



Esattamente trent'anni fa, nel luglio 1977, nella prefazione al suo libro "Il principio responsabilità, un'etica per la civiltà tecnologica", il filosofo Hans Jonas scriveva: *"Il Prometeo irresistibilmente scatenato, al quale la scienza conferisce forze senza precedenti e l'economia imprime un impulso incessante, esige un'etica che mediante auto-restrizioni impedisca alla sua potenza di diventare una sventura per l'uomo... le promesse della tecnica moderna si sono trasformate in minaccia"*.

Le riflessioni di Jonas si collocavano a pochi anni di distanza dalla prima crisi petrolifera che aveva posto in modo drammatico la società occidentale di fronte al problema della limitatezza delle risorse energetiche fossili, del rischio degli approvvigionamenti, della minaccia dell'uso non ben ponderato della tecnologia.

Quelle riflessioni sono ancor più valide oggi che l'umanità si trova di fronte all'accentuarsi di importanti sfide che mai si erano poste in passato e che ne potrebbero mettere in forse la stessa esistenza: la sfida dell'energia, da rendere disponibile equamente per tutta la popolazione della Terra, quella dei cambiamenti climatici, che minaccia il pianeta, quella tecnologica. Sono scelte che richiedono una nuova etica, basata sulla responsabilità e il cui principio fondamentale è la sopravvivenza dell'umanità, intesa non solo come sopravvivenza fisica ma anche come integrità dell'essere.

Il tema dell'energia si è posto prepotentemente al centro della scena della società moderna a partire dai primi anni 70 e da allora non l'ha più abbandonata. Parallelamente alle preoccupazioni relative ai costi e alla sicurezza degli approvvigionamenti energetici però è cresciuta, negli ultimi anni, anche l'attenzione ai risvolti ambientali e in particolare al fenomeno dei cambiamenti climatici. Si tratta di temi che chiamano i decisori politici a scelte importanti e coraggiose e che vedono l'opinione pubblica sempre più interessata a conoscere il reale stato di fatto dei problemi che ci stanno di fronte. Cresce insomma la domanda di informazione scientifica solida, non di parte, su cui poter fondare correttamente le proprie scelte.

Ed è proprio in quest'ottica che nel numero odierno ospitiamo un'interessante intervista a Fatih Birol, Chief Economist dell'Agenzia Internazionale dell'Energia e responsabile del *World Energy Outlook*, la più autorevole pubblicazione dell'AIE, che analizza il mercato energetico globale, delineandone l'evoluzione attraverso scenari che prendono in considerazione le politiche attuate dai governi. Al tempo stesso, nell'articolo *"Rapporto Energia e Ambiente 2006. Analisi e scenari"*, riportiamo gli aspetti salienti del rapporto annuale curato dall'ENEA, giunto alla settima edizione, che analizza a livello nazionale il quadro energetico-ambientale, valutandone le prospettive con la messa a punto di scenari energetici alternativi basati sulle tendenze del sistema economico ed energetico del Paese.

Vorrei infine segnalare l'articolo relativo alle tecniche non distruttive applicate al famoso dipinto *l'Adorazione del Bambino* di Fra' Bartolomeo, per sottolineare come possano essere fruttuosamente utilizzate nel campo dei beni culturali, tecniche sviluppate originariamente dall'ENEA nei settori dell'energia e delle nuove tecnologie. Anche in questo campo l'Ente è in grado di rispondere con efficacia e competenza alla crescente domanda che viene dalle istituzioni centrali e locali.

Il Direttore Esecutivo
Flavio Giovanni Conti

editoriale

primo piano

4

IL RAPPORTO ENERGIA E AMBIENTE 2006 - ANALISI E SCENARI

THE 2006 ENERGY AND ENVIRONMENT REPORT ANALYSIS AND SCENARIOS

Carlo Manna

16

INTERVISTA A FATIH BIROL

INTERVIEW WITH FATIH BIROL

A cura di Paola Molinas

22

SITUAZIONE E INDIRIZZI ENERGETICO-AMBIENTALI REGIONALI 2007

REGIONAL ENERGY - ENVIRONMENT SITUATIONS AND TARGETS, 2007

Emidio D'Angelo

con la collaborazione di: Piergiorgio Catoni, Antonio Colangelo,
Luciano Coralli, Antonio Mori

38

APPLICAZIONE DI TECNICHE NON DISTRUTTIVE: L'ADORAZIONE DEL BAMBINO DI FRA' BARTOLOMEO

*APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES:
FRA' BARTOLOMEO, ADORATION OF THE CHRIST CHILD*

Pietro Moioli, Claudio Seccaroni, Franca Persia

50

LA FLUIDODINAMICA COMPUTAZIONALE PER L'OTTIMIZZAZIONE DEI PROCESSI DI COMBUSTIONE

*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
FOR OPTIMIZING COMBUSTION PROCESSES*

Eugenio Giacomazzi

studi & ricerche

62

S@S: SELFASSESSMENTSYSTEM PER LA GESTIONE AUTOMATICA DELL'AUTOVALUTAZIONE DI PERCORSI DI APPRENDIMENTO

*S@S:SELFASSESSMENTSYSTEM
AUTOMATIC SELF-ASSESSMENT IN LEARNING PROCESSES*
Maria Laura Bargellini, Gemma Casadei, Loredana Puccia

74

**LE SPECIE VEGETALI A RISCHIO DI ESTINZIONE
QUALI BIOINDICATORI DI FENOMENI DI CAMBIAMENTO**

*ENDANGERED PLANT SPECIES AS BIOINDICATORS
OF ENVIRONMENTAL CHANGE*
Patrizia Menegoni

84

GLI SCENARI ENERGETICI E AMBIENTALI

A cura di Francesco Gracceva

86

**DAL MONDO, DALL'UNIONE EUROPEA, DALL'ITALIA,
DALL'ENEA, INCONTRI, LETTURE**

- | | |
|---------------------|---|
| dal Mondo | • IEA per l'efficienza energetica 86 |
| dall'Unione Europea | • La BEI per le fonti rinnovabili 87
• Valutazione dei piani nazionali di emissione 87 |
| dall'Italia | • La sfida delle Biotecnologie 88
Primavera Italiana in Giappone 2007 |
| dall'ENEA | • Comunicare la desertificazione 90
• Frumisis: genetica per il grano duro 90 |
| Incontri | • Apriamo <i>la mente</i> 91
• Pirelli <i>International Award</i> 2006 91
• Femmes pour l'Europe 91
• Rapporto annuale sull'innovazione 92 |
| Letture | • Una scomoda verità 93
• Deep Economy 94
• Economia dei contenuti 95
• L'Europa nel mondo 95 |

Il Rapporto Energia e Ambiente 2006 - Analisi e scenari

A cura di Carlo Manna

È sempre più urgente che lo sviluppo tecnologico assuma nel nostro Paese un ruolo centrale nella politica industriale: in questa prospettiva la sfida dei cambiamenti climatici e dell'energia può divenire un'opportunità di sviluppo per il sistema industriale.

