foundation and Centre for Scientific Culture, Erice, 1- 7 novembre 2007

[7] Audigane P., I. Gaus, K. Pruess, T. Xu. (2006) Long term 2D vertical modelling study of CO<sub>2</sub> storage at Sleipner (North Sea) using TOUGHREACT.

[8] DOE (1999) Market-Based Advanced Coal Power Systems, DOE Report, Cap. 9.

## Energia rinnovabile, finanza e sostenibilità. Quadro globale ed evoluzione recente

Paolo Paesani

Università di Tor Vergata

*Motivazioni di carattere ambientale, pressione dell'opinione pubblica, ma soprattutto la convinzione che le tecnologie verdi saranno fonte di grandi profitti, favoriscono i crescenti investimenti della finanza privata nel settore delle fonti energetiche rinnovabili*

Alla vigilia del Forum di Davos del 2008, dieci colossi del capitalismo americano si sono alleati con le più note associazioni ambientaliste per dare vita alla US Climate Action Partnership, una nuova lobby che preme perché Washington aderisca al Trattato di Kyoto e imponga drastici obiettivi di riduzione delle emissioni carboniche. Un sondaggio compiuto alla vigilia di Davos fra i top manager

delle maggiori imprese europee (Ups Europe Business Monitor) rivelava che per il 45% degli amministratori delegati l'ambiente è diventato la preoccupazione numero uno, ha il sopravvento sulla crescita economica. Il 60% di loro ritiene che l'Europa dovrebbe affidare il proprio futuro energetico a fonti rinnovabili come il sole, il vento, l'idrogeno. Come nota Federico Rampini in un recente articolo comparso sul quotidiano *La Repubblica*<sup>1</sup> "La conversione verde dell'establishment capitalistico globale ha molte cause, dalla pressione delle opinioni pubbliche, dei consumatori e dei movimenti ambientalisti, alla mole schiacciante di studi scientifici sui costi futuri del surriscaldamento climatico. Ma la molla finale che ha accelerato il cambiamento è il profitto. Si è imposta ormai la convinzione che le tecnologie verdi saranno fonte di grandi opportunità e profitti. Il valore di Borsa della Toyota è cresciuto del 47%. Non solo grazie alla tecnologica ibrida, ma a una gamma complessiva dai consumi più bassi delle concorrenti, la Toyota quest'anno farà lo storico sorpasso sulla General Motors diventando la più

### Renewable Energy Sources, Finance and Sustainability Outlook and Latest Evolution

*Environment-related reasons, pressure by public opinion, and above all the strong belief that green technologies will be highly profitable pave the way to higher investments of private finance on renewable energy sources*

<sup>1</sup><http://www.repubblica.it/2007/01/sezioni/ambiente/ecocapitalisti/ecocapitalisti/ecocapitalisti.html>

grossa casa automobilistica mondiale. Dietro la Toyota si allunga la lista delle multinazionali che fanno dell'ambiente una priorità strategica. Nokia, Ericsson, Motorola, Dell, sono all'avanguardia nel ritirare gratuitamente dai consumatori computer, telefonini e altri prodotti elettronici usati per riciclarli minimizzando le scorie tossiche nell'ambiente. La Philips e la Matsushita puntano su nuove lampadine e apparecchi elettrici che abbattano i consumi. La Shell investe nelle energie eolica e solare. Il più grande gruppo mondiale della distribuzione, la catena di ipermercati americani Wal-Mart – forse per riparare un'immagine macchiata dalle sue battaglie contro i sindacati – privilegia sistematicamente la vendita di prodotti non inquinanti e riciclabili. Un altro gruppo della grande distribuzione, Marks&Spencer, fa marcia indietro rispetto al dogma della delocalizzazione: anziché comprare tutto *made in China* cerca di approvvigionarsi da produttori vicini ai suoi punti di vendita, per minimizzare l'inquinamento creato dal trasporto delle merci. La multinazionale anglo-olandese Unilever investe nel Terzo mondo per diffondere l'agricoltura biologica e le coltivazioni che riducono i danni alla biosfera”.

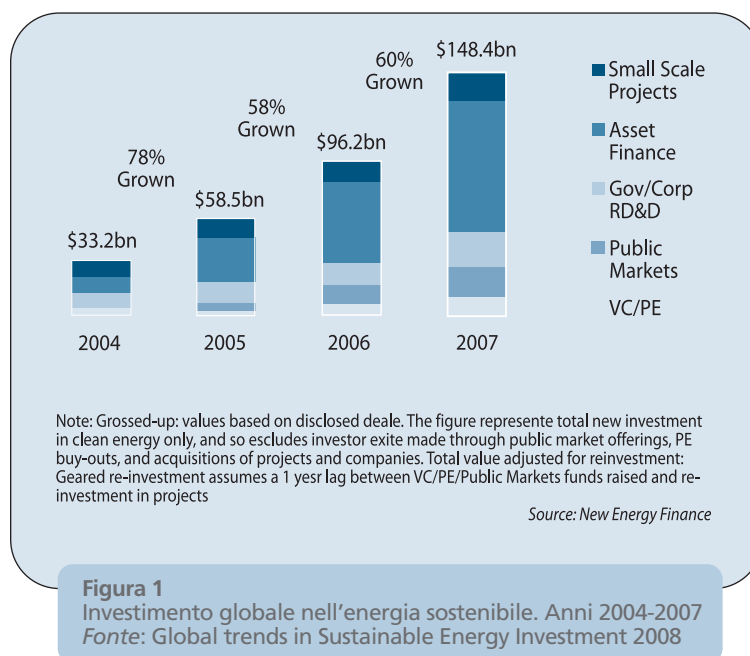
### Il finanziamento dell'energia sostenibile a livello globale: i dati essenziali

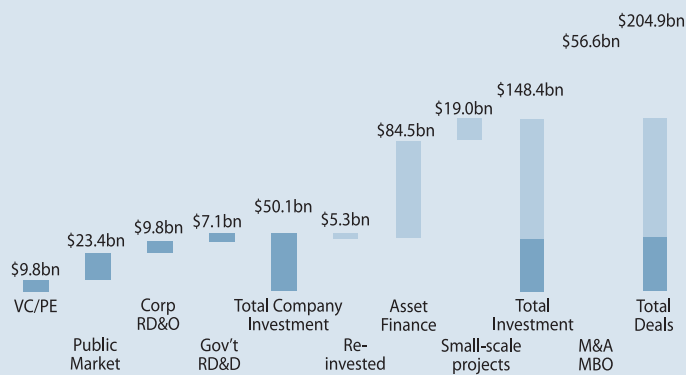
Nel 2007 i nuovi investimenti in energia sostenibile (energia rinnovabile ed efficienza energetica) hanno raggiunto la cifra record di \$148.4 miliardi, con un incremento del 60% rispetto al 2006. La raccolta di mezzi per finanziare la costruzione di impianti di produzione per l'energia sostenibile e i biocarburanti (*asset finance*) ha assorbito il 57% degli investimenti complessivi. La quota raccolta sui mercati organizzati (*public markets*) è

più che raddoppiata rispetto all'anno precedente, raggiungendo il \$23,4 miliardi. *Venture capital/private equity*, copertura pubblica e corporate delle spese per ricerca e sviluppo e finanziamento dei progetti su piccola scala assorbono il resto delle risorse (Figura 1).

Sommando al valore degli investimenti globali i \$56,6 miliardi spesi in operazioni di fusione ed acquisizione (M&A/MBO), si raggiunge una cifra leggermente superiore a \$200 miliardi come valore complessivo delle transazioni finanziarie dichiarate al mercato (Figura 2). Nell'ambito delle operazioni M&A/MBO che interessano il settore dell'energia eolica, il consolidamento riguarda sia i produttori di componenti, spinti a unire le forze per fronteggiare difficoltà crescenti nell'approvvigionamento causate dalla forte crescita del settore stesso, sia il comparto dei biocarburanti, in reazione alle recenti turbolenze che hanno investito il mercato internazionale delle *commodities*.

L'investimento in *venture capital* a sostegno dei progetti in fase iniziale, è aumentato del 112% rispetto all'anno precedente





Note: Grossed-up values based on disclosed deals. Adjusted for reinvestment. Geared re-investment assumes a 1 year lag between VC/PE/Public Markets funds raised and re-investment in projects. Figure marked\* are based on industry estimates from various sources

Source: New Energy Finance

### Figura 2

Flussi finanziari globali nel settore dell'energia sostenibile.

Anno 2007

Fonte: Global trends in Sustainable Energy Investment 2008

te, raggiungendo i \$2 miliardi. La quota relativa al *private equity*, invece, si è ridotta rispetto ai livelli elevati registrati all'inizio del 2007, soprattutto per la contrazione dei finanziamenti indirizzati allo sviluppo dell'industria dei biocarburanti, indotta dal recente forte aumento nel prezzo delle materie prime e in quello dell'etanolo. Al di là delle tendenze di breve periodo è importante sottolineare la rilevanza "essenziale" di *Venture capital* e *private equity* nel finanziamento dell'energia sostenibile.

L'elevato potenziale innovativo dell'investimento in energia sostenibile, in termini di progresso tecnico e mutamento nei comportamenti abituali di famiglie ed imprese, si riflette spesso in un profilo rendimento/rischio particolarmente accentuato che le società di *venture capital* e *private equity*, attraverso la prossimità dei finanziatori all'impresa, il vaglio attento del potenziale di sviluppo dei vari progetti e la rivalutazione continua del mix ottimale tra specializzazione settoriale e diversificazione dei progetti, sono in grado

di gestire meglio degli operatori finanziari tradizionali. Da qui l'interesse di ENEA verso questa forma di finanziamento, interesse che si è tradotto nella recente stesura di un rapporto sull'argomento<sup>2</sup>.

Complessivamente, la quota principale dei fondi raccolti attraverso il veicolo del *venture capital/private equity* è affluito al comparto dell'energia solare (\$3,7 miliardi). L'investimento nel settore dei biocarburanti, attestatosi sui \$2,1 miliardi, si è concentrato in paesi come il Brasile, l'India e la Cina. Dal punto di vista geografico (Figura 3), gli Stati Uniti dominano il finanziamento della sostenibilità energetica attraverso *venture capital/private equity*.

L'investimento in ricerca e sviluppo ha raggiunto, nel 2007, la cifra \$16,9 miliardi, \$9,8 dei quali di provenienza corporate a fronte dei \$7,1 tratti da fondi pubblici. L'attività corporate si è concentrata in Europa e nel Medio Oriente, seguiti da nazioni americane e asiatiche (Figura 3). Il finanziamento pubblico prevale in Asia, soprattutto in Giappone, India e Cina. Negli Stati Uniti e nel regno Unito si concentrano i principali centri di sviluppo di progetti sull'energia pulita (*clean energy incubators*), sovente sostenuti dal finanziamento pubblico. I comparti dominanti in termini di incubazione di nuovi progetti sono quello dell'energia solare (soprattutto solare termico) e quello dell'efficienza energetica. Escludendo alcune operazioni macroscopiche, come la quotazione avvenuta nel dicembre 2007 di Iberenova, compagnia per lo sviluppo dell'energia eolica, parte del gigante spagnolo dell'energia Iberdrola (\$7,2 miliardi), il maggior dinamismo nella raccolta di fondi sui mercati finanziari organizzati (*public markets*) si è registrato in alcuni paesi emergenti a cominciare dalla Cina. Il mercato statunitense e quello europeo sembrano invece entrati in una fase di stasi.

<sup>2</sup> ENEA [http://www.enea.it/produzione\\_scientifica/pdf\\_dossier/D15\\_FinanzaVentureCapital.pdf](http://www.enea.it/produzione_scientifica/pdf_dossier/D15_FinanzaVentureCapital.pdf)



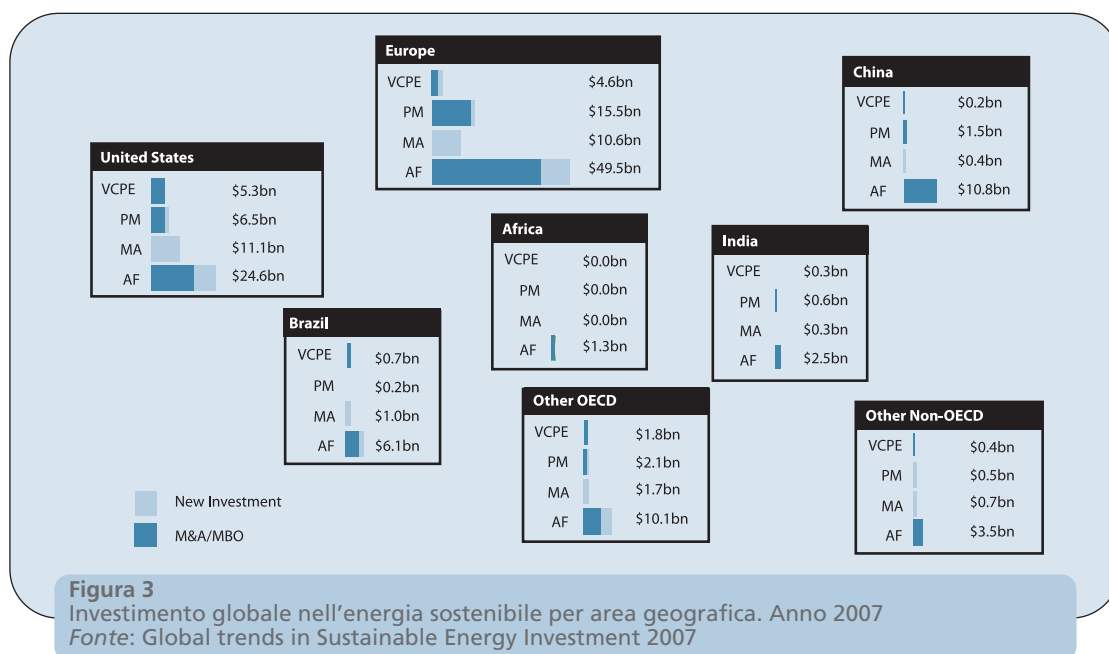
Alla fine di dicembre 2007 le risorse direttamente gestite da fondi d'investimento specializzati nel settore dell'energia pulita (*core clean energy funds*) raggiungevano i \$30 miliardi, in aggiunta ai \$26,4 miliardi gestiti dai fondi ambientale e ai \$10,9 miliardi gestiti da fondi che investono esclusivamente in progetti di produzione di energia rinnovabile. Una presenza crescente di fondi specializzati che nel tempo acquisiranno esperienza e capacità di valutare i progetti migliori è importante per garantire una crescita costante ed armonica dell'intero comparto dell'energia sostenibile.

I progetti registrati nell'ambito delle attività previste dal Protocollo di Kyoto tendono a concentrarsi nei paesi di nuova industrializzazione a partire dall'India (32% dei progetti registrati), seguita dalla Cina (19%) e dal Brasile (13%). In termini di crediti di emissione la Cina domina la scena con il 53% del totale, seguita dall'India con il 15%, riflesso della maggior dimensione dei progetti registrati in Cina. L'energia rinnovabile riguarda circa il 55% dei progetti d'investimento in termini nu-

merici, ma solamente il 29% in termini di acquisizione di crediti di emissione.

Complessivamente l'attività d'investimento nel settore delle energie rinnovabili e dell'efficienza energetica si sta gradualmente spostando dai paesi sviluppati, dove ancora molto resta da fare, verso i paesi in via di sviluppo, dove innovare è più facile in presenza di una struttura produttiva e di abitudini di consumo sostanzialmente arretrate rispetto ai livelli occidentali.

La quota d'investimento relativa a questi paesi è passata dal 13% (\$1,8 miliardi) nel 2004 al 23% (\$26 miliardi) nel 2007, con un'espansione del mercato nell'ordine di un fattore 14. Cina, India e Brasile dominano tale andamento (82% nel 2007). In Cina prevale lo sviluppo dell'energia eolica, mentre in Brasile l'attività d'investimento continua ad essere dominata dall'esigenza di sviluppare il comparto del bioetanolo. L'Africa resta ancora molto indietro rispetto alle altre regioni del mondo nello sviluppo dell'energia sostenibile, sebbene comincino ad osservarsi sviluppi interessanti nel



comparto del solare su larga scala in Nord Africa e dell'eolico in Sud Africa. L'investimento in tecnologie per l'efficienza energetica ha raggiunto nel 2007 la cifra record di \$1,8 miliardi, con un incremento del 78% rispetto al 2006. L'efficienza energetica ha riguardato il 18% del totale dei nuovi fondi affluiti al settore dell'energia sostenibile attraverso il veicolo del VC/PE, seconda solamente al solare. Sul versante tecnologico, gli investimenti finanziari in energie rinnovabili ed efficienza energetica a livello globale si concentrano sul comparto eolico (il 43% del totale, concentrato nell'installazione di nuova capacità produttiva e superiore all'investimento in energia nucleare e idroelettrica), seguito dal solare (24% con un tasso medio annuo di crescita di oltre il 200% a partire dal 2004), dai biocarburanti (17%, voce attualmente in contrazione) (Figura 4).

### Alcune considerazioni conclusive

Jeremy Rifkin, uno fra i primi sostenitori dell'idea che alla diffusione delle energie rinnovabili sia associata la possibilità di una nuova rivoluzione industriale<sup>3</sup>, ha sostenuto che *"Se ci si avviasse con convinzione allo sfruttamento delle energie rinnovabili, miliardi di euro di capitali pubblici e privati sarebbero utilizzati nella ricerca e nello sviluppo e penetrazione del mercato, mentre le imprese e le abitazioni mirerebbero a ridurre la loro*

*impronta carbonica, diventando indipendenti e sempre più efficienti dal punto di vista energetico"*.<sup>4</sup>

Il mondo dell'industria sposa a pieno tale posizione. Per Eni, ad esempio, *"Le fonti rinnovabili potranno costituire in maniera crescente nel futuro una risorsa irrinunciabile, sia in relazione al progressivo declino delle fonti fossili, sia per evidenti benefici ambientali derivanti dal loro uso."*<sup>5</sup> Secondo Sorgenia, primo operatore privato del mercato energetico italiano: *"Bisogna rendersi conto che è in atto una rivoluzione [...] Sia il mondo della ricerca che quello dell'industria sono partiti, il problema è in cima all'agenda di tutti quanti e questa macchina che si è messa in viaggio merita di essere seguita con ottimismo. Nel 2007 in California gli investimenti dei fondi di venture capital in green technologies hanno superato quelli destinati allo sviluppo di nuovi software"*.<sup>6</sup>

Nello stesso spirito, il venture capitalist John Doerr ha affermato che *"Il cleantech è basato sull'innovazione scientifica e tecnologica, è promosso da imprenditori, è frammentato come Internet"*.<sup>7</sup> Mentre per l'Associazione Italiana del Private Banking *"Molti investitori istituzionali, in particolare fondi di private equity, hanno manifestato il loro interesse a investire in energie alternative, attratti dall'alta profittabilità nella partecipazione al capitale di rischio di aziende attive nel comparto delle energie rinnovabili"*.<sup>8</sup>

<sup>3</sup> Nella visione di Rifkin, il connubio fra politica dell'energia e nuova rivoluzione industriale si fonderà su tre pilastri. Il primo pilastro consiste nell'uso sempre più massiccio di fonti rinnovabili di energia. Il secondo pilastro consiste nello sviluppare metodi di accumulazione che facilitino l'erogazione di un servizio continuo e affidabile. Il terzo pilastro è in fase di sperimentazione presso alcune aziende europee: si tratta della riconfigurazione delle reti energetiche secondo gli schemi di Internet, per permettere alle imprese e all'utenza privata di produrre la propria energia e di scambiarla.

<sup>4</sup> [http://www.apat.gov.it/site/it-IT/IdeAmbiente/Sezioni/Articoli/Documenti/11\\_12\\_2007\\_art\\_14.html?PageID=12449](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/IdeAmbiente/Sezioni/Articoli/Documenti/11_12_2007_art_14.html?PageID=12449)

<sup>5</sup> Fonte: [http://www.eni.it/portal/search/search.do?keyword=rinnovabili&locale=it\\_IT&tag=true](http://www.eni.it/portal/search/search.do?keyword=rinnovabili&locale=it_IT&tag=true)

<sup>6</sup> <http://www.ilpassatore.it/2008/01/17/la-prossima-rivoluzione-industriale-sara-guidata-dalle-energie-rinnovabili/>

<sup>7</sup> <http://www.repubblica.it/2007/06/sezioni/ambiente/business-ambiente/business-ambiente/business-ambiente.html>

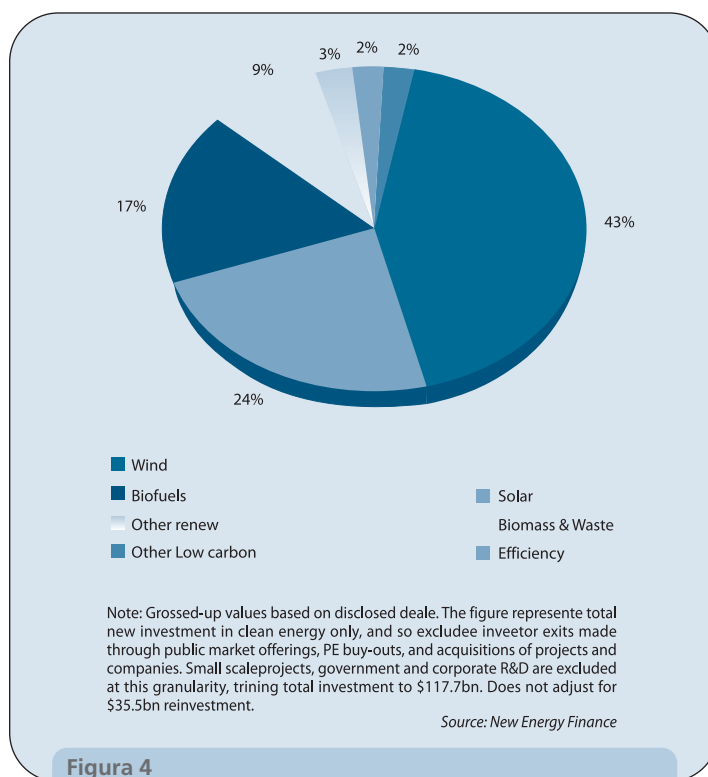
<sup>8</sup> [http://www.marketpress.info/notiziario\\_det.php?art=29896](http://www.marketpress.info/notiziario_det.php?art=29896)

Secondo un report del WWF, le aziende energetiche in cinque paesi EU potrebbero beneficiare di extra profitti pari a 70 miliardi di € a causa delle allocazioni dei permessi di emissioni inquinanti. Il report stilato dalla società di ricerca Point Carbon fornisce una stima dei profitti realizzabili dalla società in Germania, Italia, Polonia, Spagna e UK durante la seconda fase (2008-2012) dell'EU Emissions Trading Scheme.<sup>9</sup>

Secondo l'ENEA, infine, "Finanza, Ricerca e Sistema Industriale sono fattori che devono interagire per dare impulso allo sviluppo di nuove tecnologie per le rinnovabili. C'è una grande spinta, a livello internazionale, a investire sulle rinnovabili. Capitali, soprattutto negli USA, si rivolgono a queste tecnologie che suscitano molte aspettative perché esse sono in forte evoluzione ed hanno un mercato in grande espansione. Questo fenomeno ci dice che politiche pubbliche e iniziativa privata devono agire insieme, se si vogliono raggiungere gli obiettivi europei sulle energie rinnovabili".<sup>10</sup>

Un comune sentire, dunque, condiviso da istituzioni, accademici, ed operatori del mercato, nel quadro di una realtà in cui il salto tecnologico connesso all'energia pulita può dare una spinta paragonabile a quella di una vera e propria rivoluzione industriale. I livelli crescenti di investimento nel settore delle energie rinnovabili documentati in questo breve articolo, ed il fatto che molti dei finanziamenti provengano dal settore privato, confortano questo giudizio.