È questo il messaggio trasmesso dall'ENEA con il documento "Analisi e scenari", che accompagna il Rapporto Energia e Ambiente 2006, e del quale presentiamo una breve sintesi



Le grandi sfide dell'energia e dell'ambiente

È ormai generale il consenso scientifico sull'evidenza dei cambiamenti climatici e sulle sue cause¹ e un autorevole economista come Nicholas Stern afferma in un recente rapporto commissionato dal governo britannico², che rimediare ai danni provocati dai nuovi assetti climatici potrebbe costare sul lungo termine tra il 5 e il 20% del prodotto lordo mondiale. Mettere in atto azioni tempestive di riduzione delle emissioni consentirebbe invece una mitigazione dei processi di cambiamento climatico con un costo molto più contenuto che l'economista valuta in un ammontare pari all'1% annuo del PIL mondiale. Eppure, a quindici anni dalla Convenzione sui cambiamenti climatici - stipulata nell'ambito

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): *Climate Change* <http://www.ipcc.ch/>
2. Stern Review on the Economics of Climate Change (2006) http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm

The 2006 Energy and Environment Report analysis and scenarios

The need to give technology development a central role in Italy industrial policy is ever more urgent. In this perspective, the challenges of climate change and energy resources can become development opportunities for the nation industrial system.

This is the message ENEA sets out in the Analysis and Scenarios document that accompanies the 2006 Energy and Environment Report, of which we present a short summary

della Conferenza delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo - e a un anno dal primo periodo di implementazione del Protocollo di Kyoto (2008-2012), la strada della sostenibilità dei sistemi energetici risulta ancora incerta. Anche il percorso intrapreso dall'Unione Europea, che si è dimostrata il soggetto politico più determinato a livello mondiale nel conseguimento delle politiche per il clima, è tutt'altro che consolidato. Sul fronte delle emissioni, infatti, le tensioni introdotte dall'incremento del prezzo internazionale del petrolio hanno visto un maggiore ricorso al carbone soprattutto nell'industria termoelettrica, settore nel quale si erano conseguite le maggiori riduzioni di emissioni. Ed ancora poco efficaci nel compensare tale inversione di trend sono risultate le politiche di contenimento dei consumi, di miglioramento del sistema dei trasporti e di generazione da fonti rinnovabili. A partire dal 2001, infatti, le emissioni dell'Europa dei 15 si stanno progressivamente discostando dal trend virtuoso per l'obiettivo di Kyoto, pur rimanendo come dato aggregato inferiori ai livelli del 1990.

Importanti direttive comunitarie di recente approvazione nei settori del risparmio energetico, delle fonti rinnovabili e della cogenerazione introducono di fatto misure strutturali per il perseguimento degli obiettivi di Kyoto. Particolare

rilievo assume peraltro la direttiva che istituisce il meccanismo di *Emission Trading* (ETS). Tutte le maggiori direttive introducono, infatti, obiettivi indicativi mentre l'ETS, che interessa circa il 45% delle emissioni all'interno dell'Unione, rappresenta l'unico strumento vincolante esistente per la riduzione delle emissioni dell'8% per il periodo 2008-2012. Tale obiettivo è stato sottoscritto dall'UE e non dai singoli Stati membri, ai quali è stato assegnato un target nazionale a seguito dell'accordo di *burden sharing* comunitario, e questo spiega l'attenzione e la fermezza da parte della Commissione nel valutare i piani nazionali di assegnazione delle quote ai settori industriali. Di fronte ad uno strumento così efficace nel contenere le emissioni del settore industriale a livello europeo è importante che gli Stati nazionali, per non perdere di competitività a livello internazionale, non facciano gravare l'obiettivo di Kyoto sul solo settore industriale, ma adottino delle politiche nei settori non inclusi nella direttiva ETS, in particolare quello dei trasporti e quello dei consumi energetici civili. L'introduzione di obiettivi vincolanti in questi settori necessita da un lato della creazione di consenso da parte dell'opinione pubblica nell'accettare politiche di contenimento delle emissioni e, dall'altro, della messa in efficienza della macchina amministrativa pubblica nel definire gli strumenti ed i livelli di sussidiarietà più adeguati per dare risposta alle future sfide dei cambiamenti climatici.

La via per Kyoto e le implicazioni dal sopranazionale al locale

Gli impegni internazionali derivanti dalla ratifica del Protocollo di Kyoto, nello specifico della situazione italiana, da un lato rappresenteranno un banco di prova dell'attuale divisione delle competen-

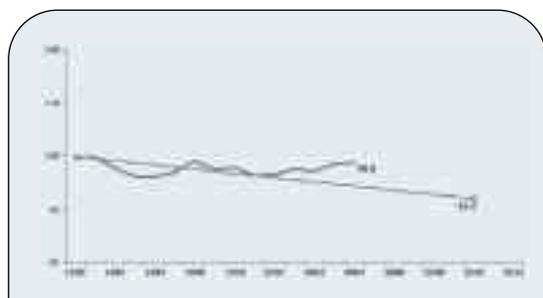


Figura 1

Andamento 1990-2004 delle emissioni dei Paesi dell'UE-15 e obiettivo 2008-2012 (valore 1990=100)

Fonte: Agenzia Europea per l'Ambiente

ze tra Stato e Regioni e, dall'altro, indurranno ad un processo di responsabilizzazione dei livelli di sussidiarietà più bassi dell'amministrazione pubblica: Regioni e Comuni. Al trasferimento di competenze alle Regioni in materia di energia, dovrà necessariamente corrispondere, con modalità che verranno definite dall'azione politica, un pari trasferimento di responsabilità in materia di emissioni climalteranti. In sostanza la maggiore efficacia da parte dei livelli dell'amministrazione decentrata nell'attuare politiche di abbattimento delle emissioni di gas serra, particolarmente evidenti nel settore dell'efficienza energetica, dei trasporti locali e nella generazione distribuita, dovrà essere attivata a seguito di un processo di ridefinizione delle reciproche competenze tra Stato e Regione. In questi anni, infatti, abbiamo assistito al trasferimento di competenze in materia di energia alle Regioni senza la necessaria dotazione da parte dell'amministrazione centrale di strumenti di regolazione e sintesi delle politiche nazionali. Non sono state elaborate a livello centrale linee guida che consentissero alle amministrazioni decentrate di dotarsi di strumenti adeguati e metodologie di regolazione compatibili a livello nazionale. D'altra parte lo Stato non ha messo in atto strumenti di contabilità delle emissioni a livello regionale, elemento base per permettere la delega a livelli più bassi di sussidiarietà, e non si dispone quindi di strumenti di monitoraggio delle politiche messe in atto a livello centrale.

Solo di recente³, è stata proposta l'introduzione di obiettivi regionali di promozione delle fonti rinnovabili e conte-

nimento dei gas serra. Tale passo dovrà essere il culmine di un processo durante il quale lo Stato avrà trasferito maggiori competenze ma, al pari, maggiori strumenti alle Regioni perché possano conseguire i risultati derivanti dalla consegna di maggiori responsabilità. Da questo punto di vista il processo di "federalismo fiscale" non potrà prescindere da una chiara definizione delle competenze tra Stato e Regioni in materia di fiscalità energetica quale strumento di politica ambientale.

Cambiamenti climatici: scenari e obiettivi per l'Unione Europea

La comunicazione della Commissione Europea sui cambiamenti climatici del 2005⁴ aveva già fatto emergere con forza il legame clima-energia-innovazione da tradurre in precise scelte di politica pubblica incentrate sullo sviluppo e la diffusione delle nuove tecnologie e sul finanziamento delle attività di ricerca e sviluppo in campo energetico. Il documento strategico "Una politica energetica per l'Europa"⁵, nel presentare un vero e proprio pacchetto di interventi sull'energia, mostra una decisa rifocalizzazione della finalità strategica che viene confermata e rafforzata dalle conclusioni della Presidenza del Consiglio europeo del 9 marzo 2007 che ricalcano in maniera sostanziale le priorità in termini di sicurezza degli approvvigionamenti e salvaguardia dell'ambiente individuate dalla Commissione. Il documento del Consiglio risulta più efficace nel delineare obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂, da conseguire sia attraverso un incremento dell'efficienza in mi-

3. Ddl 691/2006: "Delega al Governo per completare la liberalizzazione dei settori dell'energia elettrica e del gas naturale e per il rilancio del risparmio energetico e delle fonti rinnovabili...".

4. COM(2005) 615 def (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/it/com/2005/com2005_0615it01.pdf)

5. COM(2007) 1 def (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/it/com/2007/com2007_0001it01.pdf)

sura del 20% rispetto alle stime al 2020, sia attraverso l'introduzione di obiettivi vincolanti di sviluppo delle fonti di energia rinnovabile che dovranno fornire il 20% del fabbisogno energetico in Europa al 2020, e di ricorso a biocarburanti nel settore dei trasporti in misura di almeno il 10% al 2020.

Per realizzare gli obiettivi di riduzione del costo delle fonti rinnovabili e per fare in modo che l'industria europea conquisti una posizione di punta nel settore delle tecnologie energetiche innovative, la Commissione individua la necessità di elaborare un piano strategico europeo per le tecnologie energetiche basato su una visione a lungo termine, orientata alla realizzazione di un sistema energetico a basse emissioni di carbonio⁶. L'articolazione temporale di questo piano prevede tre tappe fondamentali in relazione alle quali si prevede che il processo di sviluppo tecnologico consenta di raggiungere i seguenti obiettivi:

- al 2020 coprire il 20% di energia prodotta con fonti rinnovabili, con un considerevole aumento di quelle più vicine al mercato (compresi i parchi eolici *off-shore* e i biocarburanti di seconda generazione);
- al 2030, produrre energia elettrica e calore con ridotte emissioni di carbonio anche attraverso il ricorso a sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂; adattare gradualmente i sistemi di trasporto ai biocarburanti di seconda generazione e alle celle a combustibile a idrogeno;
- dal 2050 e oltre, completare il passaggio ad un sistema energetico europeo "carbon free" attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e l'utilizzo sostenibile del carbone, del gas e del-

l'idrogeno e, in prospettiva, della fissione nucleare di quarta generazione.

In relazione a tali obiettivi la Commissione auspica un'azione strategica a livello europeo e indica la necessità di sviluppare, a livelli di massima eccellenza, un ventaglio di tecnologie energetiche accessibili, competitive, efficienti e a basse emissioni di carbonio e, nel contempo, di creare un ambiente stabile e affidabile per le imprese, in particolare per le piccole e medie imprese, in modo che queste tecnologie trovino largo impiego in tutti i settori dell'economia.

Scenari globali e accelerazione tecnologica

L'Agenzia Internazionale dell'Energia⁷ indica come priorità da perseguire nella sfida per il contenimento delle emissioni una accelerazione dei processi di trasferimento sul mercato delle tecnologie per la riduzione dei consumi e la decarbonizzazione dei processi di produzione e di uso finale dell'energia. In assenza di nuove politiche, premessa di base dello scenario di riferimento, la domanda di combustibili fossili, i loro flussi di scambio e le emissioni di gas serra confermerebbero infatti l'attuale tendenza alla crescita fino al 2030. Secondo lo scenario alternativo, che analizza l'evoluzione del mercato energetico a livello globale in relazione all'impatto di un insieme di politiche finalizzate all'aumento dell'efficienza e del ricorso a energie "carbon-free", le emissioni di CO₂ registrerebbero una crescita significativamente più lenta raggiungendo un livello di emissioni al 2030 inferiore a quello previsto dallo scenario di riferimento di circa il 16%. Lo sviluppo di scenari alternativi basati

6. "Verso un piano strategico europeo per le tecnologie energetiche" COM(2006) 847 def (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/it/com/2006/com2006_0847it01.pdf)

7. Agenzia Internazionale dell'Energia: World Energy Outlook 2006.

su un forte sviluppo delle tecnologie è un argomento affrontato in un precedente rapporto⁸ realizzato per esplorare il ruolo delle tecnologie nella prospettiva di riduzione delle emissioni. In questo rapporto si vede come l'effetto delle tecnologie consentirebbe, entro il 2050, una riduzione di un terzo della domanda di energia elettrica rispetto allo scenario tendenziale con un risparmio di combustibili equivalente a oltre la metà dei consumi mondiali odierni di petrolio. Tali scenari presentano una serie di possibili risultati basati sull'impiego accelerato⁹ di alcune tecnologie già disponibili sul mercato o in fase avanzata di sviluppo, impiegate prevalentemente nei settori dell'efficienza energetica, delle fonti rinnovabili, del sequestro e confinamento della CO₂ e del nucleare. Particolarmente significativa è la quota di risparmio energetico, e quindi delle emissioni di CO₂ evitate, attraverso interventi di incremento dell'efficienza energetica degli edifici, sia nel settore residenziale che in quello terziario.

Il sistema energetico nazionale: stato e prospettive di evoluzione

Domanda e offerta di energia in Italia

Alla modesta crescita dell'economia italiana ha corrisposto, nel corso del 2005, un limitato innalzamento della domanda complessiva d'energia e dell'intensità energetica. Il trend del consumo di energia primaria per fonti (figura 2) evidenzia nel 2005 un'ulteriore riduzione dei consumi dei prodotti petroliferi che restano comunque la fonte che contribuisce in quota maggiore alla domanda di energia (figura 3).