Alla luce delle condizioni attuali di mercato e del forte sostegno politico al settore delle energie rinnovabili, è prevedibile che il contributo di queste fonti alla produzione di energia in Europa



**Figura 4**  
Investimento globale nell'energia sostenibile per settore. Anno 2007  
Fonte: Global trends in Sustainable Energy Investment 2008

possa raggiungere nel 2020 il 21%. I settori nei quali si dovrebbero realizzare gli incrementi più significativi sono: eolico, fotovoltaico, solare termico, biomasse.

In Italia, nel 2005, la produzione lorda di energia da fonti rinnovabili si è attestata sui 49.920 GWh; in particolare, l'energia eolica (+18,6%), l'energia solare (+18,8%) e le biomasse e rifiuti (+21,6%) (Fonte AIPB) hanno registrato tassi in forte crescita inserendosi dunque, a pieno, negli scenari evolutivi per il settore definiti a livello globale.

Avendo chiare le tendenze in atto, è opportuno suggerire alcuni spunti di riflessione conclusivi intorno all'idea che la diffusione delle energie rinnovabili pos-

<sup>9</sup> Fonte: Euractiv, 7 aprile 2008

<sup>10</sup> <http://titano.sede.enea.it/Stampa/skin2col.php?page=comunicatodetail&id=261>

sa costituire il volano per una vera e propria rivoluzione industriale capace di modificare in profondità e radicalmente il modo di organizzare le tre attività economiche fondamentali: la produzione, lo scambio e il consumo.

Per quanto riguarda il settore primario nel nostro Paese, alla fine del 2006 è stato firmato un contratto quadro nazionale sul biodiesel, che prevede la coltivazione nel corso di quest'anno di 70.000 ettari, che diventeranno 250.000 nel 2010, e consentirà di rispettare la normativa comunitaria relativa agli impegni di Kyoto. A quel contratto ne seguirà presto un altro analogo, che il ministero dell'Agricoltura sottoscriverà con Assoelettrica. Per quanto riguarda il bioetanolo, in Italia si prevede di realizzare due impianti complessi per un totale di 100 o 150 mila ettari di coltivazioni di mais. Da ciò dovrebbe scaturire la possibilità, per le aziende agricole, singole o associate, di installare impianti di micro-generazione di energia elettrica.

Possiamo dunque affermare che raggiungere il milione di ettari di coltivazione a regime per produrre agro-energie in bio-diesel, biomasse e bio-etanolo è un obiettivo alla nostra portata.<sup>11</sup> Altri cambiamenti fondamentali sono da attendersi in relazione alla questione della generazione distribuita<sup>12</sup> e nel trasporto di merci e persone: la transizione dal motore a combustione / benzina al motore con celle a combustibile ad idrogeno per tutti i mezzi di trasporto – dai muletti industriali agli scooter, dalle auto ai camion, dagli autobus ai treni, dalle barche alle navi passeggeri. Per quanto riguarda il terziario, gli italiani occupati in questo settore sono oggi circa 200/300 mila, ma si prevede che nel 2005 l'incidenza delle "professioni verdi" sul totale di tutte le professioni sarà del 5,2%, con un incremento del 20%, il che dimostra che il mercato del lavoro ambientale farà da traino rispetto all'intero sistema economico.

## Bibliografia

- Goldberg J. "The case for renewable energies", Background paper, International Conference for Renewable Energies, Bonn 2004.

- Sonntag-O'Brien, V, Usher, E. "Mobilising Finance For Renewable Energies" Background paper, International Conference for Renewable Energies, Bonn 2004.

- "Alternative energy: global scenario", Goldman Sachs, 2007.

- "Renewable energy technology roadmap up to 2020", European Renewable Energy Council, 2007.

- "Global trends in sustainable energy investment 2007".

- "World Energy Outlook 2006", International Energy Agency, 2007.

- "Venture Capital for Sustainability 2007", Eurosif, 2007.

- "Investment Trends in European Clean energy 2003-2006", June 2007.

- "Rapporto Energia e Ambiente 2006: Analisi e Scenari", ENEA, 2007.

- ENEA [http://www.enea.it/produzione\\_scientifica/pdf\\_dossier/D15\\_FinanzaVentureCapital.pdf](http://www.enea.it/produzione_scientifica/pdf_dossier/D15_FinanzaVentureCapital.pdf).

<sup>11</sup> Fonte [http://www.agricolturaitalianaonline.gov.it/index.php/contenuti/ambiente\\_e\\_territorio/fonti\\_energetiche/rinnovabili/la\\_terza\\_rivoluzione\\_industriale?eZSESSIDagriconline=401a7b97b2da3aeb620134e58f5dcb49](http://www.agricolturaitalianaonline.gov.it/index.php/contenuti/ambiente_e_territorio/fonti_energetiche/rinnovabili/la_terza_rivoluzione_industriale?eZSESSIDagriconline=401a7b97b2da3aeb620134e58f5dcb49)

<sup>12</sup> Il termine "generazione distribuita" si riferisce ad un sistema di produzione diffuso sul territorio nella logica della vicinanza ai poli di consumo: centrali di piccola taglia di trigenerazione per ospedali, centri commerciali e centri direzionali, e centrali di co-generazione fino a qualche decina di MW al servizio di un'area industriale omogenea.

# Analisi di meccanismi di incentivazione per la produzione di elettricità da fonti rinnovabili

Marco Calisi\*, Antonio Mattucci\*, Davide Cicolin\*\*

\*ENEA. Dipartimento Tecnologie per l'Energia, le Fonti Rinnovabili e il Risparmio Energetico

\*\*Tesiista ENEA

*Le politiche per l'incentivazione delle fonti rinnovabili possono dare un utile contributo al raggiungimento della sicurezza degli approvvigionamenti e del rispetto dell'ecosistema. La loro efficacia però può essere migliorata studiando nuovi meccanismi di applicazione ed affiancando ad essi politiche per favorire l'accettabilità a livello locale, la stabilità delle regole e la crescita di filiere industriali nazionali innovative*

Lo sviluppo delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) in generale, e nel settore elettrico in particolare, rappresenta un importante punto del programma energetico italiano e comunitario per conseguire gli obiettivi ambientali, di sicurezza e competitività. L'efficacia di tali iniziative è migliorata da altri provvedimenti nel settore energetico, in particolare l'incremento dell'efficienza energetica negli usi finali e l'attuazione di politiche per la riduzione delle emissioni dei gas serra.

Il 23 gennaio 2008 è stata ufficializzata la proposta della Commissione Europea per la penetrazione e lo sfruttamento delle FER negli Stati membri, definendo successivamente per ciascuno di essi, Italia inclusa, gli obiettivi vincolanti al 2020 [1]. Considerata la rilevanza delle FER nella generazione di energia elettrica e vista l'attuale non competitività di molte di tali tecnologie, anche tenendo conto della recente lievitazione dei costi del petrolio, risulta di fondamentale importanza disporre di un sistema di incentivazione delle FER

in grado di:

- fornire un quadro certo e stabile per gli investitori, che possa permettere loro di valutare adeguatamente il possibile ritorno sul capitale investito;
- consentire uno sviluppo adeguato delle FER permettendone concretamente l'avvicinamento ai rispettivi poten-

## Analysis of Incentivation Policies for Renewable-Generated Electricity

*Subsidization policies for Renewable Energy Sources can give a positive help in order to achieve higher security of supply and better ecosystem preservation. Their effectiveness can be improved with new application mechanisms and supporting them with policies to foster local acceptability, stability of rules and the growth of innovative national industries*



ziali, compatibilmente con i vincoli di economicità;

- minimizzare l'impatto sul costo dell'energia elettrica per i consumatori, sui quali comunque si scarica il peso del sistema di incentivazione, ponendo quindi la massima attenzione all'efficacia ed all'impatto economico degli incentivi erogati.

Si deve pertanto definire una *roadmap* capace di conseguire gli obiettivi comunitari, attuando opportune politiche e misure attraverso un'attenta valutazione dei loro effetti. In particolare si dovrà analizzare quantitativamente l'impatto delle FER sul sistema energetico nazionale in modo da valutarne le opportunità, i rischi relativi, l'effettiva praticabilità e i costi associati.

A tal fine, un utile strumento di indagine è costituito dall'utilizzo di modelli tecnico-economici per l'elaborazione di scenari energetici e ambientali. L'uso di scenari, cioè di *descrizioni internamente coerenti* dell'evoluzione del sistema energetico, permette in primo luogo di "tenere insieme" tutte le componenti del sistema, un elemento essenziale per effettuare valutazioni quantitative circa una delle questioni caratteristiche della politica energetica, la compatibilità tra obiettivi diversi; in secondo luogo, permette di esplorare le prevedibili traiettorie di sviluppo del sistema energetico, e insieme di valutare le implicazioni di ciascuna di tali traiettorie in termini di costi, offerta di energia, emissioni.

Per garantire il rispetto dei criteri scientifici di *coerenza interna* e *trasparenza*

dell'analisi, gli scenari sono stati elaborati mediante modelli *formali* (appartenenti alla cosiddetta *famiglia di modelli* MARKAL<sup>1</sup>), contraddistinti tra le altre cose da una rappresentazione molto dettagliata delle tecnologie che caratterizzano il sistema energetico, dall'approvvigionamento delle fonti primarie ai processi di conversione, trasporto e distribuzione dell'energia, fino ai dispositivi di uso finale per la fornitura dei servizi energetici.

La caratterizzazione dell'assetto energetico italiano ha consentito all'ENEA di effettuare studi e valutazioni pubblicati annualmente nel Rapporto Energia e Ambiente (REA). In particolare, il REA 2007 include tra le altre cose un'analisi di potenzialità, costi e benefici di politiche europee all'orizzonte 2020, per le quali l'accelerazione dello sviluppo delle fonti rinnovabili costituisce una parte molto importante.

Questo articolo contiene una rielaborazione degli scenari di intervento descritti nel REA 2007 volta ad esplorare la possibilità di avvicinare gli obiettivi europei sulle rinnovabili a costi inferiori rispetto a quelli risultanti dagli scenari del REA.

Lo studio è stato quindi effettuato avendo i seguenti due obiettivi principali:

- la valutazione dell'efficacia e dei costi dell'attuale sistema di incentivazione per lo sviluppo della produzione di energia elettrica da FER in Italia;
- l'esplorazione di possibili soluzioni alternative per gli incentivi, che permettano di raggiungere gli stessi obiettivi a costi ridotti.

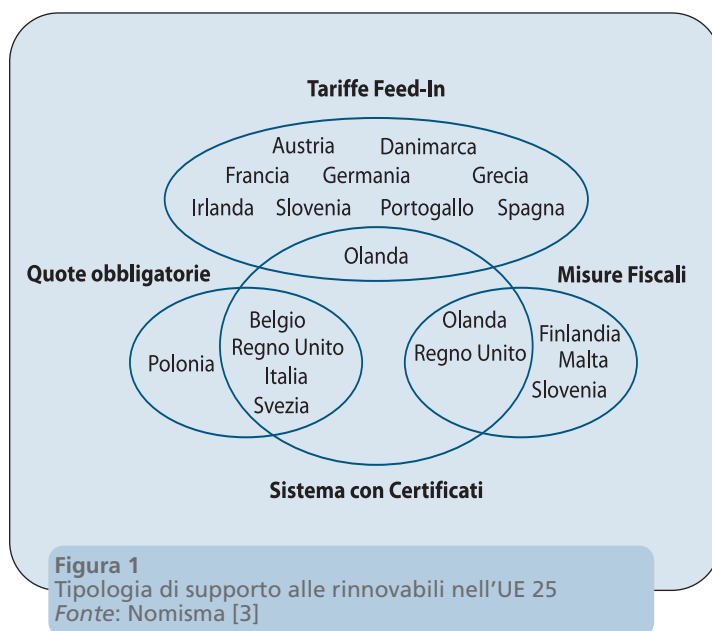
<sup>1</sup> La modellistica MARKAL [2] è stata sviluppata nei primi anni Ottanta nell'ambito del progetto *Energy Technology Systems Analysis Project* dell'*International Energy Agency* (IEA) ed è ormai utilizzata per la valutazione delle politiche energetiche e ambientali in più di 100 istituti di circa 60 paesi diversi. Tra i motivi di questo crescente successo vi è il fatto che il MARKAL non è in realtà un modello, ma un «generatore» di modelli di equilibrio del sistema energetico. La metodologia MARKAL è dunque "generica", in quanto può essere utilizzata per rappresentare qualunque sistema energetico, includendo o meno tutti i settori energetici, con un numero variabile di tecnologie e domande di servizi energetici, da poche unità a centinaia di *commodity*, materiali, tecnologie, emissioni.



## Meccanismi di Incentivazione delle FER

Per capire meglio come favorire lo sviluppo delle FER per la produzione di elettricità è opportuno dare un quadro sintetico dei principali meccanismi di incentivazione e delle politiche messe in atto dall'Italia e, più in generale, dalla UE. Attualmente i due principali meccanismi di incentivazione nell'Unione Europea sono di tipo:

- *Feed-In Tariff*, attraverso il quale il produttore di FER vende l'energia elettrica ad una tariffa fissa per un determinato periodo; la tariffa può sia dare un importo complessivo prestabilito per la produzione, sia integrare il prezzo di vendita dell'energia elettrica sul mercato. Il livello della tariffa è determinato in funzione di costi di generazione stimati per ciascuna tecnologia. Il sistema *Feed-in* ha il vantaggio di garantire massima certezza agli investitori in termini di ricavi e di durata, anche se la tariffa è soggetta spesso ad una riduzione nel tempo per tenere conto della riduzione dei costi di generazione dovuta a miglioramenti tecnologici.
- *Sistema con Certificati*, che prevede l'imposizione di un obbligo per un gruppo di soggetti, per cui quote di elettricità prodotta, venduta o consumata devono essere di provenienza FER. Tali soggetti ottengono un certo numero di certificati al conseguimento del risultato. Non è necessario per gli interessati ottemperare agli obblighi con azioni proprie (produzione o riduzione) ma si può procedere acquistando i certificati rilasciati ad altri soggetti che ne dispongono in quantità maggiore di quanto richiesto. I certificati acquisiscono quindi un valore e la loro collocazione sul mercato permette di avere un ulteriore introito ri-



petto al prezzo di vendita dell'energia prodotta. Questo meccanismo si integra meglio con gli assetti di mercato liberalizzati, ma i prezzi dei certificati, essendo determinati dai mercati stessi, sono difficilmente prevedibili e introducono un elemento di forte incertezza.

Altri meccanismi, meno diffusi o da integrare ai precedenti, sono quelli dei finanziamenti in conto capitale, delle procedure d'asta e delle esenzioni fiscali. In *Figura 1* viene riportato uno schema che sintetizza l'assetto attuale degli Stati membri dell'Unione Europea in termini di meccanismi per favorire le FER nella produzione di elettricità.

Si può facilmente verificare che in Europa prevale il meccanismo *feed-in*, mentre quello dei certificati, dopo un iniziale successo all'inizio del decennio, sta incontrando alcune resistenze ad un ulteriore sviluppo per la maggiore incertezza sul ritorno degli investimenti da parte delle industrie.

Sotto il profilo puramente teorico i fattori a favore dei certificati sono più nu-

merosi. Infatti, l'imposizione di una quota di FER sul totale della produzione elettrica è più semplice da applicarsi e facilita il raggiungimento di obiettivi generali di politica energetica. Una volta fissata la quota sul totale da parte dell'autorità, spetta al mercato e all'industria trovare il modo per raggiungere l'obiettivo. Il meccanismo *feed-in*, essendo una tipica tariffa, ha invece il problema di stimare i costi di produzione delle diverse tecnologie, in modo spesso soggettivo, ed è inoltre caratterizzato da maggiori costi delle procedure burocratiche per elargire gli incentivi.

L'emanazione della Direttiva 77/2001/CE ha dato la sensazione che l'orientamento degli Stati membri sarebbe stato quello di adottare prevalentemente il meccanismo dei certificati, da scambiarsi all'interno di un mercato di dimensione europea e a fianco del mercato dei permessi di emissione di CO<sub>2</sub>, avviato nel 2005, o a quello futuro dei titoli di efficienza energetica. Tuttavia, la *leadership* sulle FER della Germania e in parte della Spagna, dove si è consolidata una larga applicazione del meccanismo *feed-in*, ha finito per rendere meno sicura tale scelta.

In Italia per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, per il risparmio energetico e per il contenimento delle emissioni di anidride carbonica sono attivi i seguenti meccanismi di incentivazione:

**Certificati Verdi (CV):** il meccanismo dei certificati è stato attivato con l'art.11 del decreto 79/99, che ha modificato il criterio di incentivazione tariffaria noto come Cip6<sup>2</sup>, introducendo il cosiddetto sistema dei Certificati Verdi. I certifica-

ti, emessi dal Gestore del Sistema Elettrico (GSE), attestano la produzione di energia da fonti rinnovabili, la cui taglia minima è stata ridotta da 50 a 1 MWh dal febbraio 2008.

Per l'applicazione dei CV si parte dall'obbligo per produttori ed importatori di immettere annualmente una quota di energia elettrica di origine rinnovabile pari al 2% di quanto prodotto e/o importato da fonti convenzionali nell'anno precedente. La Finanziaria 2008 ha stabilito che la quota d'obbligo sia incrementata di 0,75 punti percentuali nel periodo 2007-2012. Per coprire tale quota sono emessi dal GSE CV a favore sia degli Operatori con impianti qualificati come Impianti a Fonti Rinnovabili (IA-FR), sia dell'energia prodotta dagli impianti Cip 6.

**Conto Energia:** è il nome comune assunto dal programma di produzione di elettricità mediante impianti fotovoltaici connessi permanentemente alla rete elettrica. Gli incentivi vengono erogati a tariffa fissa agevolata, con meccanismo di tipo *feed-in*, sulla base dell'energia elettrica prodotta. In Italia si hanno due versioni:

- **Vecchio Conto Energia:** applicato a seguito della Direttiva Comunitaria 2001/77/CE ed avviato con il Decreto del 28/07/2005 che introduceva un'importante innovazione, passando dai contributi a fondo perduto in unica soluzione (Programma Nazionale 10000 Tetti Fotovoltaici) a contributi distribuiti nel tempo, sulla base della produzione di energia elettrica fotovoltaica da parte dell'impianto solare.
- **Nuovo Conto Energia:** è un meccanismo totalmente nuovo, introdotto dal Decreto del Ministero per lo Sviluppo

<sup>2</sup> Il provvedimento CIP6, adottato dal Comitato Interministeriale Prezzi il 29 aprile 1992, stabiliva incentivi economici per la cessione di elettricità prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili e assimilate; il meccanismo, di tipo *feed-in*, rimane in vigore per impianti autorizzati prima del 1° aprile 1999.

Economico del 19/02/2007 per promuovere lo sviluppo del solare fotovoltaico in Italia. Il Decreto ha introdotto semplificazioni e migliorie che hanno permesso un vero rilancio del settore, registrando finalmente numeri importanti in termini di elettricità prodotta. Basti pensare che, partendo da una potenza installata pari a 9,4 MW nel 2006, il fotovoltaico ha raggiunto la quota 50,9 MW nel 2007. Per impianti di piccola potenza sono possibili, tra l'altro, le opzioni di cessione in rete, con la vendita dell'energia prodotta non immediatamente utilizzata, e di scambio sul posto, con l'impianto che opera in regime di interscambio con la rete elettrica.

### Rappresentazione del sistema energetico nazionale

Il modello MARKAL-Italia rappresenta il sistema nazionale integrato energia-ambiente dal 2004 al 2048 (l'orizzonte di lungo periodo ha più che altro la funzione di evitare che interventi di breve e medio periodo possano pesare in modo troppo marcato). Il modello è stato originariamente sviluppato nei primi anni 90 per valutare i costi ed il potenziale di riduzione delle emissioni di inquinanti atmosferici come CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e COV e i costi di implementazione dei relativi protocolli internazionali [4]. Fin da allora esso è stato continuamente aggiornato ed è utilizzato attualmente da ENEA ed ISPRA<sup>3</sup>. Negli ultimi anni è stato utilizzato, tra l'altro, per preparare gli scenari di mitigazione della III Comunicazione Nazionale alla Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (insieme ad altri modelli, [5]), gli scenari energetici utilizzati dal modello RAINS [6] del-

lo IIASA<sup>4</sup> e più in generale per pubblicazioni di carattere scientifico. È inoltre in corso il suo utilizzo per la definizione dello scenario di riferimento della IV Comunicazione Nazionale. La flessibilità della metodologia MARKAL permette, come detto, di creare modelli con un livello di dettaglio variabile. Alcune caratteristiche del modello italiano sono sintetizzate nei punti seguenti:

- sono rappresentate circa 70 tipologie di domanda di servizi energetici, divise nei quattro settori di uso finale (agricoltura, industria, civile e trasporti). Il modello calcola quantità e prezzi di equilibrio di più di 300 flussi di energia e materiali, prodotti da più di un migliaio di tecnologie. L'industria, divisa nei sottosectori individuati dal bilancio energetico nazionale, è ulteriormente differenziata per rappresentare la produzione dei principali materiali *energy-intensive* (acciaio, cemento, vetro, prodotti petrolchimici e cloro-soda);
- la domanda di *servizi energetici* del settore residenziale è suddivisa in riscaldamento, raffrescamento, acqua sanitaria, parco dei più diffusi elettrodomestici;
- il settore terziario, diviso in tre sottosectori, presenta una domanda di servizi energetici derivata dalla stima delle necessità di riscaldamento/raffrescamento, illuminazione, forza motrice;
- il settore dei trasporti è guidato da una domanda di mobilità articolata in tre tipologie geografiche (aree urbane, pendolare/piccoli centri, spostamenti di media-lunga distanza) ed espressa in passeggeri-km e tonnellate-km;
- il settore della raffinazione è rappresentato con un dettaglio tale da per-

<sup>3</sup> ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale

<sup>4</sup> IIASA: International Institute for Applied Systems Analysis

mettere la simulazione del processo produttivo dagli oli minerali grezzi ai prodotti finali;

- il parco centrali esistente è aggregato in base alla tecnologia di generazione, per un totale di quasi 50 diverse tipologie di impianto; in particolare, sono modellate le tecnologie di generazione elettrica sia da fonti fossili che da rinnovabili;
- l'approvvigionamento considera fonti fossili provenienti sia da giacimenti nazionali sia da importazioni; è prevista anche l'esportazione verso l'estero.

Per quanto riguarda la produzione di elettricità da FER sono state prese in considerazione, oltre alla fonte idrica, le biomasse, i rifiuti urbani, la geotermia, la fonte eolica sia *on-shore* che *off-shore*, il solare fotovoltaico e a concentrazione.

### Gli Scenari di riferimento

L'analisi dell'ENEA si basa su un confronto tra uno scenario BASE e tre scenari di "accelerazione tecnologica" (ACT) [7], che prevedono l'accelerazione di una rapida introduzione sul mercato di tecnologie volte a realizzare un massiccio ricorso all'efficienza energetica, un forte sviluppo delle fonti rinnovabili, una maggiore diversificazione dell'energia. In questo articolo si concentra l'attenzione sui risultati dello scenario ACT+ all'orizzonte temporale del 2020.