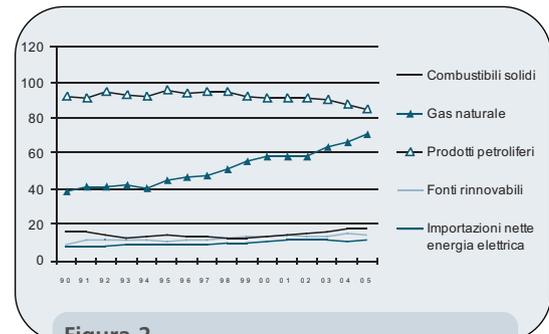


Figura 2
Consumi di energia per fonte, trend 1990-2005 (Mtep)
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

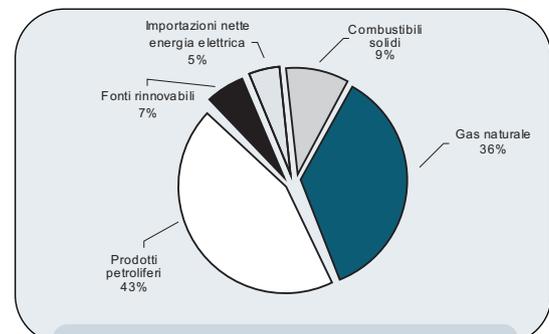


Figura 3
Consumi di energia per fonte, anno 2005
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

I dati dal 2002 al 2005, mettono in evidenza un aumento continuo dei consumi totali di energia con un tasso più elevato nel periodo 2002-2003 e un rallentamento nel periodo 2004-2005 mentre l'andamento del PIL nello stesso periodo è rimasto quasi stazionario, registrando una leggera diminuzione nel 2005. La corrispondente crescita del ricorso al gas naturale conferma d'altronde un processo di sostituzione in atto già dalla metà degli anni 90.

Anche il carbone fa segnare un calo nel 2005, invertendo in questo caso una tendenza all'aumento che si era verificata negli anni precedenti. Sostanzialmente stabile nel lungo periodo il dato dell'energia elettrica importata, che

8. Energy Technology Perspectives – Scenarios & strategies to 2050, International Energy Agency 2006.

9. Per questo motivo tali scenari sono definiti dall'AIE di "tecnologie accelerate" (ATC).

vede nel 2005 una riduzione rispetto al 2004.

In riduzione di quasi un punto percentuale il contributo delle rinnovabili che, data la forte prevalenza della fonte idroelettrica, è condizionato dai fattori stagionali. L'aumento della domanda di energia (figura 4) riguarda soprattutto i settori residenziale e terziario ed è causato essenzialmente da fattori climatici.

no rappresentate le quote di consumo per settore di uso finale nell'anno 2005.

L'andamento dei prezzi del greggio ha fatto crescere la fattura energetica italiana che ha sfiorato nel 2005 i 40 miliardi di euro, una cifra che rappresenta il 2,9% del PIL, facendo segnare uno degli incrementi annuali più elevati degli ultimi due decenni, pari ad oltre il 30% rispetto al 2004 (figura 6).

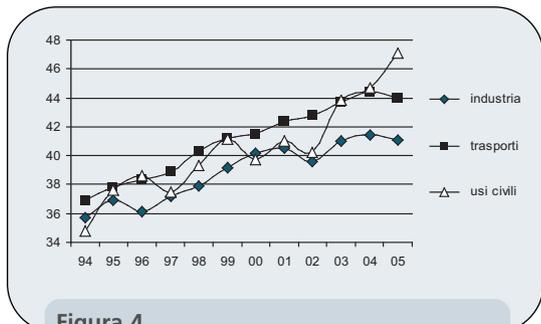


Figura 4
Consumi di energia per settori di uso finale, trend 1994-2005 (Mtep)
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

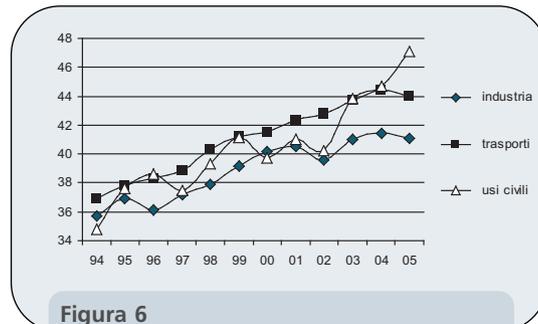


Figura 6
Andamento della fattura energetica negli anni 2000-2005 (miliardi di Euro)
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

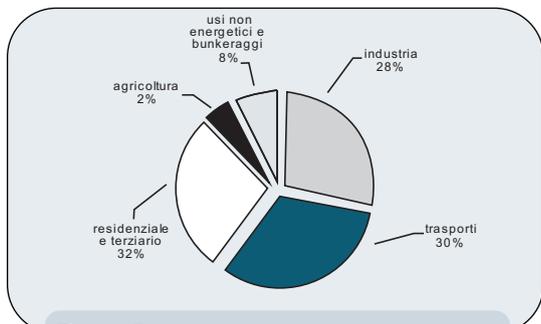


Figura 5
Quote per settore di uso finale dei consumi di energia, anno 2005 (Mtep)
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

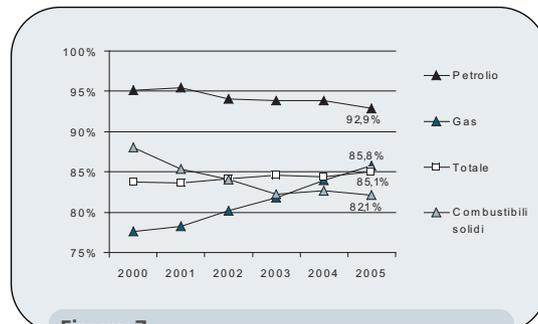


Figura 7
Andamento percentuale della dipendenza energetica per fonte negli anni 2000-2005
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

Tali consumi sono aumentati in maniera sostenuta, in particolare nel 2003, con un incremento sia di gas per il riscaldamento ambientale che di elettricità per la climatizzazione estiva. Il trend di crescita si conferma nel 2004, anche se ad un ritmo più contenuto, e nel 2005 anno in cui la crescita dei consumi del settore civile controbilancia la leggera diminuzione nel settore dell'industria e dei trasporti. In figura 5 so-

L'aumento della fattura energetica riflette un andamento delle importazioni di fonti primarie dall'estero, e quindi della dipendenza energetica dell'Italia, il cui andamento è in continua crescita a partire dalla fine degli anni 90. Come si vede in figura 7 la dipendenza complessiva dalle importazioni sale nel 2005 all'85,07%, con il 92,9% per il petrolio e il 16,1% per l'energia elettrica.

Evoluzione tendenziale e scenari di accelerazione tecnologica

A livello globale, già a partire dai prossimi decenni la domanda energetica in forte crescita non potrà essere soddisfatta dalle tecnologie tradizionali, basate sull'uso di combustibili fossili, senza aumentare la pressione sull'ambiente, sulla salute dell'uomo e sulla sicurezza dell'approvvigionamento. Dovranno quindi acquisire un ruolo sempre più rilevante tecnologie in grado di soddisfare la domanda riducendo al minimo tali pressioni. Ciò vale a maggior ragione per il sistema energetico nazionale, che si caratterizza per diverse peculiarità che hanno un impatto negativo sul sistema paese; prime tra tutte la forte dipendenza energetica.

Per valutare gli effetti di alcune misure volte a contenere i consumi di energia primaria l'evoluzione tendenziale del sistema energetico nazionale è stata confrontata con scenari che prevedono l'introduzione accelerata di tecnologie per incrementare l'efficienza energetica e il ricorso a fonti rinnovabili. L'evoluzione tendenziale del sistema energetico italiano è stata descritta sulla base delle tendenze recenti del sistema economico ed energetico, assumendo alcune ipotesi relative all'evoluzione sociale, demografica ed economica del Paese e ai prezzi dell'energia¹⁰. Per la valutazione delle prospettive di un processo di accelerazione tecnologica si è fatto uso di una consolidata metodologia che permette di formulare scenari che tengono conto dell'insieme delle tecnologie di mercato e prossime al mercato, garantendo in tal modo la coerenza interna dell'analisi. A questo riguardo sono stati individuati tre *cluster* principali di tecnologie: i primi due relativi alle tecno-

logie già da oggi disponibili, finalizzate a incrementare da un lato l'efficienza energetica nella produzione, nella trasformazione e nell'uso finale dell'energia, dall'altro il ricorso a fonti rinnovabili di energia. Il terzo gruppo riguarda tecnologie prossime all'introduzione sul mercato, che si prevede potranno consentire in tempi più lunghi, comunque non prima del 2020, un uso ambientalmente sostenibile di combustibili fossili anche attraverso la cattura e il confinamento della CO₂. Le misure di implementazione previste sono caratterizzate dalla loro discontinuità, a volte anche molto significativa, rispetto alle tendenze storicamente riscontrate nel nostro Paese, ma sono compatibili sia con il quadro di sviluppo economico ed energetico a livello italiano ed europeo, che con la prevista evoluzione delle tecnologie nel contesto internazionale. Rappresentano, in sostanza, quanto sembra realisticamente possibile fare fino al 2020, e nel decennio successivo, per modificare la struttura del sistema energetico italiano. Le misure possono essere riferite schematicamente a due distinti periodi temporali. Il primo riguarda il breve-medio periodo e contiene misure relative a tecnologie già disponibili per l'efficienza energetica e per le fonti rinnovabili. Il secondo riguarda il lungo periodo (dopo il 2020), nel quale si prevedono misure di intervento su tecnologie, oggi ancora in fase di sviluppo, per l'uso pulito dei combustibili fossili, il sequestro e il confinamento dell'anidride carbonica. L'introduzione di queste misure di politica energetica e ambientale nelle analisi di scenario determina un'evoluzione del sistema significativamente diversa da quella tendenziale, con conseguenze rilevanti sui consumi di energia e sulle emissioni di CO₂.

10. Ogni scenario è in effetti rappresentato da una forchetta che rappresenta due valori limite che rappresentano il campo di variabilità di parametri economici come la variazione del PIL e del prezzo del petrolio.

I consumi di energia

Un risultato di rilievo che emerge dal confronto fra gli scenari tendenziali e gli scenari di accelerazione tecnologica riguarda i consumi di energia primaria, che tendono sostanzialmente a stabilizzarsi a partire dai primi anni del prossimo decennio (figura 8). È significativo d'altra parte come i risultati dell'evoluzione alternativa non prevedano una riduzione dei consumi primari, neanche all'orizzonte 2030 e nonostante le ipotesi di interventi "forti".

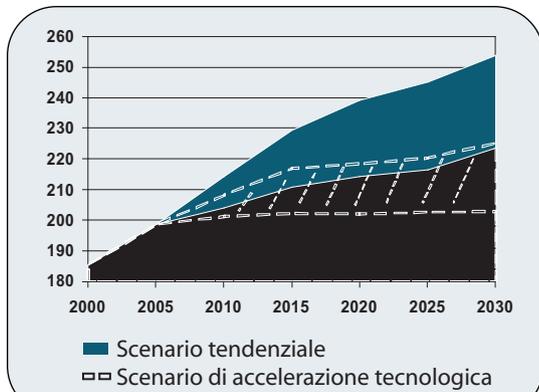


Figura 8
Consumi di energia primaria (tendenza-accelerazione tecnologica) (Mtep)
Fonte: elaborazione ENEA

Nell'evoluzione tendenziale i recenti forti incrementi del consumo di energia elettrica sembrano destinati a continuare (figura 9).

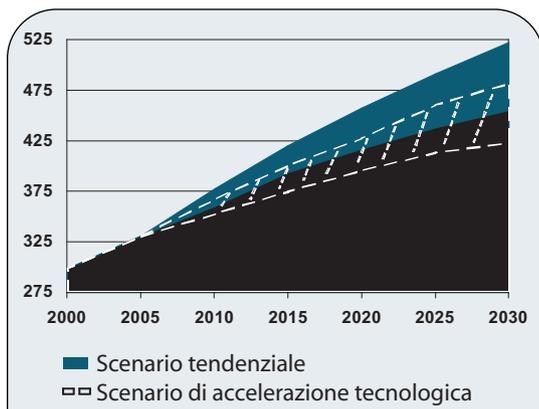


Figura 9
Consumi di elettricità negli scenari di riferimento e negli scenari di accelerazione tecnologica (TWh)
Fonte: elaborazione ENEA

Il maggior incremento dei consumi si verifica nel settore dei servizi (settore che continua a guidare la crescita economica) parzialmente mitigato dagli incrementi di efficienza. A questo riguardo gli scenari "di intervento" presentano un dato di rilievo: la riduzione dei consumi elettrici rispetto all'evoluzione tendenziale, pur significativa, è percentualmente meno pronunciata di quanto visto per l'energia primaria, un risultato che trova evidentemente riscontro nei consumi elettrici relativamente bas-

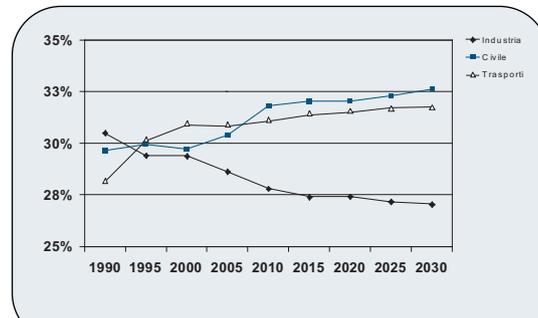


Figura 10
Usi finali di energia: quota dei consumi per settore (dati storici 1990-2005 e scenario tendenziale al 2030)
Fonte: elaborazione ENEA

si in Italia, tanto pro-capite quanto per unità di PIL, rispetto alla media europea.