Gli scenari ACT ipotizzano la piena realizzazione del Piano d'azione italiano per l'efficienza energetica, cui si aggiungono forti incentivi alla generazione da fonti rinnovabili e alla penetrazione dei biocarburanti nei consumi del settore trasporti. In particolare:

- lo scenario ACT si basa sull'ipotesi di un'accelerazione nella penetrazione sul mercato di tecnologie energetiche che già esistono, o che sono già in una fase di sviluppo avanzato;

- lo scenario BLUE si pone l'obiettivo di una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> del 50% su scala globale entro il 2050, e ipotizza la diffusione anche di tecnologie ancora in fase di sviluppo tecnologico;
- lo scenario ACT+ rappresenta uno scenario intermedio, nel medio periodo rappresentativo dello scenario ACT e, nel lungo periodo, dello scenario BLUE.

Tutti questi scenari includono tecnologie innovative nel campo degli usi finali, tecnologie di generazione elettrica con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>, molteplici tecnologie di utilizzo delle fonti rinnovabili, sia termiche che elettriche. A ciò si aggiunge l'ipotesi di un ritorno del paese allo sfruttamento dell'energia nucleare, a partire dal 2020. L'uso maggiore o minore delle tecnologie innovative è fortemente dipendente dall'insieme delle condizioni che caratterizzano l'evoluzione del sistema energetico nei diversi scenari.

Di seguito sono evidenziati gli aspetti che caratterizzano la modellazione delle FER per quanto attiene la produzione di energia elettrica e degli incentivi adottati per favorirne la penetrazione.

#### Scenario BASE

Lo scenario BASE è uno scenario Business-As-Usual aggiornato alle politiche di incentivazione delle Nuove Fonti Energetiche Rinnovabili (NFER) definite nella Finanziaria 2008. In particolare nello scenario in esame sono considerati i seguenti elementi:

- le quote di obbligo di immissione di elettricità da NFER, collegate ai CV, che crescono dello 0,75%/anno fino al 2012;
- una tassa sull'emissione di CO<sub>2</sub>, che simula il costo di acquisto dei permessi di emissione;
- il sussidio per le tecnologie solari, foto-

voltaiche e termodinamiche (per queste ultime l'incentivazione in conto energia è un'ipotesi addizionale, non essendo nella realtà prevista nessuna incentivazione per lo sfruttamento della fonte solare con tecnologie termodinamiche), secondo lo schema del Conto Energia, che viene però eliminato a partire dall'anno 2020, per limitare la spesa degli incentivi.

### Scenari ACT e BLUE

Lo scenario di accelerazione tecnologica ACT è rivolto ad analizzare e valutare la realizzabilità e i costi degli obiettivi europei all'orizzonte 2020 e si caratterizza per l'applicazione allo scenario di riferimento di misure di politica energetica riconducibili a due tipologie principali: un ulteriore forte impulso all'efficienza energetica, incentivata mediante l'ampio numero di misure descritte nel Piano d'azione italiano per l'efficienza energetica (redatto in ottemperanza alla direttiva 2006/32/EC, finalizzato al 2016 e inviato alla Commissione Europea nel luglio 2007) e l'estensione temporale degli incentivi alle FER.

Per quanto attiene lo studio presente, che è concentrato sulla produzione di elettricità da NFER, ci si limita quindi ad indicare gli aspetti che interessano specificamente il settore. In particolare, nello scenario sono attivati i seguenti provvedimenti:

- le quote d'obbligo, collegate ai CV, sono fatte crescere dello 0,75% all'anno anche dopo il 2012 e fino al 2020;
- si impone una tassa sulle emissioni di CO<sub>2</sub> maggiore di quella dello scenario BASE; tale tassa diviene 40 €/ton nel 2020, con un cambio di 1,3 €/t, continuando a crescere negli anni successivi;
- il sussidio per le NFER solari, fotovoltaiche e termodinamiche, si riduce del 5%/anno dal 2008 e viene mantenuto con tale derivata anche dopo il 2020;

- per le altre NFER i sussidi restano uguali a quelli praticati nello scenario BASE. Nello scenario le misure addizionali hanno le seguenti finalità:

- nel breve-medio periodo, il raggiungimento del potenziale di sfruttamento delle FER previsto per il 2020 dal Ministero dello Sviluppo Economico, attraverso l'estensione temporale degli incentivi;
- nel lungo periodo, garantire alle diverse FER il livello di incentivazione necessario alla loro progressiva penetrazione sul mercato, fino al raggiungimento della piena competitività.

### Scenario ACT con Incentivi Minimizzati

Questo scenario si ottiene dallo scenario ACT con la riduzione dei sussidi assegnati alle NFER, ed ha l'obiettivo di mantenere il loro tasso di penetrazione ad un livello analogo a quello dell'ACT, riducendo però gli esborsi per gli incentivi. Infatti gli incentivi erogati, pur essendo stati concepiti considerando il livello di maturità delle FER, seguono dinamiche specifiche che non tengono in considerazione i costi di produzione<sup>5</sup> delle altre tecnologie energetiche. Pertanto gli "Incentivi Minimizzati" utilizzati in questo scenario sono stati determinati partendo dall'idea di erogare a ciascuna tecnologia rinnovabile il contributo minimo necessario per renderla competitiva, abbassandone il costo di produzione appena al disotto di quello della tecnologia fossile con il costo di produzione minimo; negli scenari considerati, quello dei cicli combinati a gas naturale (NGCC). Per lo studio si è im-

<sup>5</sup> Costo di Produzione: è stato calcolato come il prezzo di vendita dell'energia elettrica prodotta che, nell'arco della vita dell'impianto, è in grado di coprire esattamente tutti i costi attualizzati (i costi di investimento ed i costi fissi e variabili di operazione e manutenzione, i costi del combustibile nonché eventualmente le imposte da pagare sulla CO<sub>2</sub> emessa).



sto che ciascuna FER abbia un costo di produzione pari all'80% di quello del NGCC, fornendo perciò sussidi diversi alle FER a seconda della tipologia. Ovviamente saranno maggiori gli incentivi per le FER meno competitive e minori per quelle più in linea con i costi di mercato. Per evitare di premiare in modo poco giustificabile le tecnologie solari, assoggettate allo schema del Conto Energia, si è imposto che queste siano incentivate al 50% rispetto allo scenario ACT fino al 2020, mentre successivamente gli incentivi sono erogati seguendo la stessa regola delle altre FER. L'idea è infatti quella di mettere sulla stessa linea le FER, evitando possibili distorsioni che possano privilegiare o penalizzare una o più FER senza che esistano motivi specifici che giustifichino la cosa.

Una parte importante dello studio ENEA è stata quella di inserire i possibili meccanismi di incentivazione nel modello, attraverso opportune schematizzazioni che permettano al modello stesso di elaborarli correttamente negli scenari considerati.

### La Modellizzazione dei Certificati Verdi

La modellizzazione del meccanismo di incentivazione dei CV [8] ha richiesto parecchia attenzione perché nel modello non è possibile imporre direttamente la quota di produzione da FER attraverso

un vincolo diretto sulla produzione elettrica da fonte fossile. Si è dovuto pertanto procedere nel modo seguente:

- determinazione della Produzione Netta Totale di energia elettrica da fonte fossile attraverso una soluzione standard dello scenario di interesse;
- calcolo, sulla base dei risultati precedenti, della quantità minima di energia elettrica da produrre da FER per soddisfare l'obbligo connesso ai CV;
- imposizione per gli scenari alternativi di un vincolo inferiore di produzione per gli impianti IAFR, pari alla quota determinata al punto precedente.

Nella *Tabella 1* sono riportate le quote dei CV nell'intervallo temporale di riferimento per gli scenari ACT normale e minimizzato. Dalla tabella si vede che, negli anni futuri, l'adozione di sistemi per il confinamento della CO<sup>2</sup> (inseriti nella voce "fossili esenti") riduce notevolmente la porzione di impianti fossili soggetti all'obbligo di CV e quindi la domanda di questi ultimi, che ha un picco nel 2020 a 30,8 TWh, per poi scendere a 15,6 al 2040.

#### Applicazione dei Sussidi

Per le tecnologie NFER la determinazione dei sussidi (c€/kWh) è stata fatta nel seguente modo:

- per il meccanismo CIP/6 l'incentivo è stato mantenuto pari all'importo pagato nel 2007 dal Gestore Servizi Elet-

**Tabella 1 - Calcolo dei Certificati Verdi per lo Scenario ACT**

TWh	2010	2020	2030	2040
Produzione netta da fonte fossile	262,7	265,0	224,5	201,2
- Fossili esenti	59,5	74,7	88,0	123,2
- Franchigia	10	10	10	10
+ Import sotto obbligo	28,4	47,3	47,3	47,3
= Energia sotto obbligo	221,5	227,6	173,9	115,3
x Quota obbligo immissione CV	6,05%	13,55%	13,55%	13,55%
= Domanda di Certificati Verdi	13,6	30,8	23,6	15,6

Fonte: Elaborazione ENEA



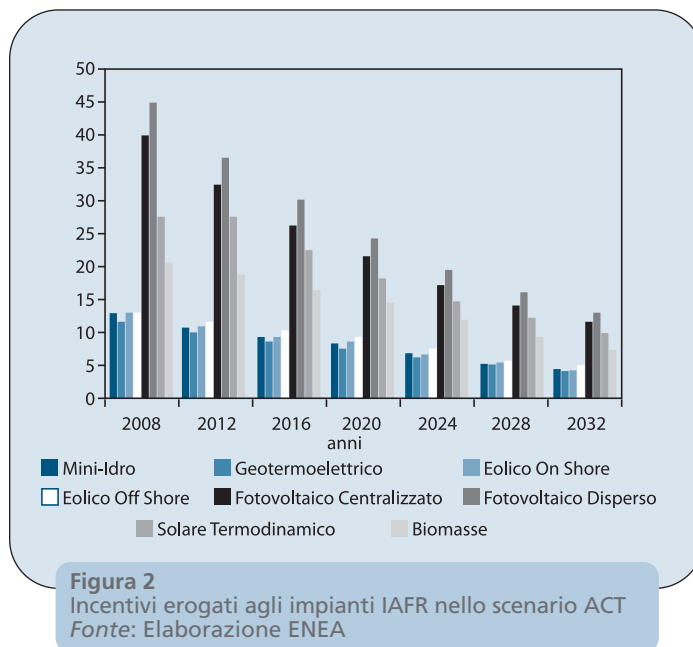
trici (GSE) per l'energia elettrica prodotta dalle centrali CIP/6;

- per i CV si è usato l'importo di riferimento dei CV del GSE per l'anno 2007, fatto decrescere progressivamente nel periodo temporale di interesse (-10% ogni quattro anni);
- per le tecnologie solari (fotovoltaiche e CSP) si è fatto riferimento al Conto Energia; anche in questo caso si è attuata una progressiva riduzione dell'incentivo unitario nel periodo (-5% medio annuo).

Nello scenario BASE il sussidio è stato eliminato per le tecnologie solari a partire dall'anno 2024, mentre negli scenari ACT si è continuato ad erogarlo secondo la regola appena indicata.

Per lo scenario ACT con incentivi "minimizzati" gli incentivi sono stati calcolati per ciascuna FER in modo che il suo costo di produzione divenga pari all'80% del costo della tecnologia fossile a costo minore (ciclo combinato a gas naturale) nel periodo fino al 2016 (50% per il fotovoltaico, a causa del minore livello di maturità della tecnologia).

I sussidi erogati alle FER nello scenario ACT normale e minimizzato, espressi in c€ per unità di energia elettrica prodotta, sono riportati nelle *Figure 2* e *3*, rispettivamente per lo scenario ACT e ACT "minimizzato". Dal confronto si può notare che per tutte le FER non "solari" si registra una notevole riduzione degli incentivi per lo scenario minimizzato a partire dal 2012. Gli incentivi si mantengono più bassi su tutto l'orizzonte temporale considerato, tranne che per le biomasse ed i rifiuti nell'ultima parte dell'intervallo. Un commento specifico deve essere fatto per gli incentivi dati al solare, che rimangono identici fino al 2020 e si dimezzano dal 2020 al 2024, come effetto del cambio del meccanismo da Conto Energia a CV. Tale cambiamento di meccanismo, applicato così drasticamente,



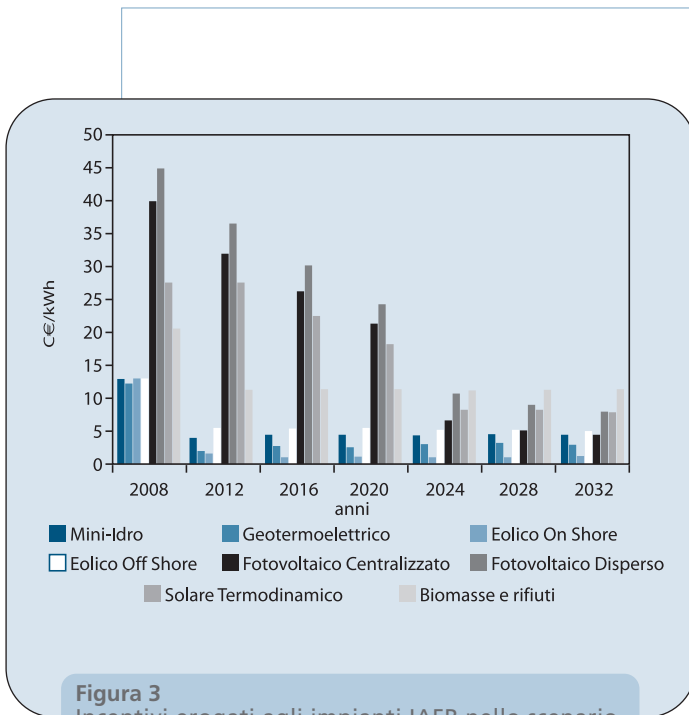
**Figura 2**  
Incentivi erogati agli impianti IAFR nello scenario ACT  
Fonte: Elaborazione ENEA

potrebbe creare qualche forte contraccolpo nell'intorno temporale della sua attivazione, per cui nella realtà sarebbe probabilmente saggio procedere con modifiche degli schemi più gradualmente. Essendo tuttavia lo scopo del lavoro quello di verificare la praticabilità di schemi di incentivazione più efficaci, si è preferito evitare di approfondire tali aspetti, lasciandoli evidentemente ad analisi specifiche nel caso gli schemi di incentivazione proposti trovassero interesse e si manifestassero le condizioni per una loro concreta applicazione.

## Le Analisi degli Scenari

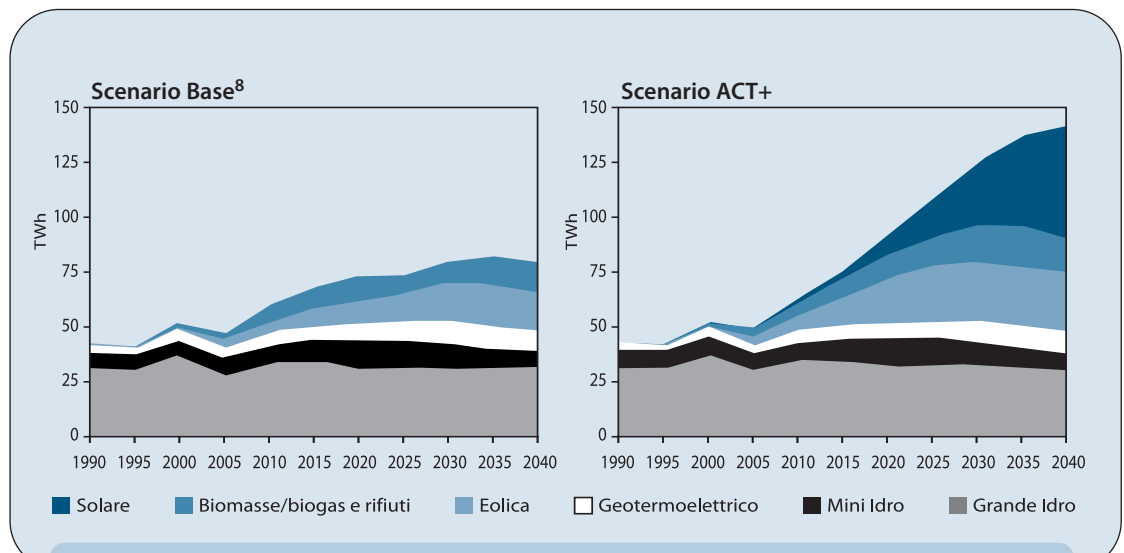
### Scenario Base

Le tendenze evolutive del sistema e gli interventi di sostegno alla produzione di energia da fonti rinnovabili attualmente in vigore non permettono il raggiungimento degli obiettivi stabiliti nel Piano d'azione del Consiglio Europeo. Nello scenario BASE i valori di produzione di energia elettrica da rinnovabili,



**Figura 3**  
Incentivi erogati agli impianti IAFR nello scenario ACT minimizzato  
Fonte: Elaborazione ENEA

pure in crescita significativa, restano considerevolmente distanti dagli obiettivi. In particolare la produzione passa da circa l'8% nel 2010 a quasi il 10% al 2020 con variazioni modeste negli anni successivi, come indicato in *Figura 4*, lato sinistro, dove si vede che la generazione elettrica da rinnovabili rimane nel 2020 al di sotto dei 75 TWh. Ne consegue che nello scenario Base rimane molto alta la dipendenza energetica dall'estero, quantitativamente intorno al 90%. Gli interventi previsti dagli scenari ACT riescono invece a raggiungere l'obiettivo per le FER (che grazie alle incentivazioni si avvicinano al potenziale tecnico stimato nel *Position Paper*<sup>6</sup>), pari al 17% del totale dei consumi finali<sup>7</sup> di energia, secondo la recente proposta della Commissione UE. Le misure di promozione delle FER considerate nello scenario ACT+ permettono in



**Figura 4**  
Contributo delle diverse FER negli scenari BASE e ACT+  
Fonte: Elaborazione ENEA

<sup>6</sup> Presentato nel settembre 2007, ha costituito la prima "base di discussione" per la valutazione del contributo che l'Italia può fornire per il conseguimento dell'obiettivo comunitario di una quota del 20% di energie rinnovabili sui consumi energetici dell'UE entro il 2020.

<sup>7</sup> La percentuale è stata calcolata considerando: a) il consumo finale al netto dei consumi non energetici, b) l'energia elettrica da FER al lordo delle perdite di rete.

<sup>8</sup> Il contributo della fonte solare nello scenario BASE è talmente esiguo da non essere evidenziato in figura.

**Tabella 2 - Produzione di energia elettrica per gli scenari ACT e ACT minimizzato al 2020 (TWh)**

Scenario/FER	Grande idro	Mini idro	Geotermo elettrico	Eolico	Biomasse/biogas e rifiuti	Solare	Totale
ACT	30,97	11,79	7,89	19,42	12,59	8,35	91,00
ACT_MIN	30,97	11,79	7,89	19,42	12,59	8,47	91,12

Fonte: Elaborazione ENEA

effetti di raggiungere nel 2020 una produzione totale da rinnovabili molto vicina ai 24,2 Mtep che rappresentano il massimo potenziale accessibile dal Paese per quella data. Nel caso della produzione elettrica da rinnovabili, riportata nel lato destro di *Figura 4*, si vede che supera i 90 TWh nel 2020, con una quota del consumo interno lordo di elettricità che resta comunque molto al di sotto del 25%.

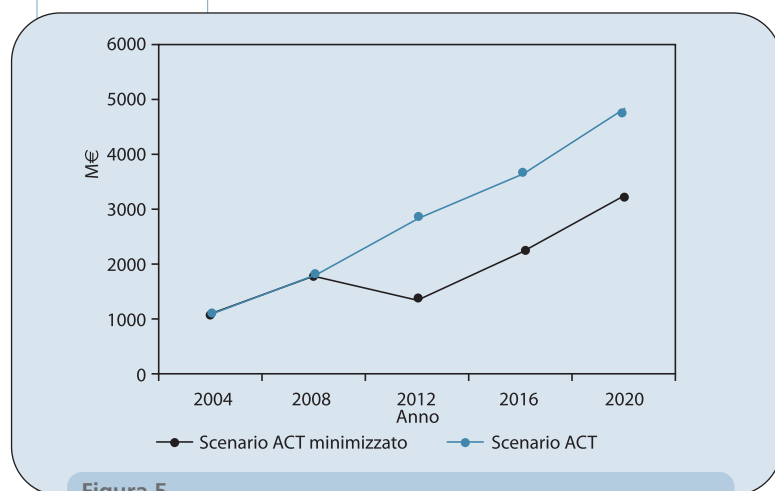
Il sostanziale raggiungimento dei valori di potenziale al 2020 per ciascuna delle fonti rinnovabili considerate è comunque un dato di rilievo, che rende evidente quanto sia complesso il conseguimento del risultato, reso possibile nello scenario dall'estensione delle misure già esistenti fino al 2020. In particolare si deve attuare l'estensione e progressivo incremento dell'obbligo CV dello 0,75% annuo fino al 2020 (sebbene con incentivi unitari in graduale riduzione), l'estensione dell'attuale "conto energia" per impianti solari fotovoltaici e a concentrazione (sia pure con progressiva riduzione dell'incentivo del 5% annuo), un forte sostegno alla costruzione di termovalorizzatori e l'aumento dell'uso della biomassa nel settore civile. Tutto ciò, con un costo totale dell'incentivazione crescente fino al doppio dei valori attuali. Nel settore elettrico, ciò si traduce in un costo totale che sale dai 2,5 miliardi di € a poco meno del doppio nel 2020, per poi scendere lentamente nel resto dell'orizzonte temporale (nel lungo periodo la continuazione dell'incentivazione, pur in progressiva diminuzione, si rende necessaria in particolare per il solare fotovoltaico).

#### *Scenario ACT con Incentivi Minimizzati*

La *Tabella 2* riporta la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili nello scenario ACT e nello scenario ACT con "incentivi minimizzati". Si può facilmente vedere che le differenze per l'anno 2020 sono minime e ciò dimostra che risultati del tutto soddisfacenti possono essere realizzati con schemi di incentivazione diversi.

Il confronto dimostra che l'approccio seguito per uno schema di incentivazione delle NFER che preveda incentivi differenziati per tecnologia è in grado di assicurare che tutte le tecnologie NFER a disposizione possano giocare un ruolo significativo, ampliando di fatto le scelte praticabili. Ciò è molto importante anche alla luce delle caratteristiche territoriali del nostro Paese che, non essendo uniformi, possono non facilitare localmente il ricorso ad alcune FER, ma essere invece favorevoli per le altre; il nuovo schema può pertanto favorire l'uso delle NFER facilitando una loro maggiore e più efficace penetrazione.

Andando invece a considerare i costi, la *Figura 5* mostra come la correzione dello schema di incentivazione con la riduzione degli incentivi unitari possa permettere sensibili risparmi. I risparmi annuali conseguibili rispetto allo scenario ACT, costruito come estensione degli incentivi vigenti, sono approssimativamente pari a circa 1500 M€/anno per tutto il periodo 2012-2020, con un risparmio complessivo al 2020 dell'ordine di 15 miliardi di €.



**Figura 5**  
Costi annuali per l'incentivazione delle NFER negli scenari  
Fonte: Elaborazione ENEA

Il risparmio ottenuto è sicuramente molto importante, considerando che le ultime finanziarie prevedevano fabbisogni paragonabili a tale importo. Ciò potrebbe permettere di liberare ingenti risorse per affrontare adeguatamente altri importanti problemi della collettività e rendere meno traumatico per i decisori pubblici il peso delle loro iniziative. Un dato di rilievo di cui tener conto è però che dopo il 2020 i due scenari non presentano più evoluzioni pressoché identiche in termini di sviluppo delle NFER, in quanto il cambio di meccanismo di incentivazione per il solare riduce la quota di tale FER nel periodo successivo per lo scenario minimizzato. Nel lungo termine i due scenari tendono comunque a riavvicinarsi. Tali differenze mettono in luce ancora una volta la necessità di studiare più approfonditamente gli schemi di incentivazione e di perfezionarli per avere un più efficace raggiungimento degli obiettivi e l'eliminazione di possibili effetti collaterali negativi.

### Conclusioni

Le analisi svolte sull'efficacia delle nuove politiche di incentivazione (differenziate

per tecnologia) per raggiungere al 2020 gli obiettivi imposti dalla Commissione Europea hanno dimostrato che tali strumenti sono sicuramente validi e agevolano significativamente l'ottenimento dei risultati. È chiaro però che l'adozione di tali misure impone al sistema energetico nazionale un esborso addizionale sia per l'erogazione degli incentivi sia per il forte aumento degli investimenti per rimpiazzare gli impianti basati su tecnologie tradizionali meno efficienti ed ambientalmente meno compatibili. È però altrettanto vero che gli investimenti iniziali sono accompagnati da minori spese per l'importazione di fonti energetiche (fossili) dall'estero e da minori costi di operazione e manutenzione. Ciò, nel lungo termine, dà origine ad un'inversione di tendenza, che porta a costi complessivi ridotti per un sistema energetico nazionale basato su ampio uso delle FER. La considerazione vale sia per lo scenario ACT che per quello ACT "minimizzato", nel quale le spese per gli incentivi si riducono ulteriormente.

È però da rilevare che, malgrado i vantaggi da ascrivere ad un più ampio uso delle FER, le difficoltà da affrontare per il loro sviluppo non possono essere risolte solo attraverso l'erogazione di incentivi. Infatti, analizzando la distanza tra la quota obiettivo di produzione di elettricità da NFER al 2020 e quella attuale, si può facilmente evincere come il raggiungimento dell'obiettivo indicato dalla Commissione Europea sia particolarmente complesso, anche facendo riferimento all'esperienza degli anni passati. In particolare occorre rendersi conto che lo sviluppo delle FER necessita non solo di un puro supporto economico, ma anche di una serie di forti e durevoli politiche ed azioni di sostegno, come ad esempio:

- politiche territoriali volte a favorire l'accettabilità ed il rilascio delle autorizzazioni a livello locale;

- sviluppo di reti adeguate per allacciamenti sicuri dei piccoli impianti di produzione;
- stabilità delle regole nel lungo periodo;
- sviluppo delle NFER attraverso filiere industriali nazionali innovative con riduzioni dei costi.

Senza la presenza di queste condizioni gli obiettivi comunitari diventano difficilmente perseguibili, anche in presenza di incentivi economici molto alti, soprattutto alle luce di obiettivi quantitativi futuri per le FER sempre più ambiziosi. Le azioni appena indicate dovranno essere capaci di guidare un cambiamento radicale del modo con cui l'energia viene attualmente prodotta, distribuita e consumata. Sotto questo aspetto le FER producono energia elettrica e/o termica da impianti spesso di piccola taglia e perciò facilmente adattabili per una diffusione capillare presso i consumatori finali; esempi importanti possono essere il solare fotovoltaico e termico integrato con l'architettura, l'eolico di piccola taglia, la geotermia a bassa entalpia, le piccole caldaie a biomassa ecc.

Il cambiamento da realizzare dovrà assicurare che sia sempre più coinvolto nella catena l'utente finale, che potrà divenire frequentemente il produttore

(o meglio l'autoproduttore) dell'elettricità di cui ha bisogno. In sostanza dovrà essere ripensato il modello di sviluppo della nostra società e l'assetto energetico conseguente. Perciò, non sempre ci si potrà avvalere dell'esperienza maturata, ma si dovranno affrontare situazioni del tutto nuove e forse inaspettate, dove l'ausilio di strumenti di analisi e previsione potrà divenire sempre più importante per dare una maggiore sicurezza sugli effetti delle scelte da intraprendere ed indicare le misure più idonee.

L'esperienza maturata in Italia, sulla base degli ultimi anni, ha dimostrato come, nonostante l'elevata entità degli incentivi adottati per favorire la penetrazione delle NFER (spesso anche sensibilmente maggiori di altri importanti Paesi europei) non si sia avuta una crescita degli impianti adeguata agli sforzi profusi. Il fatto che la penetrazione delle NFER non sia stata sufficientemente marcata testimonia dell'importanza di altre condizioni al contorno, la cui mancanza tende a frenare l'interesse da parte degli operatori economici.

*Le elaborazioni sono state effettuate con la collaborazione di Francesco Graceva (ENEA - Ufficio di Presidenza).*

## Bibliografia

[1] Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources, (COM) 2008, Bruxelles, 23.01.2008.

[2] Ad J. Seebregts, Gary A. Goldstein, Koen Smekens "Energy/Environmental Modeling with the MARKAL Family of Models" ETSAP, <http://www.etsap.org/reports/markal.html>

[3] "Le nuove fonti rinnovabili per l'energia elettrica in Europa" – Nomisma Energia per GSE – Bologna, Marzo 2007.

[4] M. Contaldi, U. Ciorba, C. Giansante, A. Ronca, G. Tosato "Quantified greenhouse gas emission limitation and reduction objectives within specified time frames" – Economia delle fonti di ener-

gia e dell'ambiente – Fascicolo 2, Volume 40, Anno 1997.

[5] Angeloni M., Contaldi M., Gaudioso D. (a cura di), III National Communication to the UN Framework Convention on Climate Change, Ministero Ambiente, 2003.

[6] J. Andrew Kelly "An Overview of the RAINS model" Environmental Protection Agency 2006, ISBN: 1-84095-208-3, [http://www.epa.ie/downloads/pubs/research/lairlepa\\_overview\\_of\\_rains\\_model\\_erc4.pdf](http://www.epa.ie/downloads/pubs/research/lairlepa_overview_of_rains_model_erc4.pdf)

[7] Rapporto Energia e Ambiente 2007, ENEA, 2008, [http://www.enea.it/produzione\\_scientifica/REA.html](http://www.enea.it/produzione_scientifica/REA.html)

[8] D. Cicolin "MARKAL-TIMES, un Modello Tecnico-economico per lo studio degli Scenari Energetici" – Tesi di Laurea ENEA, 2008.

## Italia e gas: tra dipendenza e problemi geopolitici

\*Laura Gaetana Giuffrida , \*\*Lorenzo Nicolosi

\*ENEA, Ufficio di Presidenza

\*\*Laureato in Scienze Politiche presso la LUISS – Cattedra di politica economica internazionale

*L'offerta di gas in Italia, a causa di fattori critici endogeni ed esogeni, resta insufficiente. Tuttavia, per la sua posizione geografica e morfologica, il nostro Paese potrebbe configurarsi come il maggiore punto di scambio del gas dell'Europa centro meridionale, trasformandosi così da paese a rischio di emergenza ad uno dei maggiori snodi di gas d'Europa*

L'aumento della domanda di energia, l'alto prezzo del greggio sul mercato globale e la necessità di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> stanno portando il gas naturale, più economico e meno inquinante, ad assumere sempre più un ruolo di

primaria importanza nel bilancio energetico mondiale.

L'Europa in particolare dipende dal gas per il 25%<sup>1</sup> del suo fabbisogno energetico complessivo e la Commissione Europea prevede che il consumo di gas raddoppierà nei prossimi 25 anni.

A fronte della crescente importanza che va rivestendo il gas naturale a livello europeo occorre tuttavia rilevare che la produzione interna della risorsa è in forte calo e si prevede che nel 2030 la quota di importazioni dai paesi extracomunitari passerà dall'attuale 55% a circa l'80%. L'Italia conferma questo *trend* a ritmi ancor più accelerati, in quanto la sua produzione nazionale è in continua diminuzione e la dipendenza di gas dall'estero, che oggi si attesta intorno all'87%, è prevista raggiungere il 95% già dal 2015<sup>2</sup>.

Partendo da questo scenario, l'articolo analizza i problemi e i rischi sia endogeni sia esogeni per la sicurezza energetica ita-

## Italy and Gas: Dependence and Geopolitical Problems

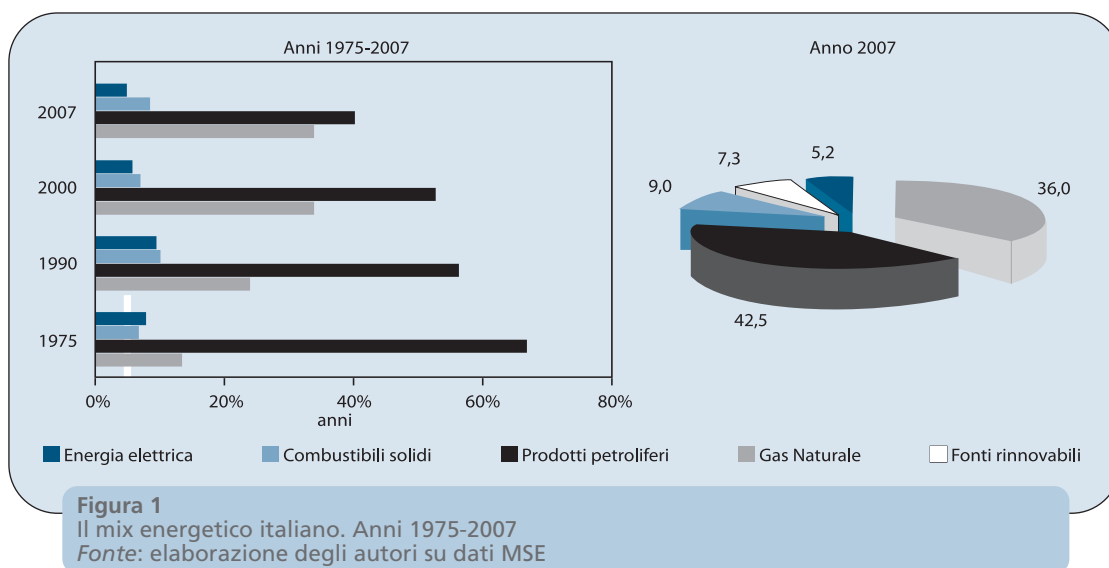
*The increase in world energy demand is making natural gas a leading player, yet its supply in Italy is still insufficient because of internal and external factors of its geopolitical diversification.*

*On the contrary, thanks to its geographical position and morphology our Country could represent the major point of gas exchange in central-southern Europe and transform itself from a country at the risk of emergency into one of the greatest gas hub in Europe*

<sup>1</sup> Il mix energetico europeo delle fonti primarie è composto da: petrolio (37%), gas naturale (25%), combustibili solidi (17%), nucleare (14%) e rinnovabili (7%). Fonte AIE.

<sup>2</sup> Proiezioni MSE-DGERM realizzate in collaborazione con ENEA, CESI-Ricerca e APAT, mediante il modello Markal Italia (scenario di riferimento).





liana, soffermandosi, in particolare, sulle relazioni tra Italia e i due principali paesi di riferimento per la copertura del fabbisogno nazionale di gas: Russia e Algeria.

### Il sistema italiano del gas: struttura e problemi endogeni

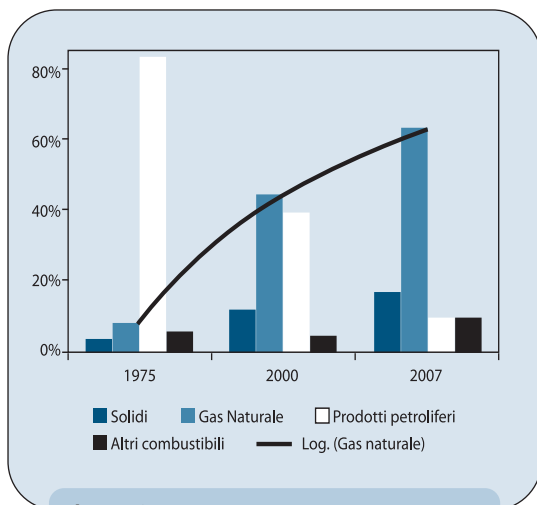
**Il mix energetico: "un paese a tutto gas"**  
Il gas naturale è arrivato attualmente a rappresentare oltre 1/3 del fabbisogno energetico italiano (36%) e, caso unico in tutto il mondo, contribuisce alla generazione elettrica per più del 60%, contro una media del 22% nel resto d'Europa. Se si analizza l'evoluzione del mix energetico dal 1975 al 2007 si osserva come la quota di gas naturale è quasi triplicata mentre quella del petrolio si è ridotta del 60%, rilevando una sostituzione continua del petrolio con il gas naturale, a fronte di un consumo interno lordo totale che è aumentato di circa il 46%, passando da 133 Mtep a 194,5 Mtep (Figura 1). Nel periodo considerato, il consumo interno lordo di gas è cresciuto a un tas-

so annuo di circa il 4%, mentre quello di petrolio è diminuito a un tasso dello 0,4% all'anno.

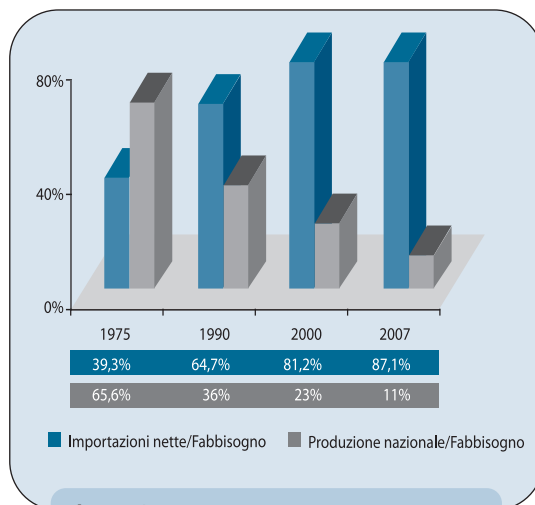
Questa crescita del gas è dovuta soprattutto al suo impiego in sostituzione del petrolio nel settore civile e nella generazione elettrica, dove sta assumendo negli ultimi anni un ruolo dominante rispetto alle altre fonti fossili, soprattutto in virtù dell'installazione di centrali a gas a ciclo combinato di minore impatto ambientale<sup>3</sup>. Dal 2000 al 2007 in particolare il contributo del gas alla produzione di energia elettrica è passato dal 44,4% al 63,3%, mentre la quota dei prodotti petroliferi è scesa dal 39,1% al 9,7% (Figura 2).

Questo sbilanciamento del mix energetico verso il gas ha origini lontane, risalendo al secondo dopoguerra quando l'Eni di Enrico Mattei intuì l'importanza di questa risorsa per lo sviluppo industriale del nord del Paese. L'Italia era infatti dotata di notevoli giacimenti di gas nella Valle del Po, mentre all'opposto era scarsamente dotata di petrolio. Mattei

<sup>3</sup> Circa 2.000MW di centrali CCGT sono entrate in funzione dal 2001 al 2006 con un aumento della produzione di energia elettrica da gas naturale passata da 95 TWh a 158 TWh. Fonte MSE e Snam Rete Gas.



**Figura 2**  
Il contributo delle fonti nel termoelettrico in Italia. Anni 1975-2007  
Fonte: elaborazione degli autori su dati TERNA



**Figura 3**  
La dipendenza energetica di gas dell'Italia. Anni 1975-2007  
Fonte: elaborazione degli autori su dati MSE

seppa trasformare questo "svantaggio" in un punto di forza, tanto che nel 1965 l'Italia disponeva della più estesa rete di distribuzione al mondo dopo gli Stati Uniti e la quota del gas sul totale dei consumi energetici finali raggiungeva già il 10%, a fronte di una nascente industria del gas negli altri paesi europei. Negli anni 80, le crisi petrolifere e il referendum abrogativo sul nucleare hanno dato un ulteriore impulso all'espansione dei consumi finali di gas naturale, che arrivano oggi a costituire il 30% dei consumi complessivi di energia.

**L'approvvigionamento: un paese fortemente dipendente dalle importazioni**

La struttura dell'offerta di gas ha subito dei forti cambiamenti nel corso degli anni: la quota preponderante è oggi costituita

dalle importazioni a fronte di una produzione nazionale in continua diminuzione dal 1994 per il progressivo esaurimento di alcuni giacimenti, non rimpiazzato dall'avvio in produzione di altri campi<sup>4</sup>. Nel 2007 la produzione di gas naturale è stata di 9,6 miliardi m<sup>3</sup> (Gm<sup>3</sup>), mentre le importazioni sono state pari a 74 Gm<sup>3</sup>.

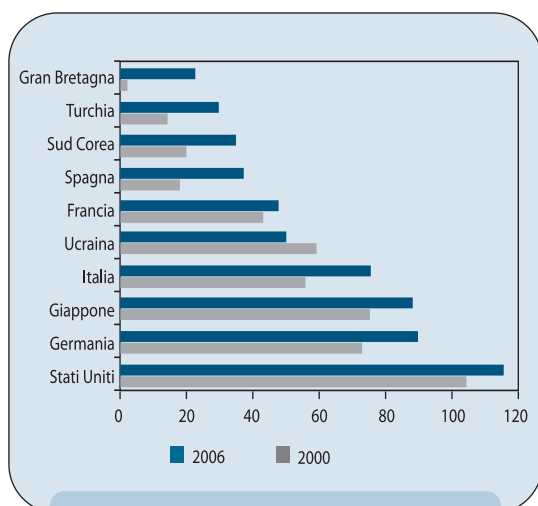
La dipendenza estera, espressa in termini di importazioni nette rapportate al fabbisogno nazionale di gas (84,9 Gm<sup>3</sup>)<sup>5</sup>, ha ormai raggiunto l'87% mentre la quota della produzione è scesa all'11% (Figura 3). L'Italia, nello scenario energetico internazionale, si colloca oggi al quarto posto per quanto riguarda le importazioni di gas naturale con circa il 9% di importazioni mondiali<sup>6</sup> (Figura 4).

L'attuale sistema di approvvigionamento dall'estero è costituito da quattro gasdotti principali (87% del totale delle

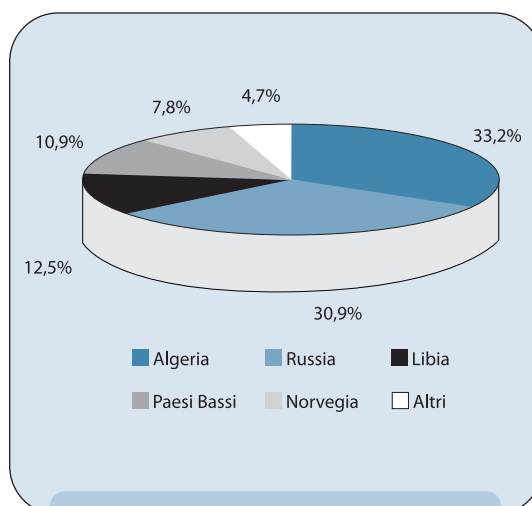
<sup>4</sup> La contrazione della produzione va messa in relazione con il declino dei giacimenti off-shore, dai quali proviene circa il 75% della produzione italiana. La sola "zona A" dell'Adriatico settentrionale copre, oggi, il 53% dell'intera produzione di gas. A terra, invece, i principali giacimenti si trovano in Basilicata, Puglia, Sicilia, Emilia Romagna, Molise, Marche e Abruzzo.

<sup>5</sup> Al netto della variazione delle scorte.

<sup>6</sup> Word Oil and Gas Review 2008 – Eni.



**Figura 4**  
Importazioni di gas - Primi dieci paesi nel mondo - (Miliardi di metri cubi)  
Fonte: Eni



**Figura 5**  
Importazioni di gas in Italia secondo la provenienza. Anno 2007  
Fonte: Ministero dello Sviluppo Economico

importazioni via gasdotto) e un solo rigassificatore; i due principali fornitori sono l'Algeria e la Russia, che assicurano oltre il 60% del totale delle importazioni, rispettivamente il 33,2% (24,6 Gm<sup>3</sup>) il primo e il 30,9% (22,9 Gm<sup>3</sup>) il secondo. Le importazioni dai paesi del Nord Europa rappresentano circa il 18,7% del totale: trattasi delle importazioni dai Paesi Bassi, con una quota del 10,9% (8,0 Gm<sup>3</sup>), e di quelle dalla Norvegia, con una quota del 7,8% (5,7 Gm<sup>3</sup>). Le importazioni dalla Libia, terminata la fase di *build up* del gasdotto libico, hanno raggiunto quota 12,5% (9,2 Gm<sup>3</sup>), incrementando ulteriormente il loro apporto al sistema nazionale (Figura 5).

Data la ciclicità tipica della domanda (in inverno più alta e in estate più bassa), oltre alla produzione nazionale e alle importazioni, un ruolo fondamentale nella struttura dell'approvvigionamento è giocato dagli stoccaggi, ovvero le riserve, che permettono il bilanciamento fisico tra domanda e offerta, garantendo la sicurezza energetica e la flessibilità del sistema.

Gli stoccaggi si dividono in *working gas*, erogabile, e *cushion gas*, non erogabile.

Il *working gas* rappresenta circa 12,8 Gm<sup>3</sup> e si divide a sua volta in stoccaggio strategico e di modulazione: il primo rappresenta la scorta di gas, pari a 5,1 Gm<sup>3</sup>, permanentemente tenuta nel sottosuolo e da utilizzare in caso di gravi problemi di approvvigionamento o in caso di inverni eccezionalmente freddi; il secondo, pari a circa 7,7 miliardi di m<sup>3</sup>, è finalizzato a soddisfare la modulazione dell'andamento giornaliero, stagionale e di punta dei consumi.

La capacità del sistema di stoccaggio di far fronte ai fabbisogni energetici può incontrare sia un limite legato alla capacità complessiva annuale, sia un limite di capacità di punta giornaliera, ossia un'insufficienza della velocità con cui il gas può essere estratto dai depositi, che raggiunge un massimo di circa 252 milioni di m<sup>3</sup> al giorno, ma tende a diminuire nel corso dell'inverno in parallelo con il progressivo smaltimento delle quantità stoccate.

#### *L'emergenza gas e le sue cause*

La struttura rigida dell'offerta nazionale, costituita in maniera preponderante

da importazioni via gasdotto da un lato, e il continuo e rapido evolversi della domanda di gas dall'altro, hanno determinato nel tempo una "situazione di emergenza gas" che nel 2004, per la prima volta, si è manifestata in tutta la sua gravità.

Per emergenza gas, secondo l'Autorità per l'energia elettrica e il gas (AEEG), si deve intendere una situazione di difficoltà per la carenza di gas che riguarda la sicurezza delle forniture sotto due aspetti:

- *aspetto quantitativo*: l'offerta di gas è insufficiente a coprire la domanda;
- *aspetto qualitativo*: la diversificazione dei mercati di approvvigionamento di gas è insufficiente e ciò comporta un elevato rischio geopolitico.

Sotto il primo aspetto, un indicatore della gravità della situazione vissuta negli inverni 2004/2005 e 2005/2006 è fornita dai quantitativi di gas che furono prelevati dallo stoccaggio strategico: rispettivamente 800 milioni di m<sup>3</sup> erogati nell'inverno 2004/2005 e 1,2 miliardi di m<sup>3</sup> in quello 2005/2006.

Le cause che hanno determinato questa crisi nel bilanciamento tra offerta e domanda sono da ricondurre principalmente alle difficoltà di ampliare l'offerta attraverso la realizzazione di nuove infrastrutture.