Considerando infine i consumi di energia finale, l'industria è il settore che presenta la crescita minore e, già a partire dal breve periodo, il settore maggiormente responsabile dei consumi energetici diviene il civile. Negli scenari "di intervento" si assiste in tutti i settori di uso finale a una riduzione dei consumi piuttosto significativa. Nel settore civile, la riduzione è particolarmente forte nel residenziale, mentre nel terziario la riduzione dei consumi sembra più difficile, ma a fronte di margini di incremento di efficienza significativi. Nell'industria sembra possibile pervenire a una

sostanziale stabilità dei consumi energetici, mentre nei trasporti la riduzione dei consumi è difficile nel medio periodo, ma può essere rilevante nel lungo periodo.

Le emissioni di CO₂

L'evoluzione tendenziale del sistema energetico determina un costante aumento delle emissioni di anidride carbonica, che dopo essere aumentate del 13% tra il 1990 e il 2004, aumentano ancora del 4% circa tra il 2004 e il 2012, in evidente controtendenza rispetto alla riduzione prevista dal Protocollo di Kyoto, e progressivamente meno negli anni successivi. Un dato di notevole rilievo dell'evoluzione del sistema determinata dall'introduzione delle ipotizzate misure di politica energetica e ambientale (scenari di accelerazione tecnologica) è che entro il 2020 si arriva quanto meno alla stabilizzazione delle emissioni di anidride carbonica ai valori attuali. Soprattutto, è significativa l'inversione della tendenza crescente di lungo periodo determinata dalle misure, che arriva a produrre nel 2020 riduzioni delle emissioni superiori al 10% rispetto al 2005.

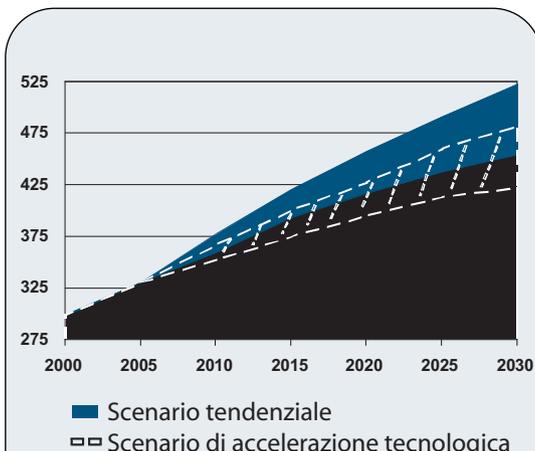


Figura 11
Emissioni di CO₂ negli scenari tendenziali e negli scenari di intervento (Mt)
Fonte: elaborazione ENEA

Questo risultato, pur molto significativo, segnala d'altra parte come nel medio periodo si debba tener conto della dinamica dei consumi di energia primaria fossile, che restano consistenti, e della indisponibilità di tecnologie di sequestro della CO₂ prima del 2020. Nei periodi successivi si rende invece disponibile il sequestro della CO₂ nel settore elettrico e della produzione di carburanti da carbone-biomasse (sebbene nei primi anni questa opzione si mantenga su valori non troppo elevati).

Investimenti nelle tecnologie e competitività

Un elemento di rilievo che emerge dall'analisi è che le riduzioni consistenti dei consumi di energia, e più ancora delle emissioni di CO₂, sono determinate in primo luogo da un uso massiccio di tecnologie più efficienti. Ciò richiede d'altra parte maggiori investimenti in tecnologie innovative (figura 12). Nel corso dell'intero orizzonte temporale degli scenari l'aumento della spesa per investimenti in tecnologie energetiche risulta complessivamente piuttosto contenuto, ma è interessante notare co-

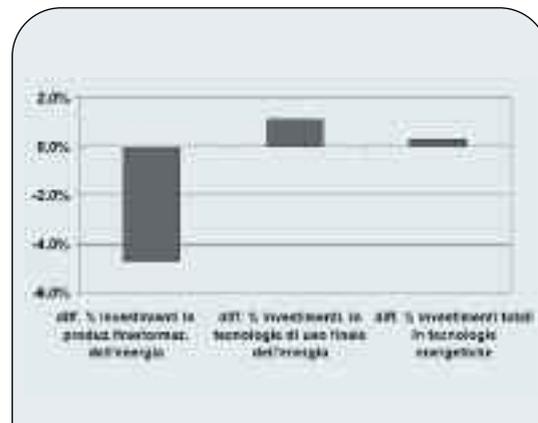


Figura 12
Differenza percentuale nelle spese per investimenti in tecnologie energetiche tra lo scenario tendenziale e lo scenario di intervento (2005-2040)
Fonte: elaborazione ENEA

me la realizzazione delle misure richieda un notevole cambiamento nella "struttura" degli investimenti, che negli scenari di intervento sono molto maggiori negli usi finali dell'energia, mentre sono inferiori nelle fasi di produzione e conversione dell'energia:

- dal lato della domanda, cioè negli usi finali dell'energia, gli scenari che prevedono specifici interventi di carattere energetico-ambientale presentano infatti una spesa per investimenti in tecnologie innovative superiore a quella degli scenari tendenziali, in conseguenza degli acquisti di più efficienti automobili, motori industriali, elettrodomestici e altri apparecchi di vario tipo (nell'intero periodo 2005-2040 tale aumento è piuttosto modesto in percentuale, ma è comunque significativo in termini assoluti);
- dal lato dell'offerta, invece, cioè nelle fasi di produzione e conversione dell'energia, gli scenari di intervento presentano investimenti nelle tecnologie di molto inferiori a quelli degli scenari A1/B1 (in percentuale la riduzione supera il 4%), grazie alle riduzioni dei consumi energetici che caratterizzano tali scenari (riduzioni dei consumi dovute non solo ai maggiori investimenti in tecnologie ma anche al cambiamento modale nei trasporti, quindi anche a cambiamenti nelle scelte dei consumatori).

Investire nell'innovazione tecnologica nei settori degli usi finali di energia fa evidentemente diminuire l'incremento della potenza da installare. Allo stesso tempo si pone la questione degli utenti finali, sui quali ricadono molte responsabilità di questa scelta. Quanto più il sistema produttivo riuscirà a combinare innovazione, tecnologia ed efficienza, tanto minore sarà il costo a carico dell'utente finale e tanto maggiore la probabilità dell'effettiva realizzazione del suddetto cambiamento del sistema energetico. Si tratta di una questione di notevole rilievo, di cui tener con-

to nella stima dei possibili effetti delle politiche energetiche e ambientali, perché la realizzazione degli obiettivi potenziali di incremento dell'efficienza richiede evidentemente comportamenti "virtuosi" di un gran numero di attori diversi, e perché tra gli utenti finali le resistenze al cambiamento tecnologico sono inevitabilmente maggiori. Il modesto aumento complessivo della spesa per investimenti negli scenari di intervento comporta per il sistema non solo una riduzione dei consumi energetici, ma anche del costo dell'energia, in primo luogo per la riduzione delle spese per le importazioni di energia. Tali riduzioni permettono infatti nel lungo periodo di arrivare a compensare completamente le maggiori spese legate agli investimenti in nuove tecnologie. In definitiva, l'attivazione delle misure previste negli scenari di intervento può determinare una serie di benefici (diretti e indiretti), che non sempre sono facilmente esprimibili in termini monetari: i consistenti risparmi delle spese per l'energia si aggiungono infatti ai benefici legati alla riduzione delle emissioni (benefici ambientali) e al significativo incremento della sicurezza energetica del paese. Negli scenari di intervento l'import di petrolio si riduce infatti di valori compresi tra 15 e 25 Mtep e l'import di gas naturale di circa 10 Mtep, con conseguenti risparmi della spesa per le importazioni di energia che superano il 10%.

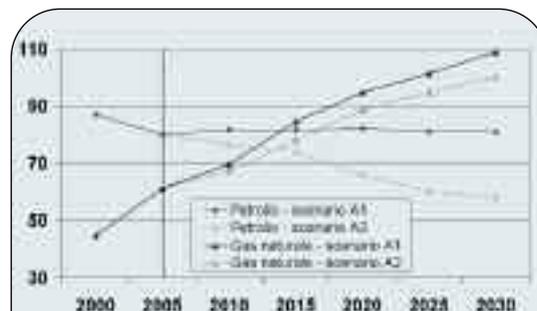


Figura 13
Importazioni di petrolio e gas in due scenari (Mtep)
Fonte: elaborazione ENEA

Infine, nella valutazione delle possibili evoluzioni del sistema energetico non si può prescindere da valutazioni più generali, nelle quali il confronto dei costi e benefici interni al sistema energetico è affiancato da un confronto tra i vincoli e le opportunità del sistema produttivo nel suo insieme. Lo sviluppo tecnologico nel settore energetico può per un verso avere ricadute (dirette e indirette) sullo sviluppo tecnologico di tutto il sistema economico, e quindi sulle sue opportunità di crescita ma, per un altro verso, ciò richiede la capacità, da parte del sistema, di attivare processi di creazione di nuove competenze tecnologiche, mediante quei circuiti virtuosi che vanno dagli investimenti nella ricerca alla realizzazione di "piattaforme tecnologiche" nazionali su cui giocare la scommessa competitiva del paese.

Il posizionamento competitivo dell'Italia nei settori dell'energia

Le evidenze relative allo sviluppo del commercio internazionale di componenti e sistemi per la produzione di energia e il concomitante mutamento degli assetti geoeconomici ad esso sottostante, tendono a mettere in luce come la domanda per un uso ambientalmente sostenibile dell'energia stia alimentando una nuova fase di strategie di sviluppo produttivo e tecnologico a livello mondiale. Colpisce in particolare il ruolo assunto dall'area dei Paesi asiatici e in maniera crescente dalla Cina nella produzione e nello scambio di tecnologie energetiche, con rilevanti evoluzioni per ciò che concerne quelle applicate all'uso di fonti rinnovabili. È importante tuttavia cogliere l'evoluzione che ha caratterizzato negli ultimi anni lo sviluppo tecnologico dei Paesi europei che si sono mobilitati con vasti programmi di incentivazione e di investimento nell'area delle

fonti rinnovabili. In particolare, le nuove dinamiche che si stanno delineando nelle tecnologie per l'uso di fonti rinnovabili, sono fonte di diversificazione tecnologica per i maggiori Paesi, mentre per i più piccoli si stanno trasformando in una importante base di progettazione tecnologica. L'UE, che complessivamente appare ancora despecializzata in quest'area, registra infatti al suo interno "picchi" di specializzazione non solo di grandi Paesi, come la Germania in posizione di *leadership* in tutte le tecnologie energetiche ma, soprattutto, di paesi quali la Danimarca e la Spagna, che proprio in virtù della presenza all'interno di questo settore compiono un forte balzo competitivo in tutto il comparto delle tecnologie energetiche.

La ripresa dell'interesse dell'UE-15 sui temi della ricerca energetica e dei programmi di sviluppo tecnologico che ne conseguono non sembra, finora¹¹, aver coinvolto in misura significativa l'Italia. L'esame dei dati sulle spese governative per attività di ricerca nel settore dell'energia conferma, infatti, la debolezza strutturale, in termini di concentrazione e di livello di finanziamento, della situazione nazionale. La riduzione della spesa pubblica in ricerca e sviluppo nel settore dell'energia in Italia nell'ultimo decennio ha inoltre danneggiato una situazione già compromessa che si è tradotta, soprattutto a partire dal nuovo decennio, in un decremento del rapporto tra tale spesa e il totale della spesa pubblica in ricerca e sviluppo, in contro tendenza con quanto, si registra per diversi Paesi dell'UE-15. È possibile comunque osservare come il declino si commisuri con un sistema di ricerca privata ulteriormente indebolito e a un dato relativo al complesso delle spese in ricerca sul PIL in discesa e tra i più bassi dell'UE-15, e quindi ancora ben lungi dal soddisfare gli obiettivi più generali di Lisbona. Riguardo all'entità del-

11. Gli ultimi dati disponibili risalgono al 2004.

la spesa per R&S delle imprese, che riflette tra l'altro la specializzazione produttiva dei singoli Paesi nei settori tecnologicamente avanzati, deve essere inoltre rilevato come per l'Italia l'arretramento in rapporto al PIL si sia particolarmente accentuato dopo il 2001, al punto da essere superati in crescendo dalla Spagna nel 2003.