Un fattore determinante in questo senso è rappresentato dal decentramento amministrativo in materia energetica. Dopo il sostanziale abbandono della programmazione nazionale dell'energia (che ha coperto un arco temporale di venticinque anni e si esprimeva nei Piani energetici nazionali – PEN) e sotto la

spinta delle "leggi Bassanini"<sup>7</sup> sul decentramento amministrativo (che ha determinato un ampliamento notevole delle competenze regionali in materia energetica, riservando allo Stato i soli compiti di interesse nazionale), si è arrivati alla riforma in senso federalistico del Titolo V della Parte Seconda della Costituzione<sup>8</sup> che ha attribuito alle Regioni la competenza concorrente in materia di energia. Queste disposizioni determinano la necessità di un accordo tra Stato e Regioni che genera una serie di problemi connessi all'esito e alla durata degli iter autorizzativi. Il clima di incertezza che ne è derivato ha limitato gli investimenti nel settore energetico.

Ad aggravare questa situazione si aggiunge poi il cosiddetto effetto NIMBY (Not In My Back Yard – Non nel mio giardino), ovvero un atteggiamento di opposizione da parte delle comunità locali nei confronti della costruzione di opere nel proprio territorio che, sovente, nasce quando i progetti sono ancora in fase embrionale. La contestazione non si dirige necessariamente all'impianto in sé: infatti gli oppositori non mettono in dubbio l'utilità dell'opera contestata, ma si limitano a chiedere che venga localizzata in altro luogo. Gli iter autorizzativi vengono bloccati dai ricorsi che si susseguono per anni generando, anche in questo caso, incertezze sia nei tempi sia nei costi degli investimenti.

Soprattutto preoccupante è la situazione riguardo allo sfruttamento di nuove riserve di gas naturale.

La complessità delle procedure di autorizzazione e la forte opposizione locale (che spesso demonizza le attività di ri-

<sup>7</sup> Si è trattato di una serie di provvedimenti normativi concatenati, avviata dalla legge n. 59 del 1997, proseguita dalla legge n. 127/1997 e completata da vari decreti legislativi di attuazione che avevano realizzato una poderosa opera di decentramento amministrativo, di conferimento di funzioni e compiti amministrativi dallo Stato alle Regioni ed agli Enti locali, finalizzata ad instaurare il cosiddetto "federalismo amministrativo", ossia il massimo di federalismo possibile a Costituzione invariata.

<sup>8</sup> Legge cost. 3 del 2001.

cerca come incompatibili con le attività turistiche), hanno portato la maggior parte delle compagnie internazionali ad abbandonare l'esplorazione in Italia, ed anche lo sfruttamento delle risorse individuate appare difficoltoso<sup>9</sup>.

Un ulteriore fattore problematico per l'ampliamento dell'offerta di gas naturale è connesso al processo di liberalizzazione del settore gas che risulta ancora profondamente incompleto, in virtù del forte peso dell'operatore dominante che rende poco liquido e scarsamente competitivo il mercato<sup>10</sup>. La mancata separazione degli interessi dell'offerta dalla gestione delle reti di trasporto, non consentendo l'ingresso di nuovi concorrenti nel mercato, ha distorto gli incentivi allo sviluppo delle infrastrutture e generato problemi di sicurezza degli approvvigionamenti.

Il canale d'importazione, con la produzione nazionale in calo, è diventato il percorso principale per l'ingresso di nuove imprese nel mercato nazionale del gas naturale e, quindi, le difficoltà d'ingresso sono strettamente legate alla situazione geopolitica degli approvvigionamenti: oltre il 70% del gas naturale importato proviene da paesi produttori che non appartengono all'Unione Europea. L'attuale struttura delle importazioni è stata costruita nella fase pre-liberalizzazione attraverso contratti a lungo termine che prevedono l'utilizzo delle infrastrutture per l'intera capacità, con l'obiettivo di fornire le garanzie commerciali per gli investimenti necessari. In base ai dati forniti dagli operatori nell'ambito dell'inda-

gine annuale dell'AEEG, infatti, i contratti storici pluriennali sono ancora prevalenti<sup>11</sup> e, tra questi, l'Eni è il principale importatore con i grandi contratti per forniture da Algeria, Russia, Mare del Nord. Tale corrispondenza biunivoca tra contratti di approvvigionamento e infrastrutture d'importazione costituisce uno degli elementi caratterizzanti del modello di concorrenza nel mercato del gas e, allo stesso tempo, uno degli elementi di maggiore rigidità per l'ingresso di nuovi operatori. Questa situazione blocca di fatto la concorrenza lasciando ogni iniziativa nelle mani dell'operatore dominante.

Considerando i fattori finora illustrati, il Ministero dello Sviluppo Economico (MSE) divide, riassumendole, le cause responsabili delle passate emergenze gas tra strutturali e contingenti.

Le cause strutturali sono la conseguenza dei seguenti fattori:

- a) il forte aumento della domanda di gas del settore termoelettrico dovuto alla attuale consistenza della potenza elettrica in gruppi di produzione alimentati a gas;
- b) il non sufficiente aumento della capacità di approvvigionamento di gas dall'estero a fronte dell'aumento della domanda;
- c) il limitato incremento delle capacità di stoccaggio di gas, attualmente insufficienti per rispondere alla domanda complessiva del sistema energetico;
- d) il progressivo calo della produzione nazionale di gas per via dell'esaurimento dei giacimenti in coltivazione e della mancanza di nuove iniziative

<sup>9</sup> I tempi medi fra l'inizio dell'esplorazione e, in caso di scoperta commerciale, l'inizio della produzione sono aumentati da 90 a oltre 130 mesi, con un rialzo dei costi pari a circa il 20%. Fonte Associazione Assomineraria.

<sup>10</sup> Nonostante la direttiva europea in materia (Direttiva 98/30/CE) prevedesse la liberalizzazione del mercato già dal 2007, l'Eni ha ancora il 49,7% della vendita, il 30% delle distribuzioni, il 99% del trasporto, il 100% dell'abduzione, l'84% della produzione e l'82% dell'import.

<sup>11</sup> Considerando i volumi contrattualizzati nel 2006 secondo la durata intera, i contratti di durata ultra trentennale pesano per il 44% sul totale, seguiti dai contratti con una durata compresa tra 20 e 25 anni (20%) e da quelli con durata tra 15 e 20 anni (13%).

di estrazione per nuovi apporti, anche in conseguenza di sempre maggiori difficoltà burocratiche e operative a livello locale che scoraggiano gli investimenti.

Le cause contingenti, nel caso in cui si presentino, si sovrappongono alla situazione di base peggiorandone lo scenario complessivo, in particolare originando rischi di momentanea carenza di copertura della domanda di punta in condizioni eccezionali. Tali cause, che nei passati inverni hanno dato origine alle note situazioni di emergenza, sono state:

- a) per l'ultimo periodo dell'inverno 2004/2005 e per tutto l'inverno 2005/2006, il freddo registrato, costantemente superiore alla media degli ultimi 20 anni;
- b) le limitazioni alla produzione idroelettrica a causa di scarsi apporti naturali e talvolta per i bacini ghiacciati nei periodi di maggior freddo;
- c) le riduzioni delle forniture di gas dall'estero che si sono verificate nel gennaio 2006 a causa della crisi Russia-Ucraina.

### Dipendenza dal gas e geopolitica: i rischi esogeni

Alla luce del fatto che la quota di importazioni fornita al nostro Paese è scarsamente diversificata dal punto di vista geografico, provenendo per circa il 64,1% da due soli paesi, Russia e Algeria, è importante soffermarsi sul forte legame tra la sicurezza energetica dei paesi importatori e le politiche energetiche dei paesi fornitori.

*La Russia: un fornitore affidabile?* Il taglio delle forniture del gas russo all'Ucraina nel gennaio 2006 a seguito di una disputa sui prezzi, ha provocato una gra-

ve crisi per l'approvvigionamento energetico di molti paesi e ha notevolmente modificato la percezione della sicurezza energetica europea.

La maggior parte dei media e molti osservatori internazionali hanno letto il rialzo nei prezzi del gas russo come il cambiamento della dottrina geopolitica sovietico-imperiale fondata sul prioritario sviluppo del complesso militare-industriale verso un nuovo progetto di potenza in campo internazionale basato sull'uso strumentale delle compagnie nazionali degli idrocarburi<sup>12</sup>.

Una delle principali motivazioni alla base di questo pensiero è la presunta "dipendenza asimmetrica"<sup>13</sup>. Questa argomentazione si basa sul fatto che la rigidità tipica dell'approvvigionamento di gas naturale tramite gasdotti non offre pressoché alcuna possibilità di cambiare fornitore; pertanto, un'interruzione delle forniture avrebbe pesanti conseguenze sui paesi consumatori.

Ma a ben vedere la dipendenza tra l'Europa e la Russia è in realtà una dipendenza biunivoca perché né il fornitore né il cliente possono cambiare partner.

Una discontinuità delle forniture si rileva pertanto dannosa per entrambe le parti. Se è vero che la UE dipende dal gas e dalle infrastrutture russe per soddisfare il 30% del suo fabbisogno energetico in gas naturale, è anche vero che la dipendenza dalla UE per l'export del suo gas è ben maggiore per la Russia visto che la UE assorbe circa l'80% del totale, assicurando così una buona parte del budget della federazione.

L'economia russa è infatti fortemente basata sul settore degli idrocarburi, che rappresenta il 20,5% del PIL, il 60% delle entrate dell'export (64% nel 2007) e il

<sup>12</sup> Il bilancio geoeconomico della grande guerra del gas, Istituto per la strategia nazionale di Mosca, 20/02/2006.

<sup>13</sup> Gots, R. Il gas russo e la sicurezza energetica in Europa. Energia, n. 4, anno 2007.



30% degli investimenti diretti esteri (Ide)<sup>14</sup>.

Uno studio del Fondo Monetario Internazionale<sup>15</sup> dimostra come l'aumento di 1\$ nel prezzo del petrolio farebbe aumentare il PIL dello 0,34%, producendo entrate per 3,4 miliardi di \$.

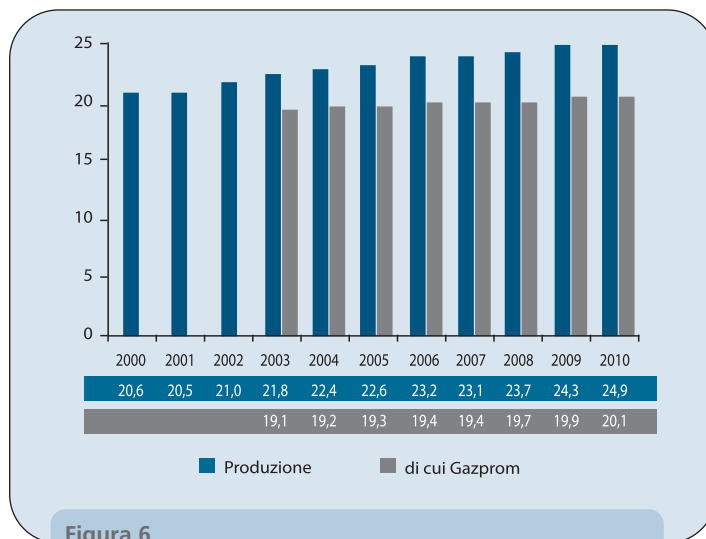
Lo stesso vale per la contrazione del prezzo che viceversa andrebbe a diminuire le entrate delle casse federali.

Occorre inoltre considerare la profonda interdipendenza economica della Russia con l'Europa che ne rappresenta il partner commerciale di maggiore rilievo secondo l'Istituto Nazionale per il Commercio Estero (ICE). L'Italia in particolare è il secondo partner della Federazione per interscambi.

A fronte di questi dati, e considerando l'importanza dell'Italia come socio strategico della Russia nel settore energetico già dagli anni 60 e come fornitore di beni strumentali necessari allo sviluppo industriale del paese, si può concludere che i rischi di un'interruzione volontaria delle forniture energetiche per il nostro Paese sono alquanto improbabili.

#### *Il vero rischio per la sicurezza energetica*

Molti autorevoli pareri<sup>16</sup>, tra cui quello dell'Information Energy Administration (EIA)<sup>17</sup>, sono d'accordo invece nel ritenere che il vero rischio per la sicurezza energetica è rappresentato dalla possibilità che nel medio lungo periodo la Russia non riesca più ad onorare i contratti di fornitura verso i suoi clienti.



**Figura 6**  
Produzione di gas naturale in Russia. Anni 2000-2010 - (Trilioni di piedi cubi)  
Fonte: previsioni AIE e AIE International Energy Outlook, 2008

A fronte del continuo aumento della domanda europea, i livelli produttivi della Russia presentano bassi tassi di crescita (dal 1995 al 2007 la produzione nazionale è cresciuta ad un tasso medio annuo dello 0,9%) e la produzione di gas imputabile a Gazprom (84% del totale) è pressoché costante dal 2003 (intorno a 19 trilioni di piedi cubi<sup>18</sup> di gas) (Figura 6).

Dal 2005 al 2006 la produzione dei tre maggiori giacimenti<sup>19</sup> sfruttati da Gazprom è diminuita del 4% (430 miliardi di piedi cubi) in quanto trattasi di "giacimenti maturi", che hanno già raggiunto il loro picco di produzione.

A ciò va aggiunto che i consumi energe-

<sup>14</sup> Stime IMF e World Bank Russian economic report December 2006.

[http://ns.worldbank.org.ru/files/rer/RER\\_13\\_eng.pdf](http://ns.worldbank.org.ru/files/rer/RER_13_eng.pdf)

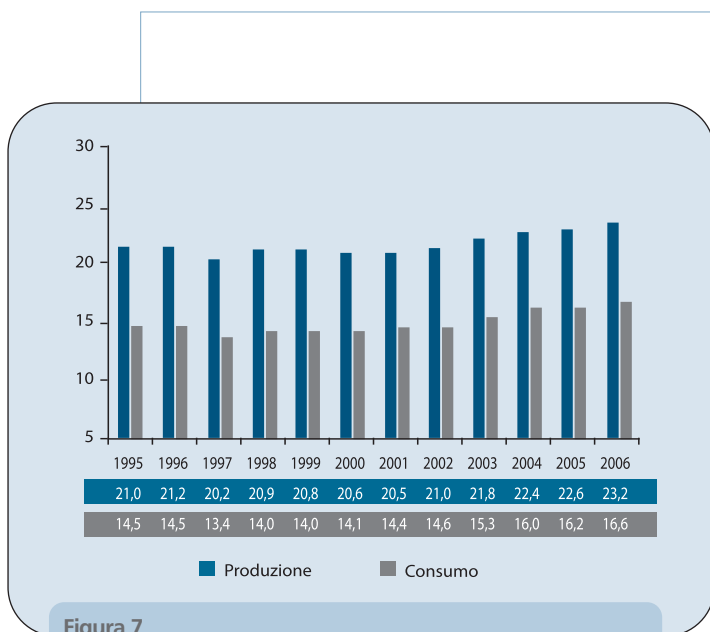
<sup>15</sup> <http://www.imf.org/external/pubs/ft/wpl/2005/wpl05241.pdf>

<sup>16</sup> A. Monaghan, Russia-EU Relations: an Emerging Energy Security Dilemma, in "Pro et Contra", Vol. 10, Issue 2-3, Carnegie Moscow Centre, 2006; C. Van der Linde, Natural gas supply for the EU in the short to medium term. Clingendael International Energy Programme, The Hague, The Clingendael Institute, 2004; D. Johnson, 2005; A. Monaghan, L. Montanaro-Jankovski, EU-Russia energy relations: the need for active engagement, EPC Issue Paper 45, Brussels, European Policy Centre, 2006.

<sup>17</sup> Russia Country Analysis Brief. EIA, 2008.

<sup>18</sup> 1 piede cubo = 0,02832 m<sup>3</sup>.

<sup>19</sup> Komsomolskoye, Medvezhye, Urengoykoye.



**Figura 7**  
Produzione e consumo di gas naturale in Russia. Anni 1995-2006 - (Trilioni di piedi cubi)  
Fonte: elaborazione AIE su dati IHS Energy

tici di gas in Russia aumentano più velocemente rispetto alla produzione di gas e negli ultimi quattro anni sono in forte ripresa, registrando un tasso medio annuo di crescita del 3,3%<sup>20</sup> (Figura 7).

L'incerto clima istituzionale e la mancanza di un adeguato grado di certezza giuridica, oltre al forte intervento dello stato nel settore energetico, hanno fortemente limitato gli investimenti esteri, fondamentali per lo sviluppo di nuovi giacimenti. Tuttavia, negli ultimi anni si rileva una inversione di tendenza dovuta all'apertura di alcuni progetti ritenuti strategici dal governo russo alle compagnie energetiche straniere, tramite *joint venture* con quelle nazionali. Tale inversione è accompagnata da un miglioramento del *rating* sovrano all'interno dell'*investment grade* da parte delle maggiori Agenzie (Standard & Poor's, Fitch e Moody's), che fa ben sperare in più favorevoli condizioni per gli investitori esteri nel settore energetico.

<sup>20</sup> La Russia (insieme al Canada) è il paese con il maggior consumo pro capite di gas con 3.058 metri cubi, dovuto all'ampio ricorso per la produzione congiunta di elettricità e calore.

### L'Algeria: un partner affidabile

A differenza della Russia l'Algeria, nonostante negli anni 90 sia stata teatro di una sanguinosa guerra civile tra le forze governative e gli integralisti islamici all'opposizione, non viene percepita come un fornitore a rischio per la sicurezza energetica italiana ed europea. L'importanza che riveste l'esportazione degli idrocarburi per l'economia del paese e l'interdipendenza commerciale ed economica con i paesi europei, fanno dell'Algeria un partner affidabile sia nel settore energetico che in quello commerciale.

Particolare importanza in questo senso riveste la scelta di collaborare con l'Italia negli anni 70 alla costruzione di un gasdotto che connettesse le riserve algerine con la penisola, aprendo la strada per il mercato europeo centro meridionale. Questa scelta ha portato a una forte integrazione economica tra i due paesi, tanto che oggi l'Italia rappresenta il secondo importatore e il secondo esportatore per il commercio algerino.

Il governo italiano, anche con l'Algeria come con la Russia, tende ad incrementare le relazioni commerciali nel settore energetico ed in quello dei beni strumentali. Per quanto riguarda il primo, di rilevante importanza è il progetto di costruzione del Galsi, un metanodotto che collegherà direttamente i due paesi passando per la Sardegna, mentre per il secondo l'Italia esporta per lo più macchinari che, unitamente alle materie prime e ai semilavorati destinati all'industria, sono diretti ai principali settori produttivi del paese.

L'Algeria rappresenta quindi un partner commerciale più che solido per l'Italia, configurandosi come un paese importante nel bacino sud del Mediterraneo con il quale mettere in atto collaborazioni strategiche che, in particolare nel

settore energetico, potrebbero portare allo sviluppo di un'importante via per il mercato del gas che veda come principale canale di transito e scambio l'Italia. In sostanza, sia l'Algeria che l'Italia hanno interesse ad aumentare la loro influenza sul mercato europeo del gas nel lungo periodo: la prima conquistando settori di mercato sempre più vasti; la seconda sfruttando la sua posizione strategica di ponte sul Mediterraneo per aumentare i flussi di gas in transito sul suo territorio.

### Come uscire dall'emergenza gas: prospettive future

#### *Come fronteggiare le emergenze gas dovute a fattori contingenti*

Per fronteggiare i fattori contingenti (interruzione delle forniture, freddo intenso ecc.) il MSE ha istituito già dal 2001 un Comitato di emergenza e monitoraggio del sistema gas<sup>21</sup> con il compito di varare e aggiornare i piani di emergenza del sistema del gas con misure adeguate per fronteggiare le crisi di bilanciamento tra domanda e offerta.

In particolare, la nuova procedura prevede l'adozione, in caso di emergenza, di misure preventive e anticipative secondo una progressione di cinque fasi. Per l'emergenza gas del 2005/2006 è stata necessaria l'attivazione di tutte e cinque le fasi che sono:

**prima fase:** obbligo per gli operatori di massimizzazione delle importazioni di gas naturale e della produzione nazionale;

**seconda fase:** attivazione del distacco clienti con contratto fornitura interrompibile;

**terza fase:** attivazione del passaggio a olio combustibile di impianti industriali e termoelettrici;

**quarta fase:** informazione alle Prefetture della Repubblica per il rispetto dei limiti esistenti per le temperature dell'aria negli ambienti e la durata massima giornaliera del riscaldamento, e attivazione di una campagna nazionale per il risparmio energetico, segnatamente del gas naturale;

**quinta fase:** incentivazione dell'offerta di ulteriore interrompibilità da parte degli utenti del settore industriale; abbassamento delle temperature degli ambienti interni di 1 °C e riduzione di un'ora della durata massima giornaliera del riscaldamento; obbligo di esercizio degli impianti termoelettrici a olio combustibile accompagnato da deroghe ambientali alle emissioni; direttive ai produttori di gas in giacimenti nazionali per l'incremento della produzione oltre i limiti operativi normali; direttive all'impresa maggiore di stoccaggio (Stogit SpA), per la gestione degli stoccaggi in riserva strategica, anche mediante la temporanea riduzione della pressione di parti della rete di trasporto.

Complessivamente la manovra di emergenza nel 2006 comportò un risparmio stimabile in 2,1 miliardi di metri cubi di gas.

Tuttavia, se si tiene conto delle previsioni di aumento della domanda di gas nei prossimi anni (oltre 100 Gm<sup>3</sup> nel 2015<sup>22</sup>) e del progressivo calo della produzione nazionale (circa 6 Gm<sup>3</sup> nel 2015) ci si rende conto che il problema del bilanciamento tra domanda e offerta di gas non farà che aggravarsi e che, andando avanti negli anni, le misure di emergen-

<sup>21</sup> Istituito con Decreto del Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato del 26 settembre 2001.

<sup>22</sup> Su questo aspetto si registrano opinioni diverse per il medio termine, mentre per il breve vi è sostanziale accordo nel ritenere che la domanda passi dagli 84,9 Gm<sup>3</sup> del 2007 a circa 100 Gm<sup>3</sup> nel 2015, di cui circa il 95% importati in relazione alla persistente flessione della produzione nazionale.

za appena viste non saranno più sufficienti per affrontare le crisi. Per garantire la sicurezza degli approvvigionamenti sono necessari anche interventi di tipo strutturale mirati ad aumentare la capacità di importazione, favorendo nel contempo le possibilità di accesso al mercato a nuovi operatori attraverso un adeguato processo di liberalizzazione. Su questo fronte il MSE ha promosso e sta seguendo una serie di progetti<sup>23</sup> che nei prossimi anni permetteranno al Paese di uscire dalla fase di criticità. In primis il potenziamento dei gasdotti esistenti, poi la costruzione di quattro nuovi gasdotti di importazione: il Galsi dall'Algeria, l'IGI di interconnessione tra Italia, Grecia e Turchia per l'importazione dalla zona del Caspio, il South Stream dalla Russia passando per il Mar Nero e il Trans Adriatic Pipeline (TAP) che, attraverso l'Albania e il Mare Adriatico, collegherebbe l'Italia alle produzioni medio-orientali o a interconnessioni con altri gasdotti di adduzione dalla Russia, dall'area del Caspio e dall'Iran, prevedendo al contempo l'attraversamento e il rilascio di una quota di gas in Albania. È prevista inoltre la messa in opera di due impianti di rigassificazione: il terminale GNL offshore di Rovigo<sup>24</sup> e il Toscana LNG offshore, previsto al largo della costa di Livorno. È previsto anche l'ampliamento della capacità di stoccaggio

che riveste un ruolo strategico per garantire la sicurezza degli approvvigionamenti.

Il MSE prevede che entro il 2008-2009 sarà disponibile una nuova capacità di importazione per circa 21 miliardi di m<sup>3</sup> annui (13 tramite gasdotti e 8 tramite GNL), mentre ulteriori capacità di importazione saranno disponibili al 2012 (circa 19 miliardi di m<sup>3</sup> annui) insieme a nuovi stoccaggi.

#### *Come ridurre i rischi esogeni: il GNL come mezzo di diversificazione*

Rimane tuttavia insufficiente la diversificazione geografica della provenienza delle fonti di approvvigionamento.

A tal fine una soluzione per diversificare la provenienza del gas è rappresentato dal mercato del Gas Naturale Liquefatto (GNL).

Numerosi studi<sup>25</sup> dimostrano come la riduzione dei costi della filiera dovuta allo sviluppo tecnologico e alle economie di scala abbia reso il GNL più competitivo dei metanodotti per distanze superiori ai 2.000 km. Ciò ha reso economicamente vantaggioso lo sfruttamento di giacimenti che precedentemente non venivano adoperati. In particolare, il mercato del GNL sta producendo una progressiva deregionalizzazione<sup>26</sup> del mercato del gas naturale portandolo a dividersi in due grandi bacini: il bacino

<sup>23</sup> P. Bersani, Ministro dello Sviluppo Economico, Audizione parlamentare in X Commissione. Roma, 2 ottobre 2007.

<sup>24</sup> Inaugurato il 20 settembre 2008, entrerà in funzione a partire dal 2009, dopo la realizzazione delle strutture di ormeggio e il collegamento con il metanodotto che porterà il gas sulla terraferma.

<sup>25</sup> Per citarne alcuni: Gruppo di lavoro SSC "filiera GNL". Stazione sperimentale per i combustibili, novembre 2006; Security of gas supply in open markets. IEA 2004; Comparative economy of LNG and pipelines in gas transmission, Hiroki Hokimi, Osaka gas Co. Ltd, Japan, World Gas conference 2003, Tokyo.

[http://www.igu.org/html/wgc2003/WGC\\_pdffiles/10392\\_1045815366\\_9772\\_1.pdf](http://www.igu.org/html/wgc2003/WGC_pdffiles/10392_1045815366_9772_1.pdf); The global liquefied natural gas market: status & outlook, EIA (Energy Information Administration) December 2003.

<sup>26</sup> Attualmente, a causa della rigidità della filiera del gas naturale che rende diseconomico il trasporto su lunghe distanze, si possono individuare tre distinti mercati corrispondenti a tre zone geografiche del pianeta: il mercato russo-europeo; il mercato asiatico e il mercato americano.

atlantico e il bacino pacifico. Tra i due bacini si collocano le più grandi riserve mondiali di gas (Siberia, Asia Centrale e Golfo Persico). In questo contesto i paesi del Golfo Persico, oltre a rappresentare per i paesi consumatori una valida alternativa rispetto alla Russia e ai paesi del Caspio, si trovano in una posizione geograficamente strategica in quanto possono accedere ai mercati di entrambi i bacini senza dover sostenere costi di trasporto troppo elevati. Essi dispongono inoltre di grandi riserve non ancora messe in produzione.

Un altro fattore che contribuirebbe ad aumentare la sicurezza e la diversificazione degli approvvigionamenti è l'aumento di flessibilità che si sta sviluppando nel mercato del GNL.

Questo fattore permetterebbe infatti di fronteggiare più facilmente le emergenze in quanto renderebbe possibile sfruttare le strutture di rigassificazione per carichi spot<sup>27</sup> che, nell'arco di poche settimane, potrebbero apportare il gas necessario per coprire eventuali deficit e soddisfare così il fabbisogno.

### Conclusioni: verso uno snodo strategico del gas?

La politica che il MSE sta attuando per uscire dal rischio di emergenza gas (aumento delle infrastrutture e sviluppo del processo di liberalizzazione) è in linea con quella dell'Unione Europea.

Questa infatti individua nel mercato interno dell'energia lo strumento indi-

ispensabile per raggiungere la diversificazione, la competitività del mercato e di conseguenza la sicurezza energetica<sup>28</sup>.

Il continuo aumento della domanda di gas in Europa porta a credere che, se si dovesse realizzare questo obiettivo, per l'Italia si configurerebbe la possibilità di diventare il maggiore punto di scambio del gas dell'Europa centro-meridionale. Questo per via della posizione geografica e della morfologia, che fanno del nostro Paese un punto di ricezione dei metanodotti provenienti da diverse aree geografiche ricche di riserve di gas naturale, tanto che l'IEA menziona l'Italia tra i possibili punti di scambio futuri del gas in Europa<sup>29</sup>.

Per un verso infatti l'Italia rappresenta un ponte di transito per i metanodotti che partono dall'Africa settentrionale e attraversano il Mediterraneo, per un altro può essere meta di metanodotti che, partendo dai paesi del Caspio, passano per il Mar Nero e/o per la Turchia e i paesi balcanici, per un altro ancora è raggiunta dai metanodotti che partono dalla Russia.

In Europa, in un mercato del gas liberalizzato, se il nostro Paese riuscisse a dotarsi di un *surplus* di gas rispetto al fabbisogno interno, comprendente sia il margine necessario a garantire la sicurezza del sistema sia una quota per le esportazioni, si potrebbe dare il via ad un'inversione radicale della situazione attuale che vedrebbe l'Italia trasformarsi da paese a rischio di emergenza a uno dei maggiori snodi di gas d'Europa.

<sup>27</sup> I carichi spot sono i quantitativi di gas che vengono scambiati nel mercato spot ovvero il mercato fisico di contratti a breve termine, caratterizzati da pagamenti e consegna a pronti o comunque ritardati al massimo di qualche settimana.

<sup>28</sup> "Una politica energetica per l'Europa" (COM (2007)1).

<sup>29</sup> IEA, OECD/IEA 2004.



## Parole di pietra: la vita dell'antica Roma raccontata dalle epigrafi della via Appia

Marina Bertinetti \*, Luciana Bordoni \*\*

\*Soprintendenza Archeologica di Roma

\*\*ENEA - Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali

*Un sistema informatico, a disposizione di tutti, è stato messo a punto da ENEA e Soprintendenza Archeologica di Roma per comprendere meglio le epigrafi dell'Antica Via Appia*

Parole di Pietra è un itinerario virtuale, nato dalla collaborazione tra la Soprintendenza Archeologica di Roma e l'ENEA, con l'intento di avvicinare il pubblico alla conoscenza del mondo antico. Costituisce un tentativo di descrizione di un percorso di scambio e assimilazione culturale attraverso l'esame di documenti archeologici, l'approfondimento dei temi storici e sociali in cui essi si inseriscono e la ricostruzione della loro interazione con il territorio.

In questo viaggio si percorre la via Appia, analizzando una selezione di epigrafi provenienti dal suo tratto urbano, compreso tra Porta Capena ed il Grande Raccordo Anulare.

Il sistema informatico, realizzato dall'ENEA, rende possibile la comprensione dei molteplici significati di cui sono investiti i documenti epigrafici, e, allo stesso tempo, illustra ancora una volta l'importanza della Via Appia, simbolo e testimonianza eccellente del mondo romano.

Le diverse sfaccettature dei reperti toccati dal nostro percorso sono fruibili grazie all'ausilio di questo strumento informatico fruibile da Web; ogni epigrafe, consultabile direttamente, è tradotta in italiano, spiegata con un commento e corredata da una o più fotografie a colori. Le iscrizioni sono state integrate da commenti che costituiscono gli approfondimenti di carattere storico - archeologico, sociale e tecnico, anch'essi corredati da immagini che ne rendono più vivido il contenuto.

La presenza di una carta tematica consente non solo di visualizzare le epigrafi nel loro contesto originario, ma costituisce anche un valido supporto alle valutazioni ed agli interventi di riqualificazione dell'area, di gestione e di valorizzazione del patrimonio artistico.

## Stone Words: Life in Ancient Rome Told by Epigraphs of the Appia Road

*A software information system at anyone's disposal has been set up by ENEA and Soprintendenza Archeologica di Roma to better understand the epigraphs located along the Ancient Appia Road*





## L'epigrafia questa sconosciuta

È importante per chi opera in un ambito generalmente e genericamente considerato *d'élite* riuscire ad ampliare le forme di valorizzazione delle risorse culturali utilizzando metodologie e strumenti innovativi in grado di facilitare la divulgazione di informazioni storico archeologiche, mantenendo la correttezza scientifica che la disciplina archeologica comunque presuppone e richiede.

La necessità di ulteriori forme di comunicazione culturale è particolarmente sentita da chi, all'interno dell'Archeologia, opera nel contesto più specialistico della Disciplina Epigrafica, per coloro cioè che studiano la realtà antica attraverso i documenti iscritti: essi conoscono bene le potenzialità che questi testi hanno per la conoscenza della società che li produce, e l'immediatezza della loro comunicazione, ma sono anche pienamente consapevoli della difficoltà, per i non addetti ai lavori, di cogliere realmente il significato del documento epigrafico al di là della mera lettura dell'iscrizione e la sua valenza storica e narrativa. Infatti la disciplina epigrafica, usando la metodologia che le è propria, attraverso la lettura e l'interpretazione del documento iscritto, giunge alla comprensione anche dei monumenti ed oggetti su cui i testi sono scritti e dei vari aspetti della cultura che li ha prodotti essendo infatti saldissimi i rapporti di interazione tra le varie espressioni della comunicazione umana.

La tradizione degli studi epigrafici ha come oggetto documenti che sono espressione di aree, lingue, culture e periodi storici differenti. Limitandoci al mondo antico, particolarmente notevoli sono l'Epigrafia orientale (sumerica, accadica, iranica, egiziana, meroitica, semitica), quella micenea e soprattutto l'Epigrafia greca e latina. Nell'Italia antica numerosi sono stati i popoli che hanno lasciato testi iscritti. In questa produzione spicca l'Epigrafia etrusca, con oltre dodicimila documenti. Non mancano però iscrizioni messapiche,

osche, venetiche, semitiche, sicule, umbro-sabelliche, falische, picene, galliche, retiche etc.

In questo contributo ci si soffermerà essenzialmente sull'epigrafia del mondo romano, cioè quella prodotta a Roma e nelle varie aree geografiche che man mano entrarono a fare parte dell'impero romano, in un lasso di tempo compreso tra il VII – VI secolo a. C e la caduta dell'impero romano d'Occidente nel 476 d.C. Essa è essenzialmente espressa in lingua latina, ma non esclusivamente, data la presenza di stranieri, anche nel periodo in cui l'esistenza dell'impero romano aveva unificato notevolmente il linguaggio, tra cui la più significativa quella dei Greci, che hanno lasciato epigrafi scritte nei propri idiomi.

Importante è comprendere che nella società romana le epigrafi ricoprivano un ruolo di gran lunga più rilevante che nella cultura attuale, documentando molti aspetti della vita; esse infatti forniscono informazioni su persone, eventi, istituzioni, normative, luoghi, opere, produzione e distribuzione di beni e merci, credenze, idee, cultura e usanze; costituiscono anche strumenti di propaganda politica per gli imperatori, consoli, governatori e amministratori di città dell'impero, e in genere personaggi illustri.

Per questo motivo la produzione epigrafica risulta tanto copiosa e ampiamente diversificata per quanto riguarda la tecnica con cui è eseguita la scrittura, il supporto utilizzato per il testo ed il suo contenuto. Il testo può essere infatti realizzato tramite incisione, sgraffio, punzonatura, bollato per mezzo di una matrice, ma anche eseguito con tecniche non sottrattive tipo pittura, mosaico, ageminatura ecc. Vari i materiali del supporto: pietra, bronzo, ferro, piombo, argento, ceramica, affresco, mosaico, legno. Diverse le forme e le funzioni: are, cippi, basi, stele, urne, sarcofagi, statue, busti, erme, ritratti, elementi architettonici (blocchi, lastre, tabelle, capitelli, colonne, pilastri, lesene, transenne, parapetti, porte, tegole ecc), militari,

mense, trapezofori, macine, mortai, ancore, puteali, vasche, sedili, pesi, bilance e mense ponderarie, vasi, lucerne, sigilli, monete, condutture di derivazione dell'acqua, proiettili, parti anatomiche votive, tesauri, orologi, anemoscopi, menologi, pitture, superfici musive. È conosciuta anche una corona lapidea iscritta, donata come voto nel Santuario della Fortuna Primigenia a Palestrina.

Proprio il contenuto e la finalità dei documenti epigrafici, che abbiamo detto essere ampiamente diversificati, sono stati assunti dalla tradizione degli studi epigrafici come parametri per l'ordinamento in classi di questa cospicua classe di reperti antichi, classificazione di fondamentale importanza per la gestione del materiale a fini scientifici e didattici. In base ad essa, quindi, le epigrafi sono tradizionalmente divise in:

- a) *iscrizioni sacre*
- b) *iscrizioni sepolcrali*
- c) *iscrizioni di opere pubbliche*
- d) *iscrizioni su instrumentum domesticum, cioè su oggetto di uso domestico o comunque comune*
- e) *iscrizioni di argomento giuridico*
- f) *atti di collegi*
- g) *calendari e fasti*
- h) *iscrizioni parietali*

a) Le *iscrizioni sacre* sono relative ad offerte dedicate alle divinità: possono cioè riferirsi ad un oggetto o ad una somma di denaro o ad una quantità di metallo prezioso donato ad una divinità o costituire esse stesse l'offerta.

b) Si definisce *sepolcrale* ogni iscrizione relativa ad un sepolcro, quindi non solamente gli epitaffi che ricordano il defunto con un formulario più o meno complesso, ma anche le iscrizioni accessorie, come quelle sui cippi che delimitano l'area di edifici o recinti sepolcrali, quelle poste all'ingresso di tombe collettive, tipo colombari, tombe ipogee, tombe a camera, che contengono, sovente anche varie e diverse iscrizioni interne riferite alle sepolture individuali, quelle dei mosaici pavimenta-

li posti nei sepolcri oppure quelle che ricordano restauri del sepolcro o traslazione dei resti dei defunti.

Le iscrizioni sepolcrali costituiscono la massa più cospicua e diversificata di testimonianze giunte fino a noi (*Figura 3*).

c) Si considerano *iscrizioni onorarie* quelle poste allo scopo di onorare un individuo vivente o anche uno morto, se non sono relative ad un sepolcro. Si tratta in genere di iscrizioni di monumenti onorari, statue, colonne, archi, are, talora lapidi commemorative. Quando la benemerenda ricordata è relativa ad un'opera pubblica, l'epigrafe può essere attribuita alla classe delle iscrizioni delle opere pubbliche. Le iscrizioni onorarie sono relative a personaggi importanti, sovente ricordati con il proprio *cursus honorum*, cioè l'elenco delle cariche svolte nell'ambito della carriera.

d) Tra le *iscrizioni delle opere pubbliche* si comprendono quelle che commemorano la costruzione o il restauro o l'abbellimento di edifici o monumenti pubblici.

Tali interventi potevano essere fatti da magistrati nell'ambito delle proprie competenze o da privati che, a proprie spese, ne facevano dono alla comunità.

In ogni caso esisteva, nel mondo romano, il diritto di ricordare ufficialmente il nome di chi avesse pagato l'opera.

Tali iscrizioni potevano essere poste, in varie posizioni, sulle opere pubbliche cui si riferivano: su ponti, acquedotti, archi, obelischi, templi, dove sono talora ancora leggibili, come il caso delle iscrizioni del Pantheon, una relativa alla costruzione ad opera di Agrippa, l'altra al restauro di Settimio Severo, o di quelle del Ponte dei Quattro Capi sul Tevere. Possono, però, trovarsi anche separate dall'opera, su lapidi o cippi commemorativi (come capita per interventi che riguardano i corsi fluviali), oppure, nel caso di lavori attinenti le strade, incise sui miliari, che ebbero la funzione prima di segnare le distanze.

e) Le iscrizioni su *instrumentum domesticum* sono le scritte, le firme, le sigle, i contrassegni formati da parole o lettere o nu-

meri posti sui più diversi oggetti dei più svariati usi della vita, soprattutto privata, dei romani. Si tratta di una classe estremamente eterogenea per quanto riguarda i tipi di supporti (tegole, anfore, lucerne, vasi, condutture d'acqua, tessere, monete, tavolette rituali con maledizioni, collari di schiavi, pesi, gioielli, sigilli, oggetti in vetro, blocchi di cava, armi, sortes oracolari, specchi, orologi), il materiale su cui sono scritte (terracotta, metalli, vetro, cuoio pietra), o la tecnica di iscrizione (scolpite, graffite, dipinte ma anche impresse a marchio prima della cottura) e la finalità (possono essere iscrizioni relative alla funzione dell'oggetto, alla provenienza, alla destinazione, alla proprietà, avere valore di comunicazione o di scherzo ed altro).

**f)** Nella classe dell'*Epigrafia giuridica* rientrano le iscrizioni di testi di legge, di senatoconsulti, di decreti di magistrati, di costituzioni imperiali, di trattati, di sentenze e di ogni altro documento pubblico o privato che venivano trascritti per vari motivi. L'impiego di diversi materiali su cui venivano scritte, (lastre di bronzo, pietra, legno, intonaco, argento, avorio), dipendeva o dal tipo di atto da annotare o da circostanze particolari.

**g)** Per *Atti di Collegi* si intendono i resoconti di adunanze, elenchi di magistrati, notizie di donazioni, statuti, documenti che riferiscono dell'organizzazione e del funzionamento di questo particolare tipo di associazioni così importanti nel mondo romano, che venivano redatti ed appesi sulle pareti degli edifici in cui avevano la loro sede, oppure su stele o supporti di pietra variamente situati, conservati fino ai nostri giorni.

**h)** Per *Calendari* si intendono gli elenchi dei giorni dell'anno fasti e nefasti con le indicazioni delle feste che vi si celebravano, cioè documenti assai simili ai nostri Calendari, che ne hanno preso il nome. I *Fasti* sono gli elenchi dei magistrati di una città talora corredati da qualche notizia sugli avvenimenti o gli elenchi dei trionfatori con il nome del popolo e del comandante vinti.

**i)** Le *iscrizioni parietali* costituiscono una classe caratterizzata dal supporto ove esse vengono scritte e dal fatto che non sono promanate da autorità pubblica, mentre diverse sono le loro finalità.

Infatti possono essere di due generi. Il primo annovera le scritte spontanee, occasionalmente vergate su una parete interna o esterna, ad opera di ignoti passanti, avventori di botteghe, soldati nelle caserme, pellegrini al santuario, schiavi all'interno della casa, che testimoniano sovente con scrittura e lingua popolari, i loro personali sentimenti. Questo tipo di espressioni popolari, di cui è rimasta traccia in molte località del mondo romano, sono in genere graffite sulle pareti, o redatte con carbone, mattone o altra materia colorante di fortuna. Il secondo comprende iscrizioni dipinte su commissione da *scriptores* su pareti esterne di edifici, per lo più appositamente imbiancate, per divulgare informazioni di interesse generale. Le testimonianze che ci restano, per la maggior parte appartengono a Pompei, ove si sono ben conservate per le note vicende della città e sono relative a vari aspetti della vita cittadina: manifesti elettorali, annunci di giochi, avvisi di affitti, avvisi di oggetti perduti, acclamazioni, didascalie di pitture. Nella *Figura 2* e nella *Figura 3* sono presentate due tipologie di iscrizioni, rispettivamente su lamina di bronzo e su mosaico.

Lungo la via Appia, analogamente a quanto accadeva presso altre vie consolari a Roma ed altrove, erano presenti monumenti e segni relativi a vari aspetti della vita umana (edifici sepolcrali destinati a personaggi di vario ceto e rappresentatività sociale, costruzioni di tipo residenziale, templi e luoghi di culto, archi onorari, osterie, alberghi, stazioni di posta per l'alloggio ed il cambio dei cavalli, villaggi serviti di uffici pubblici, impianti termali e botteghe ecc.) spesso corredati da iscrizioni, numericamente assai significative, che appartenevano, quindi, a molte delle classi elencate. Per l'itinerario "Parole di Pietra," però, si è scelto, in questa prima



**Figura 1**

Lamina bronzea con dedica ai Dioscuri

Fonte: Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma. VI secolo a. C. Proveniente da *Lavinium* (Pratica di Mare), santuario delle Tredici Are. Conservata a Roma, Museo Nazionale Romano, inv.135931. L'iscrizione, in caratteri e lingua arcaici, si dispiega su due righe, ed ha un andamento sinistrorso con terminazione bustrofedica nella prima riga

fase di lavoro, di inserire una selezione di una cinquantina di epigrafi, tutte di carattere sepolcrale, cioè relative ad alcune delle numerose sepolture che costeggiavano la via, e che forse ne costituiscono la caratteristica nota ai più.

### Le epigrafi della Via Appia: le ragioni di una scelta

La Via Appia ha costituito nell'antichità non solo la più importante via di comunicazione con il meridione, ma anche il tramite per i rapporti di Roma con l'Africa, la Grecia e l'Oriente. L'importanza dei traffici che vi si svolgevano, dette luogo, lungo tutto il suo percorso, ad una vasta attività edilizia, soprattutto funeraria che allineava, anche su più file, edifici sepolcrali destinati a personaggi di vario ceto e rappresentatività sociale.

Non mancavano, però, costruzioni di tipo residenziale, templi e luoghi di culto, archi onorari, osterie, alberghi, stazioni di posta per l'alloggio ed il cambio dei cavalli, villaggi serviti di uffici pubblici, impianti termali e botteghe.

Il fenomeno edilizio era ovviamente più intenso vicino alle grandi città, e particolarmente imponente proprio nei pressi di Roma, ove permangono significative persistenze archeologiche, che rappresentano la caratteristica della via nota ai più. Notevole rilievo per la comprensione della realtà urbana e del mondo romano in genere, assumono le epigrafi, che erano

disseminate in grande numero lungo la via, talora poste nel terreno come segna-coli, talora sistemate a corredo di edifici e statue. Ogni monumento epigrafico, infatti, è contemporaneamente documento archeologico, manifestazione di attività scrittoria, testimonianza linguistica e strumento comunicativo di fatti e di idee. Un carattere peculiare delle epigrafi è che esse sono il prodotto di una committenza variegata, che non comprendeva soltanto le classi più elevate della popolazione, ma anche i ceti medi e in qualche caso gli strati più umili. Le loro informazioni, estremamente più significative di quelle che i moderni affidano alle iscrizioni, erano destinate ad un'ampia possibilità di lettura.

L'informazione fornita risulta tanto più preziosa in quanto essa è spesso riferibile a persone, a luoghi e a situazioni precisamente individuate. È all'epigrafia, così concepita, che la ricerca storica, soprattutto negli ultimi due secoli, deve alcuni dei suoi più significativi progressi.

### Il sistema informatico

L'esigenza di un fruttuoso incontro tra il settore del patrimonio culturale e quello dell'informatica avanzata, si è concretizzata nell'ultimo decennio, grazie al contributo dell'ENEA, in numerosi incontri di discussione e nello sviluppo di applicazioni delle tecnologie informatiche innovative e di intelligenza artificiale, su temi



specialistici caratterizzanti l'area dei Beni Culturali. Tale contributo ha di fatto disegnato un percorso, per molti aspetti evolutivo, finalizzato a catalizzare possibili interazioni e aggregazioni fra operatori ed istituzioni operanti nei rispettivi settori. Numerosi i risultati significativi di tale percorso realizzati nell'ambito del Progetto Tecnologie per i Beni Culturali dell'ENEA. L'applicativo informatico che nel seguito sarà presentato costituisce un ulteriore frutto di tale attività nata dall'incontro tra l'esigenza della Soprintendenza Archeologica di Roma di incrementare e differenziare l'offerta culturale, favorendo la conoscenza del patrimonio archeologico di cui è responsabile, e le potenzialità dell'ENEA a trasferire le sue competenze tecniche e scientifiche anche nel campo dei Beni Culturali. Il progetto scientifico è stato elaborato dal Servizio di Epigrafia della Soprintendenza per i Beni Archeologici di Roma, e arricchito dalle ricerche e dalle attività effettuate in questi ultimi anni sulle emergenze archeologiche della via Appia ad opera della Direzione del sito archeologico dello stesso Istituto; il sistema informatico è stato realizzato dalle competenze tecnologiche del Dipartimento FIM dell'ENEA; alla base un Protocollo d'Intesa siglato tra i due Enti.

La realizzazione del sistema Web fruibile da Internet ha previsto inizialmente le attività di acquisizione, strutturazione ed archiviazione del materiale documentale relativo alle epigrafi (documenti tecnici, storici, fotografie ed immagini) messo a di-

sposizione dalla Soprintendenza Archeologica di Roma. I materiali raccolti sono stati organizzati e classificati con un'omogeneità di esposizione fra i diversi argomenti e soggetti, fornendo anche la possibilità di consultarli attraverso un percorso non solo lineare ma anche modulabile in base alle esigenze dei visitatori.

Di ogni reperto si è ritenuto opportuno raccogliere le seguenti informazioni:

- la foto;
- il titolo;
- il materiale con il quale è stato realizzato;
- la tecnica di realizzazione;
- la datazione;
- le misure;
- il luogo di ritrovamento con la relativa data;
- lo stato e luogo di conservazione (o collocazione) spesso diversa dalla sede di ritrovamento;
- il riferimento alla collocazione originaria;
- il numero di catalogo;
- la posizione giuridica;
- il testo (in lingua latina);
- la traduzione in lingua italiana;
- il commento storico-archeologico;
- la bibliografia principale.

Le funzionalità del sistema realizzato consentono all'utente di eseguire le seguenti operazioni:

- l'esplorazione dell'archivio epigrafico;
- la visualizzazione dei dati riguardanti ogni reperto epigrafico in differenti gradi di dettaglio;
- la ricerca di un reperto epigrafico par-



**Figura 2**

Mosaico pavimentale con iscrizione funeraria in versi

Fonte: Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma. Il secolo d. C. Proveniente da Roma, località Tor Carbone. Conservato a Roma, Museo Nazionale Romano, inv. 395439. Il mosaico fu rinvenuto insieme al sarcofago contenente le spoglie dei due bambini *Parthinopeus ed Aura*, nominati nell'iscrizione, realizzata con tessere policrome

Figura 3

Lastra marmorea con iscrizione funeraria in versi  
Fonte: Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma. I secolo d. C. Proveniente da Roma, via Appia. Conservata *in situ* (Inv. Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma 402249). La dedica è stata posta in memoria di C. Ateilius Euhodus, un commerciante di perle che esercitava la sua professione sulla *sacra Via*, nel Foro Romano



tendo dal dato di collocazione attuale e/o il suo riferimento alla collocazione originaria;

- la possibilità di intraprendere un percorso virtuale.

La scelta degli strumenti di sviluppo si è basata principalmente sui requisiti di stabilità, portabilità e velocità richiesti per il sistema. L'applicazione lato server è stata implementata mediante l'utilizzo del web-server Apache, del linguaggio di scripting server side PHP e del server MySQL come data base administrator. Il lato client è stato rappresentato da un qualunque http user agent (browser) in grado di interpretare il codice HTML.

La produzione della carta delle dislocazioni delle epigrafi ha consentito di:

- ricostruire attraverso l'elaborazione di una carta tematica gli spostamenti che hanno interessato i reperti;
- fornire informazioni riguardo l'attuale assetto e disposizione dei reperti epigrafici;
- studiarne le correlazioni basandosi su caratteristiche specifiche come il secolo di appartenenza, la professione dei relativi defunti e la loro condizione sociale;
- creare un database di reperti archeologici georeferenziati.

La realizzazione di un applicativo WebGIS, ottenuto tramite l'integrazione dei dati cartografici con le schede epigrafiche presenti nella base di dati, offre pertanto la possibilità di effettuare tutte le ricerche possibili nell'ambito delle principali caratteristiche di un reperto epigrafico e di visualizzarne i risultati ottenuti sulla cartografia.

Per migliorare la visibilità e la determinazione geografica dei risultati delle interrogazioni, il sistema WebGIS è stato dotato dei seguenti layer:

- Cartografia IGM 25000.
- Vettoriale lineare della rete stradale.
- Ortofoto metri 1 di risoluzione.
- Vettoriale puntuale delle epigrafi.

Una volta individuata l'epigrafe il sistema consente di accedere alla relativa scheda sia tramite il collegamento presente nel box di ricerca, che direttamente dalla cartografia. Inoltre sono disponibili di base gli strumenti "classici" di interazione con un sistema cartografico: lo Zoom in, lo Zoom out, il Pan, il Calcolatore di distanze, il Dettaglio informazioni. Nella *Figura 4* viene mostrato un esempio di ricerca testuale.

Il sistema presenta una selezione di circa cinquanta reperti epigrafici, tutti di destinazione sepolcrale, provenienti dal tratto urbano della Via Appia, compreso tra Porta Capena ed il Grande Raccordo Anulare. Ad integrazione dei commenti ai testi epigrafici, è prevista la possibilità di accesso ad approfondimenti di carattere storico-archeologico, sociale e tecnico, che facilitano la comprensione delle tematiche presenti nelle iscrizioni e la conoscenza del mondo romano. Anche gli approfondimenti sono corredati da immagini che ne rendono più vivido il contenuto.

## Conclusioni

Riconoscere il valore intrinseco e assoluto della cultura di un luogo significa identificarne la dimensione geografica





e un ben preciso spazio fisico. Rappresentare la cultura di una società nel patrimonio di simboli costruiti nel corso della sua storia consente di esplorare la sua identità più profonda e di tracciare una visione dei valori di quella società. Luoghi, simboli e condizioni esistenziali costituiscono il terreno concettuale entro il quale procede la rappresentazione culturale di una società. Le mappe culturali producono e trasmettono conoscenza oggettiva dei processi mentali, costituiscono un percorso di ricerca in grado di ricostruire il legame fondamentale tra le persone e i luoghi. È quanto si è tentato di realizzare concentrandosi sull'utilizzo di tecnologie informatiche che meglio sembrano rispondere all'esigenza di rendere fruibili opere importanti distribuite sul territorio. Tale applicazione costituisce pertanto un veicolo di conoscenza in cui la scienza archeologica si propone, ancora una volta, come strumento indispensabile ed essenziale per un "sapere" reale sul rapporto tra uomo e spazio, tra cultura e natura. Ciò a conferma di quanto sia necessaria ed indispensabile l'interazione fra differenti professionalità per consentire un maggior ampliamento e diversificazione dell'informazione culturale.

## Bibliografia

1. Bordoni L., Gisolfi A., Trezza A.: *INTOUSYS: a prototype personalised tourism system*, In (L. Bordoni editor), Atti del Workshop "AI\*IA for Cultural Heritage", Roma, 10 Settembre 2007.
2. Bordoni L., Rubino S.: *The warrior of Caere: an example of virtual reconstruction*, Proceedings of "The 7th Vast International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage", Oct.30-Nov.4, 2006, Nicosia, Cyprus, pp.17-21.
3. Cao W., Klamma R., Spaniol M., Jarke M., Toubekis G., Jansen M.: *Spatiotemporal Thematic Maps for Sustainable Development of Heritage Site Tourism*, Proceedings of InterCarto-InterGIS, Berlin, 2006.
4. Balla A., Pavlogeorgatos G., Tsiafakis D., Pavlidis G.: *Cultural Itineraries in the Region of*



**Figura 4**  
Un esempio di ricerca testuale  
Il sistema WebGIS

## Ringraziamenti

Si ringraziano per il proficuo e significativo contributo fornito alla realizzazione del sistema: Silvia Biagini, Marco Conti e Ida Ferro della Soprintendenza Archeologica di Roma, Lorenzo Felli della Proxima Studio SRL e Fabrizio Poggi dell'ENEA-ACS-PROTPREV. Inoltre la nostra gratitudine va a Giovanni Dipoppa (ENEA-FIM-CAMO) per aver favorito la nascita della collaborazione fra la Soprintendenza Archeologica di Roma e l'ENEA.

*Xanthi Using Web-based GIS Technologies*, The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2006).

5. Cotroneo F., Barrile V., Cacciola M.: *GIS Three-Dimensional Features to Recover City Centers*, The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2006).
6. Panciera S.: *Una voce soppressa*, in "Archeologia Classica", 50, 1998 [1999], pp. 313-330.
7. Panciera S.: *Epigrafi, epigrafia, epigrafisti: scritti editi e inediti (1956-2005) con note complementari e indici*, Roma 2006, pp.1794-1808.
8. Bruni S., Paris R., Mineo S.: s.v. *Appia via*, in *Lexicon Topographicum Urbis Romae, Suburbium I*, Roma 2001, pp.84-135.
9. Spera L., Mineo S.: *Via Appia I*, in *Antiche Strade*, Lazio, Roma 2004.

## “Si respinge per morte del destinatario” Settant’anni di mistero sulla scomparsa di Ettore Majorana

A cura di Emilio Santoro

*“Ho un solo desiderio: che non vi vestiate di nero. Se volete inchinarvi all’uso, portate pure, ma per non più di tre giorni, qualche segno di lutto. Dopo, ricordatemi, se potete, nei vostri cuori e perdonatemi.”.*



Sono queste le ultime parole scritte da Ettore Majorana alla famiglia il 25 marzo del 1938, prima di salire a bordo del traghetto che da Napoli lo avrebbe portato a Palermo. Sono trascorsi da allora settant’anni e ancora oggi nulla nessuna parola definitiva è stata ancora pronunciata sul cosiddetto “Caso Majorana”.

La notte e il mare costituirebbero quindi la scenografia prescelta per la scomparsa di uno dei fisici più geniali del secolo scorso. Scomparsa che però non avverrà. Non quella notte. Non su quella nave. E questa è solo l’ultima delle contraddizioni di un’intera vita segnata dal genio, dalla complessità e dalla sofferenza: Ettore Majorana sparisce in “un giorno di marzo”, in circostanze incomprensibili. E le più incredibili ipotesi su ciò che è successo dopo quel giorno di marzo, da allora, non fanno che rincorrersi.

Majorana scrive dunque una lettera di addio alla famiglia e ne spedisce un’altra al direttore dell’Istituto di Fisica dell’Università di Napoli, Antonio Carrelli, annunciando la sua scomparsa. E la sera del 25 marzo, alle 22.30 si imbarca sul postale Napoli – Palermo.

La mattina seguente, però, dall’hotel Sole di Palermo Majorana scrive, sempre a Carrelli: *“Palermo, 26 marzo 1938. Caro Carrelli, Il mare mi ha rifiutato e ritornerò domani all’albergo Bologna viaggiando forse con questo stesso foglio. Ho però intenzione di rinunciare all’insegnamento. Non mi prendere per una ragazza ibseniana perché il caso è differente. Sono a tua disposizione per ulteriori dettagli.”.*

Da questo momento in poi, di Ettore Majorana non si avrà più nessuna notizia.

La misteriosa scomparsa lascia però numerosi dubbi. Soprattutto perché il giorno prima di sparire, Majorana ritira il suo passaporto e i soldi degli stipendi arretrati. Al professor Carrelli, era arrivato un telegramma di Ettore che diceva: *“Annulla notizia che ti do”.* Evidentemente si riferiva alla lettera, giunta dopo il telegramma, nella quale si intravedeva, non chiaramente espresso, il proposito del suicidio; e infine chiudeva: *“Non mi condannare perché non sai quanto soffro”.* Ma egli non soffriva di malattie gravi (salvo una nevrosi gastrica), non aveva relazioni sentimentali, non nutriva interesse per il denaro, non aveva avuto litigi. Si sentiva, questo sì, solo al mondo: cioè non compreso. Sono in molti, a diverso titolo, a non credere assolutamente all’ipotesi del suicidio.

I quattro o cinque anni precedenti la sua scomparsa, avvenuta – come si è detto – tra il 25 ed il 26 marzo 1938, furono, per lo scienziato catanese, anni molto critici dal punto di vista psicologico, per diversi motivi. Tra il 1932 ed il ’33, su sollecitazione di **Enrico Fermi**, egli aveva effettuato un viaggio a Lipsia e Copenhagen dove era stato accolto molto bene da fisici del calibro di **Werner Heisenberg** e **Niels Bohr**. Al suo ritorno a Roma – dove viveva con la famiglia sin dal 1921 – cominciò a manifestare disturbi di salute: una gastrite, forse contratta durante il suo soggiorno all’estero (o forse anche di origine psicosomatica) che lo accompagnò anche negli anni seguenti. L’anno successivo, il 1934, morì suo padre, Fabio Massimo, e di lì a poco un altro evento drammatico turbò tutta la famiglia. Come ricorda **Laura Fermi**: *“Un bimbo in fasce, cugino di Ettore, era morto bruciato nella culla, che aveva preso fuoco inspiegabilmente. Si parlò di delitto. Fu accusato uno zio del piccino e di Ettore. Quest’ultimo si assunse la responsabilità di provare l’innocenza dello zio. Con grande risolutezza si occupò personalmente del processo, trattò con gli avvocati, curò i particolari. Lo zio fu assolto; ma lo sforzo, la preoccupazione continua, le emozioni del processo non potevano non lasciare effetti duraturi in una persona sensibile quale era Ettore”.*

Sono tutti elementi questi che da soli potrebbero spiegare l’abbassamento di umore dello scienziato catanese dopo il suo ritorno dal viaggio in Nord-Europa. Egli iniziò così a frequentare sempre meno l’Istituto romano di Fisica teorica di Via Panisperna, e ad isolarsi sempre più a casa sua fino a rifiutare anche le stesse lettere, sulle quali scriveva di suo pugno: *“si respinge per morte del destinatario”.* Tutti i tentativi fatti dai suoi colleghi ed amici, **Giovanni Gentile jr.**, **Emilio Segrè**, **Edoardo Amaldi** ecc. di convincerlo a tornare all’Istituto non sortirono alcun effetto. Pare tuttavia che egli continuasse a studiare per conto proprio, anche se non soltanto fisica ma – cosa piuttosto strana – anche filosofia, economia politica, e persino le flotte delle varie nazioni.

Nel 1937 ministro dell’Educazione nazionale, il filosofo Giovanni Gentile (senior), padre del collega e amico di Ettore, sulla base ad una legge antecedente promulgata per Guglielmo Marconi, assegnò allo scienziato catanese la cattedra di Fisica Teorica dell’Università di Napoli, per meriti speciali. Nei pochi mesi che trascorse come docente a Napoli – dal gennaio al marzo del 1938 – Ettore Majorana cominciò a sentirsi sempre peggio, specie per ciò che



riguardava – oltre alla gastrite che continuava a tormentarlo – il suo umore cupo e depresso. A parte le lezioni, faceva vita isolata e ritirata nella sua camera all'albergo Bologna, dove aveva preso alloggio al suo arrivo nella città partenopea. Il suo carattere tendenzialmente chiuso e introverso non gli consentiva infatti di integrarsi in tempi brevi in una nuova città. L'unico con cui sviluppò un rapporto d'amicizia era il suo diretto superiore, **Antonio Carrelli**, docente di Fisica Sperimentale e direttore dell'Istituto di Fisica di quella Università. Per di più, si rese conto che ben pochi degli studenti iscritti al suo corso riuscivano a seguirlo e a capirlo, nonostante si preoccupasse di preparare accuratamente le sue lezioni, cosa questa che, come poi riferì lo stesso Carrelli, gli procurò molta amarezza e delusione.

Le sue più importanti ricerche riguardano una teoria sulle forze che assicurano stabilità al nucleo atomico: egli per primo avanzò infatti l'ipotesi secondo la quale protoni e neutroni, unici componenti del nucleo atomico, interagiscono mutuamente grazie a forze di scambio (Sulla teoria dei nuclei, 1933, - posteriore all'analogo lavoro di Werner Heisenberg solo come pubblicazione -) la teoria è tuttavia nota con il nome del fisico tedesco (teoria di Heisenberg) che giunse autonomamente agli stessi risultati. Nel campo delle particelle elementari, Majorana formulò una teoria che ipotizzava l'esistenza di particelle dotate di spin arbitrario, individuate sperimentalmente solo molti anni più tardi da P. Dirac, e W. Pauli fra il 1936 ed il 1939 (Teoria relativistica di particelle con momento intrinseco arbitrario, 1932). La sua equazione a infinite componenti, pubblicata nel 1932, costituisce la prima teoria unitaria quanto-relativistica delle particelle elementari, descritte attraverso un unico campo bosonico o fermionico, secondo una linea di "algebrizzazione" della dinamica che servirà da modello alla teoria della "democrazia nucleare" e alle teorie "costruttive" di simmetria. Sia la teoria del 1938, sia la teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone del 1937, risolvono il problema degli stati a energia negativa della teoria di Dirac del 1928; questa tentava di unificare meccanica quantistica e relatività speciale per il solo caso dell'elettrone, è stata considerata uno dei più grandi lavori del secolo ed è paragonata alle unificazioni teoriche di Newton, Maxwell, Einstein. Tale problema legato a quello "degli infiniti", ancora solo parzialmente risolto, aveva portato ad una crisi profonda aperta dal lavoro di L. D. Landau e R. E. Peierls.

L'articolo su: "Il lavoro delle leggi statistiche nella fisica e nelle scienze sociali", pubblicato postumo nel 1942, in cui è proposta una "sociologia quantistica", indeterministica, è lo specchio della vastità di interessi di Ettore Majorana, vicino più alla tradizione di "fisici-filosofi" come Heisenberg, N.H.D, Bohr e A. Einstein, che alla fisica italiana del tempo, più sperimentalmente orientata. Per la sua ritrosia a pubblicare, un'enorme quantità di ricerche è rimasta in forma di manoscritti (scrisse otto opere), in parte non ancora analizzati e in parte perduti. L'impatto diretto della sua opera sulla comunità scientifica è stato, pertanto, molto più ridotto di quanto avrebbe potuto essere, a prescindere dalla sua prematura scomparsa.

Considerati tutti questi aspetti, la scomparsa del grande genio catanese può essere vista sotto la chiave di una dolorosa fuga. I fatti sono ben noti. Dopo aver svuotato il suo conto in banca e ritirato gli stipendi arretrati, Majorana il giorno 25 marzo lascia una lettera indirizzata ai propri familiari nella sua camera d'albergo, ed un'altra, indirizzata al suo direttore ed amico Carrelli, la spedisce da Napoli prima di imbarcarsi alle 22.30 sulla nave diretta a Palermo. In entrambe le lettere dichiara propositi suicidi, ma è molto probabile che in realtà miri solo ad essere creduto morto, dal momento che con sé oltre ad una rilevante somma di denaro ha, a quanto pare, anche il passaporto. Tuttavia una volta giunto a Palermo sembra ripensarci: telegrafa immediatamente a Carrelli pregandolo di non tener conto della lettera speditagli il giorno prima. In un'altra lettera con carta intestata dell'albergo palermitano dove prende alloggio (il Gran Hotel Sole) lo informa della sua decisione di ritornare l'indomani a Napoli; aggiunge anche la sua intenzione di rinunciare all'insegnamento. Tuttavia questa lettera sarà l'ultima traccia ufficiale di Ettore Majorana prima della sua scomparsa. Non è certo neppure che abbia preso il 26 sera la nave per Napoli anche se alcuni testimoni l'avrebbero riconosciuto. Il suo direttore Carrelli, dopo averlo atteso invano nei giorni successivi, il giorno 30 marzo lancia l'allarme. Nonostante, sollecitato dai familiari e dallo stesso Fermi, si sia prodigato lo stesso governo fascista, da allora non si è avuta più alcuna notizia di lui, e le ipotesi sulla sua sorte si sono ridotte fondamentalmente a tre: che si sia suicidato buttandosi in mare durante il viaggio di ritorno a Napoli (la più improbabile); che si sia ritirato in un monastero dalle parti di Napoli o anche in Sicilia; che infine sia fuggito all'estero, forse addirittura in Argentina, come vorrebbero alcune testimonianze.

Enrico Fermi paragonò la sua mente a quella di Galileo o di Newton: in effetti, la sua personalità sembrava proprio quella di un genio rinascimentale, dallo spirito libero e allo stesso tempo tormentato, incapace di legarsi stabilmente a una donna o ad una famiglia oppure a una cerchia di amici, ed impegnato tutta la vita a vagare di città in città al servizio ogni volta di un principe o un mecenate diverso. Per tale suo temperamento, Ettore Majorana doveva sentirsi pressato e soffocato da ogni parte, a cominciare da Fermi e dagli altri suoi colleghi che si attendevano dal suo genio risultati prestigiosi per la scienza e per l'Italia; ma anche dall'ambiente accademico troppo burocratico e regolamentato per il suo spirito insofferente. La sua sparizione assume quindi l'aspetto di una fuga in nome di quella libertà che anche le particelle più elementari della materia, come aveva scritto in un suo articolo sulle scienze statistiche e sociali, gli sembravano possedere.

*Fonti:*

I. Burgio – Ettore Majorana e il suo ultimo articolo sulla statistica e le scienze sociali. Centro Studi Storico-Sociali Siciliani.

## Diritti umani e clima

Il Rapporto *Climate Wrongs and Human Rights*, sulla dimensione etica dei cambiamenti climatici, è stato pubblicato a settembre da parte della Oxfam International, una confederazione di 13 organizzazioni non governative che lavorano su povertà e ingiustizia. Il giudizio del Rapporto è netto: nel cercare di risolvere con urgenza il problema dei cambiamenti climatici, i paesi ricchi stanno violando i diritti umani di milioni di persone della parte più povera del mondo. Ventitré paesi ricchi,

che hanno il 14% della popolazione mondiale, ancora oggi producono annualmente il 40% delle emissioni totali di CO<sub>2</sub>. Tali persistenti, eccessive emissioni di gas ad effetto serra sono responsabili di cicloni, uragani, innalzamento del livello dei mari e imprevedibilità stagionali: tutti eventi che mettono in discussione i diritti di milioni di persone alla sicurezza, al cibo, alla salute, all'acqua, alla cultura e alla vita.

Per Oxfam, allora, è necessario porre i principi dei diritti umani al cuore della politica internazionale sui cambiamenti climatici e favorire la cooperazione internazionale per assistere le comunità nell'indispensabile processo di adattamento.

sue applicazioni correnti e i dati dello sviluppo industriale e commerciale. Haime Yamamoto, Università di Tokyo, ha rivisitato la R&S sui fosfori inorganici, che hanno avuto ampie applicazioni negli schermi luminosi e nelle lampade a scarica, e mantengono ancora una posizione privilegiata in molte utilizzazioni, come ad esempio nei LEDs bianchi, mentre nuovi fosfori sono allo studio per le loro proprietà ottiche e termiche superiori.

Chris N.King, USA, ha parlato degli schermi piatti luminosi che, nati nel 1936 con fosfori inorganici, si sono poi sviluppati sino ad arrivare a conquistare il mercato di numerose applicazioni, come gli schermi dei PC per i quali gli OLEDs si presentano come la tecnologia del futuro. L'australiano Andrew B.Holmes, nei primi anni 90 uno degli inventori dei polimeri luminescenti utilizzati negli OLEDs e diretti concorrenti delle piccole molecole organiche, ha insistito sui nuovi metodi di sintesi dei polimeri coniugati e sulla possibilità del loro sviluppo per applicazioni pratiche.

Nelle ultime due decadi i materiali inorganici e organici per la EL hanno permesso di realizzare dispositivi luminosi con efficienze di 100 lumen/Watt, 5 volte quelle di una lampada a filamento di tungsteno; malgrado ciò, al momento, una loro applicazione industriale su larga scala non è ancora possibile e il successo dipenderà, ancora una volta, dalla ricerca che si sta svolgendo in molte parti del mondo.

La prossima EL2010 avverrà a San Pietroburgo, Russia, organizzata dal Maxim Sychov dell'omonimo Istituto di Tecnologia.

## A New Light for a Bright Future

EL2008, il 14° Workshop Internazionale sull'elettroluminescenza (EL), si è tenuto a Bagni di Tivoli dal 9 al 12 settembre. La conferenza, organizzata da Giuseppe Baldacchini dell'ENEA con la collaborazione di Enti e Università italiane e di un comitato internazionale, ha avuto 81 presentazioni poster e 52 orali, su argomenti quali: diodi organici emettitori di luce (OLEDs); schermi inorganici (ELDs); materiali emettitori di luce per schermi e illuminazione; diodi inorganici emettitori di luce (LEDs); elettronica organica; e fenomeni elettrici e luminosi di base.

Tra i vari interventi, Ching W. Tang, che nel 1987 ha iniziato in USA il campo della EL organica, ha ricostruito la storia dello sviluppo degli OLEDs, le



## L'atteggiamento verso i cambiamenti climatici

Una ricerca commissionata dall'Unione Europea a *Eurobarometer* sulla sensibilità dei cittadini europei circa il problema dei cambiamenti del clima è stata pubblicata in settembre. Nella primavera 2008 è stato interrogato un campione di cittadini della comunità per misurare: la loro percezione della terminologia usata (riscaldamento globale, piuttosto che cambiamento climatico); la sensibilità di sentirsi informati sul

cambiamenti climatico; l'attitudine che ha il cittadino ai metodi per combatterlo; le aspettative sulla riduzione delle emissioni e sull'incremento delle energie rinnovabili.

Rispetto allo scorso anno, il tema del cambiamento del clima ha assunto maggior priorità e il dibattito ha portato all'uso di diverse terminologie per suscitare maggior o minor allarme. I risultati, però, mostrano che la terminologia non ha avuto una diversa percezione nel pubblico: nello specifico, i due termini che la ricerca intendeva misurare hanno per i cittadini lo stesso significato e si riferiscono ad un problema che risulta al secondo posto nei pensieri di tutti dopo lo spettro della povertà.

Nel contempo, gli intervistati, mostrano un atteggiamento relativamente ottimistico circa l'evoluzione del problema del clima e molti pensano che il processo possa essere fermato. E reputano importante l'informazione sul tema, perché è proprio da essa che nascono le opportune contromisure al cambiamento del clima.

Ma gli europei pensano anche che i governi, le industrie, le organizzazioni, e la stessa UE non facciano abbastanza per contrastare il cambiamento climatico. E se non cambiano i loro comportamenti governi, industrie e organizzazioni, è difficile che lo facciano i cittadini.

In generale gli intervistati giudicano ottenibili gli obiettivi che l'UE si è posta per il 2020, con la riduzione del 20% delle emissioni e l'incremento del 20% di energia da fonti rinnovabili.

Tra i partner europei, gli italiani, sembrano i più ottimisti: risultano, insieme a portoghesi e cechi, fra quelli meno preoccupati dai cambiamenti climatici.

## Promuovere i veicoli a idrogeno

Il Parlamento ha adottato, il 3 settembre, un Regolamento che fissa le norme europee per l'omologazione dei veicoli a idrogeno. Gli obiettivi sono di garantire il buon funzionamento del mercato delle auto nell'UE e fornire un quadro normativo ai costruttori che già stanno sviluppando veicoli di questo genere; ma anche promuovere la circolazione di auto all'idrogeno nelle città europee per tutelare l'ambiente.

Il regolamento intende infatti garantire alti livelli di sicurezza pubblica e di tutela dell'ambiente, considerando l'utilizzo dell'idrogeno per le auto un modo di alimentazione pulito dei veicoli del futuro. Viene tuttavia precisato che l'idrogeno «è un vettore di energia e non una fonte energetica», di modo che l'utilità dell'alimentazione a idrogeno, dal punto di vista climatico, dipende dalla fonte di provenienza dello stesso. Quindi occorre far sì che l'idrogeno combustibile sia prodotto in modo sostenibile «per quanto possibile da energie rinnovabili», affinché l'uso dell'idrogeno «abbia effetti positivi sull'equilibrio ambientale complessivo».

La Commissione, che si prefigge di mettere a punto requisiti per l'uso di miscele a idrogeno e di gas naturale/biometano, viene invitata da questo Regolamento a provvedere anche a misure atte a sostenere la costruzione di una rete di distributori a livello europeo per i veicoli alimentati a idrogeno.

dall'Unione Europea

L'atteggiamento verso i cambiamenti climatici

Promuovere i veicoli a idrogeno

cronache



## Accordo per i ricercatori

Il 16 ottobre scorso a Roma è stato firmato l'accordo tra la Regione Piemonte ed ENEA, CNR, INRIM e INFN a sostegno dei ricercatori italiani. Obiettivo dell'accordo non è solo l'aumento del numero di ricercatori impegnati negli Istituti di ricerca piemontesi, ma l'innalzamento del livello complessivo della qualità e dell'efficacia del sistema. L'accordo prevede per questo primo anno l'attivazione di 45 assegni di ricerca biennali e 14 *visiting scientist* per una spesa a carico della Regione

Piemonte di circa 1 milione di euro. L'accordo identifica quattro linee d'azione: contenere il *brain drain* (fuga di cervelli) dei giovani ricercatori che si trasferiscono all'estero; favorire il rientro dei ricercatori italiani che lavorano all'estero; attrarre ricercatori stranieri interessati a esercitare presso i laboratori degli atenei piemontesi; infine attrarre *visiting scientist* italiani o stranieri che lavorino stabilmente presso un ateneo o un centro di ricerca straniero e svolgano attività coerenti con quelle del laboratorio piemontese ospitante. Significativi i numeri complessivi dell'accordo: 3 anni di durata, 40 milioni di euro investiti dalla regione Piemonte, 50% il contributo della regione per ogni assegno di ricerca, 60 nuovi assegni di ricerca disponibili. L'accordo, ha messo in risalto il prof. Paganetto, è per ENEA motivo di grande soddisfazione perché: "contribuisce con fatti concreti a potenziare la ricerca nel nostro paese. La valorizzazione e la creazione di opportunità per i giovani talenti è da sempre obiettivo primario dell'Ente".

(Mariella Bitonti)

## Roma per Kyoto

Ridurre le emissioni del 6,5 per cento nella capitale entro il 2012 è l'obiettivo ambizioso del progetto *Life Roma per Kyoto*, conclusosi in settembre con un convegno a Roma che ha visto la partecipazione degli assessori all'Ambiente delle 27 capitali europee. Il progetto, partito nel 2004 e cofinanziato dalla DG Ambiente della Commissione UE, ha coinvolto Comune di Ro-

ma, ENEA, ATAC, RomaEnergia, RomaNatura e Institute of Technology of Dublino.

Il progetto ha innanzitutto realizzato gli inventari delle emissioni di gas a effetto serra nel periodo 1990-2002, definendo così uno scenario di riferimento per il 2012, nell'ambito degli obiettivi di Kyoto.

Il passo successivo è stato l'elaborazione di uno scenario di riferimento per il periodo 2008-2012 considerando la dinamica dell'economia nei vari settori e le normative adottate.

Il settore maggiormente responsabile dell'aumento delle emissioni (nel 2006 ha segnato un +17,8% rispetto al 1990) è stato quello dei trasporti che rappresenta il 32% del totale, mentre il settore dell'industria e quello dell'agricoltura hanno pesato meno del 3% sulle emissioni totali.

A fare il punto sulla situazione è stato il prof. Paganetto, il quale ha ribadito che i dati elaborati da ENEA indicano che tra il 1990 e il 2006 a Roma c'è stato un aumento delle emissioni del 17,3% contro l'aumento medio in Italia del 10%. La tendenza, senza interventi fino al 2012, porterebbe ad un aumento del 23% rispetto al 1990, mentre l'ENEA ha calcolato che con adeguati interventi si potrebbe arrivare ad una crescita del solo 1,2%.

Gli interventi previsti riguardano: l'efficienza energetica e l'uso delle fonti rinnovabili nel settore residenziale; un piano particolareggiato del traffico; il solare fotovoltaico compresi gli investimenti previsti da ACEA; l'efficienza energetica nell'illuminazione stradale.

dall'Italia  
Accordo per i ricercatori  
Roma per Kyoto



## Danno collaterale delle radiazioni ionizzanti

La rivista scientifica *Proceedings of the National Academy of Sciences* of the University States of America (PNAS) ha pubblicato recentemente l'articolo dal titolo *Oncogenic bystander radiation effects in Patched heterozygous mouse cerebellum* che riporta i risultati del lavoro di Mariateresa Mancuso e dei colleghi del gruppo di ricerca ENEA guidato da Anna Saran.

In questo studio viene per la prima volta dimostrato l'effe-

to *bystander* delle radiazioni ionizzanti su un organismo vivente. Questo fenomeno, in precedenza osservato in diversi laboratori internazionali in colture in vitro di cellule o tessuti, consiste nella capacità delle cellule irraggiate di trasmettere segnali tali da indurre effetti anche in cellule non direttamente esposte a radiazioni ionizzanti. Infatti, nel cervello di topi irraggiati con il capo schermato, i ricercatori hanno dimostrato la presenza di danni genetici ascrivibili alle radiazioni, come rotture a doppia elica del DNA ed apoptosi. In linea di principio, questo suggerisce che molte più cellule, rispetto a quanto atteso in base alle dimensioni del campo irraggiato, possono essere danneggiate dalle radiazioni ionizzanti.

Lo studio ha anche confermato che tali effetti a breve termine sono estremamente conservati e riproducibili in diversi ceppi murini e che in un modello animale particolarmente radiosensibile tale danno indiretto può indurre sviluppo neoplastico.

Nel Workshop *Radiazioni ionizzanti: nuovi modelli per la stima del rischio*, che si è tenuto a Roma il 1° ottobre presso la sede ENEA, esperti del campo hanno esaminato le potenziali ricadute delle nuove acquisizioni sperimentali con lo scopo sia di rendere più percepibili l'ambito e la portata dei risultati di questa ricerca che di contribuire a definire in maniera più precisa la stima del rischio da radiazioni ionizzanti, sensibilizzando, allo stesso tempo, le istituzioni e i decisori politici sull'importanza degli studi in questo settore.

## La microalga che s'illumina

Nei laboratori di Biotecnologie del CR Casaccia dell'ENEA è stata ottenuta una nuova varietà della microalga "Chlamydomonas", che può illuminarsi e spegnersi grazie all'aggiunta di sali al mezzo di coltura.

I ricercatori dell'ENEA hanno trasferito in questa alga di acqua dolce, che diversamente da altre alghe marine non ha luminescenza propria, il gene della luciferasi che rende luminescente la "Renilla" (l'alga conosciuta come "viola marina"). Questo gene viene attivato da una sorta di "interruttore genetico" azionato dall'aggiunta di un sale comune al mezzo di coltura. Aggiungendo poi un secondo sale antagonista l'alga si spegne, proprio come ci fosse un interruttore della luce. La quantità di sali necessaria è bassissima, e quindi il costo è compatibile con grossi impianti di coltura.

Le microalghe convertono l'energia solare con un'efficienza molto più alta delle piante terrestri e sono in grado di fissare la CO<sub>2</sub> proveniente dagli impianti industriali e di produrre biocombustibili innovativi (biodiesel e idrogeno) ad esempio su terreni di scarso valore agricolo.

I risultati del lavoro di ricerca, finanziata dal Ministero per l'Università e la Ricerca nell'ambito del progetto "Produzione Biologica di Idrogeno" sono stati pubblicati da *PLoS ONE*, rivista "open acces" della Public Library of Science.

dall'ENEA

Danno collaterale delle radiazioni ionizzanti

La microalga che s'illumina

cronache

## Kyoto Club per l'efficienza energetica

Le città sono responsabili della maggior parte del consumo energetico mondiale ed è un dovere per le Istituzioni definire ed implementare l'uso sostenibile delle energie. È quanto emerso al convegno *Efficienza energetica – la strada maestra*, svolto a Milano l'11 settembre e organizzato da Kyoto Club, l'associazione fondata nel 1998 da imprese, enti, associazioni e amministrazioni locali, impegnati sugli obiettivi del Protocollo di Kyoto.

Il quadro iniziale sull'efficienza energetica in Italia e all'estero è stato tracciato da Gianni Silvestrini, direttore scientifico del Kyoto Club. Alti prezzi dell'energia, politiche di incentivazione favorevoli, miglioramenti tecnologici fanno ritenere che nei prossimi anni si potranno ottenere risultati fin'ora ritenuti impensabili ma già raggiunti in alcuni Paesi, come Danimarca, Germania e California.

Per avviare, però, radicali cambiamenti nell'utilizzo dell'energia, il Governo dovrebbe, innanzitutto far crescere la consapevolezza della gravità della situazione, poi motivare le persone, quindi coinvolgere profondamente operatori privati e istituzioni locali.

Occorrerebbe, in aggiunta, una diversa distribuzione delle risorse pubbliche e private. Quindi investimenti per potenziare il trasporto pubblico, la rete ferroviaria e il cabotaggio, creare una rete ciclabile nazionale, ripensare il trasporto merci nelle città.

Infine, usare in maniera intelligente la leva degli obblighi e dei divieti: impedire la vendita di elettrodomestici ad alto consumo; chiudere il centro delle città; garantire livelli di raccolta differenziata definiti; stabilire limiti rigorosi, già in fase di costruzione degli edifici, per i valori energetici.

Il presidente ENEA, Luigi Paganello, ha ricordato che è necessario intervenire senza trascurare alcun settore relativo agli usi finali di energia, come l'industria, i servizi e in particolare i trasporti, che pesano per il 30% sui consumi

finali. Opportunità importanti possono aprirsi anche affrontando il complesso tema dell'efficienza della rete di distribuzione, ed ha concluso sottolineando come sia sterile la discussione che contrappone l'energia rinnovabile al nucleare, perché in un mondo con forte evoluzione tecnologica, occorre competere e operare in tutti gli ambiti tecnologici dell'energia. Ospite d'onore è stato Amory Lovins, fondatore del Rocky Mountain Institute, che ha illustrato i risultati raggiungibili, grazie ad un'incisiva politica sul lato dell'efficienza energetica, particolarmente significativi in questo momento di alti prezzi dell'energia e necessità di risposte rapide ai cambiamenti climatici.

## Intelligenza Artificiale e scienze della vita

Il decimo convegno dell'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale si è tenuto presso l'Università di Cagliari dall'11 al 13 settembre 2008. Quest'anno l'evento si è focalizzato sui temi delle scienze della vita e ha visto la presenza di cinque workshop, tre relazioni invitate e numerose sessioni poster.

Gli argomenti trattati nei workshop sono stati:

- IA e Beni Culturali
- Data Mining e Bioinformatica
- Sistemi MultiAgente e Bioinformatica
- Elaborazione del Linguaggio Naturale

### Eventi

Kyoto Club  
per l'efficienza  
energetica

Intelligenza  
Artificiale e scienze  
della vita

La notte europea  
dei ricercatori

- Verso la Robotica Intenzionale

Il workshop "IA e Beni Culturali", la cui organizzazione scientifica è stata curata dall'ENEA (L. Bordini), ha costituito un momento di aggregazione fra le varie comunità di istituzioni il cui intento è fornire nuove proposte tecnologiche per i Beni Culturali. Il filtraggio dell'informazione, la modellazione dell'utente e le ontologie sono state le tecnologie dell'IA più presenti nelle applicazioni realizzate in quei settori, quali il patrimonio documentale e l'archeologia, che da anni risultano essere i contesti più sperimentati. A conferma di ciò la presenza del relatore invitato Juan A. Barceló dell'Università Autonoma di Barcellona esperto di archeologia e tecnologie dell'IA, che con una stimolante relazione ha ribadito l'importanza di un connubio fra gli umanisti e gli informatici proponendo la figura dell'archeologo "artificiale", che come un surrogato della macchina del tempo, ci consente di "vedere il passato nel presente". Per il settore archeologico sono stati presentati due contributi da parte ENEA, il primo riguardante l'utilizzo di un laser scanner 3D in un'area archeologica (Abate, Baracca, Furini, Migliori e Pierattini), il secondo la visualizzazione in un display volumetrico di reperti archeologici investigati con la tomografia neutronica (Fiasconaro, Andreoli, Palomba, Papaleo, Rosa). Dal dipartimento discipline storiche dell'Università di Bologna è stato presentato un sistema informativo geografico con visualizzazione territoriale 3D Google Earth sugli spazi pubblici e pri-

vati in Bologna medievale. I workshop sulla bioinformatica hanno visto la partecipazione di coloro che sviluppano e applicano tecniche di intelligenza artificiale alla ricerca genomica, trascrittomica, proteomica e metabolomica, biologia sistemica, disegno/scoperta di droghe, neuroinformatica e ricerca sulla vita artificiale. Nel workshop sulla robotica intenzionale si è discusso sulla possibilità di individuare un tipo di architettura robotica in grado di esibire quelle caratteristiche che permettono una integrazione con la comunità degli esseri umani.

## La notte europea dei ricercatori

La Notte Europea dei Ricercatori si è svolta quest'anno il 26 settembre contemporaneamente in più di 40 siti europei fra i quali ci sono otto regioni italiane: Lazio, Campania, Lombardia, Piemonte e Valle d'Aosta, Sicilia, Puglia e Trentino Alto Adige.

L'iniziativa è nata per avvicinare i cittadini al mondo della ricerca e ai ricercatori, in particolare, allo scopo di promuoverne la figura e il ruolo nella società.

A Roma, si potevano visitare: il percorso "il paradiso può attendere", per rimuovere gli stereotipi sulle donne che si occupano di scienza e lo spazio "le mani sulla scienza" per interagire con i ricercatori ed assistere a spettacoli su fenomeni astronomici.

Nell'Area Tuscolana, ad alta concentrazione di differenti attività di ricerca fondamen-

tale e di base, l'evento è stato rappresentato da EOS – *Eyes on Scientists*. Il progetto, ideato da *Frascati Scienza*, si è sviluppato nel corso di una Settimana della Scienza dal 22 al 27 settembre con visite ai centri di ricerca, dibattiti, osservazioni stellari, proiezioni cinematografiche, teatro ed eventi musicali.

Torino, Alessandria, Aosta, Biella, Novara e Vercelli hanno ospitato il progetto *REPLAY-Research: a passion to play*; che ha avuto come *leit motiv* la passione per la ricerca, l'ingrediente fondamentale dell'attività dei ricercatori. A Napoli, anticipando l'inizio dell'Anno Mondiale dell'Astronomia, la manifestazione si è focalizzata sulle scoperte astronomiche e sui fenomeni vulcanici che coinvolgono la regione Campania.

A Milano, sono state organizzate attività di laboratorio rivolte a tutte le fasce di età, e anche uno spettacolo che ha raccontato la geometria utilizzando oltre al linguaggio formale della matematica anche il linguaggio teatrale.

In Sicilia il fulcro è stato la città di Catania, con eventi su temi quali: la ricerca incontra l'arte; ricerca per migliorare la qualità della vita; i misteri della natura; cervelli umani ed artificiali; i robot; scienziato per una notte.

A Bolzano, con le "officine della scienza" hanno aperto le loro porte centri di ricerca, musei, università e imprese. In Puglia, si sono svolti seminari e visite e anche la presentazione dei finalisti del Premio *Start Cup Puglia 2008* dedicato alle imprese innovative nate nel corso dell'anno.

## La guerra del gas

I nuovi padroni dell'energia.  
I rischi per l'Italia e l'Europa

Cristina Corazza

Il Sole 24 Ore, febbraio 2008,  
pagine 162, euro 19,00

In Cina, nel V secolo a.C., un sistema di canne di bambù collegate tra loro e sigillate con il bitume veniva utilizzato per portare "l'aria del fuoco", ossia il gas con cui veniva illuminata la capitale del Celeste Impero. Il primo vero metanodotto, lungo 217 miglia, fu quello costruito nel 1925 tra la Luisiana e il Texas. In Italia, nel dopoguerra, Enrico Mattei po-

sò molti tubi prima ancora di avere disponibile il gas necessario intuendo l'importanza di avere una rete di distribuzione del gas molto estesa. Importanza, perché la ragnatela che trasporta il gas in tutto il mondo è il collegamento indispensabile: senza gasdotto niente produzione e il gas rimane intrappolato sotto terra o, peggio, viene bruciato a bocca di pozzo. Come dice Pierluigi Bersani nella Prefazione, le migliaia di chilometri di infrastrutture determinano inevitabilmente un legame stabile dei paesi produttori con consumatori e con i paesi di transito. È proprio questo legame che eviterà la guerra del gas, e potrà essere la base su cui costruire un clima di cooperazione e di mutua interdipendenza. Non un conflitto, dunque, ma una sfida, in particolare per la politica, da giocare con il massimo dell'energia possibile. Da quando a Natale del 2005 scoppia la prima "guerra del gas" con l'ultimatum di Gazprom all'Ucraina, altre guerre per 'l'oro azzurro' si ripetono in forme più o meno drammatiche. A combatterle sono gli zar del Cremlino, i signori del Caspio, gli ayatollah di Teheran, nuovi sceicchi che usano giacimenti e gasdotti per spostare a loro favore il baricentro del potere politico ed economico. È una lotta senza esclusione di colpi che intreccia la geopolitica con l'economia e vede in campo giganti assetati di energia, come la Cina e l'India.

Senza dimenticare che tutto si svolge nella cornice della sfida globale contro i

cambiamenti climatici. Due minacce, perciò, di segno opposto: non poter garantire approvvigionamenti adeguati, sicuri ed economicamente accessibili, da un lato, e dall'altro, provocare danni sempre più gravi all'ambiente per una crescita incontrollata dei consumi.

Il libro della Corazza, come ha detto Tonia Mastrobuoni presentandolo alla libreria Feltrinelli di Roma, è un libro di geografia del gas, di infrastrutture, stoccaggi, capacità produttiva e fabbisogni. Ma anche libro di storia e di storie, del gas, dove si racconta il ruolo di avanguardia dell'Italia con la scoperta del grande giacimento vicino Lodi nel 1944, e con la determinazione di Enrico Mattei, alla guida dell'Agip dal 30 aprile 1945, che incominciò a metanizzare l'Italia in assenza di regole certe.

Libro, perciò, che si sviluppa come un viaggio-inchiesta sul gas come risorsa strategica e sulle guerre, sotterranee e scoperte, per conquistarne l'accesso.

Ne emerge uno spaccato, a volte poco conosciuto, su come il gas stia salendo alla ribalta dello scenario energetico, pronto a superare il petrolio; su come il metano, da scarto sia diventato preziosa fonte energetica; sul ruolo strategico dei grandi produttori e dei grandi player; sul "caso" Italia, un paese ad alto rischio costretto a fare i conti con l'emergenza gas. Insomma una bussola in grado di fornire tutti gli elementi per capire una questione complessa che farà discutere sempre di più. (a/c)

### Lecture

#### La guerra del gas

#### Errata corrige

Nel n. 4/2008 della rivista, a pag. 44, l'indirizzo email esatto della prof. Maria Proto è mariaproto@unisa.it