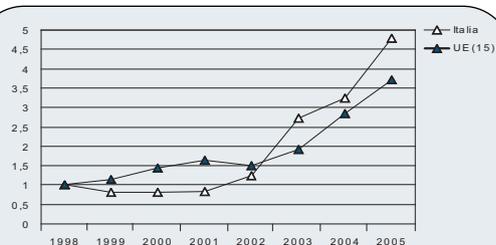


Figura 14
Andamento della quota di ricerca delle imprese (BerD) in rapporto al PIL: il sorpasso della Spagna rispetto all'Italia
Fonte: elaborazione ENEA su dati ONU

L'Italia appare anche inserirsi con molta più difficoltà nel rinnovato scenario della competizione tecnologica che negli ultimi anni ha caratterizzato il rilancio dell'Unione. La già scarsa presenza dell'Italia nelle tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili non trova adeguate compensazioni nelle tecnologie più tradizionali nell'area della termoelettromeccanica. Negli ultimi tre anni l'andamento delle quote delle esportazioni mondiali dell'Italia nella termoelettromeccanica rispetto alla media dei Paesi dell'UE-15 manifesta peraltro una accentuata divergenza, delineando una preoccupante perdita di competitività. Tale debolezza si manifesta nell'ambito delle diverse tecnologie delle fonti rinnovabili e in controtendenza rispetto agli andamenti delle quote di mercato all'export dell'UE a 15. Nell'ultimo triennio agli andamenti declinanti delle quote di export si associa anche una crescita delle importazioni superiore a quella media registrata dall'UE a 15 che genera un deficit commerciale di tutto il comparto delle tecnologie per l'uso di fonti rinnovabili.

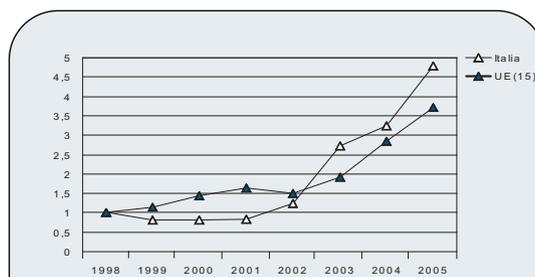


Figura 15
Dinamica delle importazioni di componenti e sistemi per la produzione di energia da fonti rinnovabili dell'Italia nel confronto europeo
Fonte: elaborazione ENEA su dati ONU

In assenza di una dinamica competitiva come quella che si va diffondendo in diversi Paesi europei, l'Italia sembra dunque iniziare a manifestare in questo campo una specifica forma di dipendenza tecnologica, analogamente con quanto già verificatosi nell'ambito dei processi di ammodernamento tecnologico attuati in precedenza. Il senso di tale dipendenza tecnologica deve essere naturalmente ricondotto al rinnovato scenario di profonda trasformazione del settore energetico a livello "globale" nel quale è stato impresso un forte indirizzo verso un più esteso ricorso a fonti rinnovabili di energia che sollecita innovazioni tecnologiche. Dipendenza energetica e dipendenza tecnologica rappresentano in definitiva due facce di uno stesso vincolo allo sviluppo del Paese. In particolare, se la capacità di incidere sulla dipendenza energetica risiede sempre più nell'elaborare opportune soluzioni tecnologiche, per il Paese esiste il rischio di sviluppare una dipendenza tecnologica secondaria a quella energetica, a meno che le politiche orientate alla ricerca e allo sviluppo tecnologico non assumano un ruolo centrale nell'azione della politica industriale.

ENEA - Ufficio di Presidenza

Per informazioni
carlo.manna@sede.enea.it

Fatih Birol è Chief Economist e Capo della Divisione di Analisi Economica dell'Agenzia Internazionale dell'Energia, che ha sede a Parigi, e responsabile del World Energy Outlook, pubblicazione "simbolo" dell'AIE. Nato ad Ankara in Turchia, nel 1958, ha conseguito il BSc in Ingegneria impiantistica presso il Politecnico di Istanbul e successivamente l'MSc e il PhD in economia dell'energia presso il Politecnico di Vienna.



Ha lavorato 6 anni presso il Segretariato dell'OPEC a Vienna prima di entrare all'AIE nel 1995. Pubblica regolarmente articoli in tema di analisi e politica energetica internazionale ed è relatore in numerosi convegni in tutto il mondo.

Nel giugno 2005 ha ricevuto "l'Outstanding Contributions to the Profession Award" dell'Associazione Internazionale degli Economisti dell'Energia.

Nell'ottobre 2006 è stato nominato "Chevalier dans l'ordre des Palmes Academique" dal governo francese, quale riconoscimento del suo importante contributo nel campo dell'economia dell'energia. Nel marzo 2007 ha ricevuto la "Golden Honour medal" dalla Repubblica austriaca quale riconoscimento per il suo rilevante contributo alla comprensione dei temi relativi all'energia a livello globale.

Intervista a Fatih Birol

A cura di Paola Molinas

Dottor Birol, lei è Chief Economist dell'AIE, nonché Capo della Divisione di Analisi Economica. Ci può descrivere brevemente le principali linee della sua attività presso l'Agenzia?

Il mio incarico consiste nel fornire informazioni e pareri al Direttore Generale e al Governing Board dell'AIE sull'impatto economico del mercato dell'energia e dello sviluppo industriale. Tuttavia, la mia maggiore responsabilità è costituita dal mio ruolo di Direttore della pubblicazione "simbolo" dell'AIE, il World Energy Outlook. Rappresento inoltre di frequente l'AIE a convegni internazionali, riunioni intergovernative e con il mondo industriale, nonché in conferenze stampa.

Come e quando nasce il World Energy Outlook?

Grazie al ruolo intergovernativo dell'AIE, il World Energy Outlook è in una posizione unica per fornire analisi imparziali ed oggettive e proiezioni in campo energetico circa l'intero panorama mondiale.

In origine, lo scopo del WEO, pubblicato dal 1993 con cadenza annuale, era quello di informare i governi membri dell'AIE sui possibili scenari energetici futuri, per consentire loro di utilizzare queste analisi nella definizione delle politiche energetiche. Questo rimane il ruolo principale della pubblicazione; tuttavia, grazie all'approfondimento dell'analisi e alla vasta gamma di temi particolarmente "caldi" focalizzati su base annua, il WEO è divenuto un documento indispensabile anche per tutti gli opera-

tori dell'industria energetica, nonché la pubblicazione su temi energetici più venduta nel mondo.

Può darci una sua opinione sull'utilità per i *policy maker* degli scenari energetici da voi elaborati con metodologie quantitative sofisticate?

Un esempio è stato l'ampio riconoscimento del nostro lavoro durante gli ultimi incontri del G8. I leader G8, incontrando quelli dei più importanti paesi in via di sviluppo ed i capi delle organizzazioni internazionali (fra cui l'AIE) a Gleneagles nel luglio 2005 e a San Pietroburgo nel luglio 2006, hanno chiesto all'AIE di "suggerire scenari energetici alternativi e strategie finalizzate ad un futuro energetico pulito e competitivo". Il WEO 2006 risponde a questa richiesta.

Nonostante la modellistica sia estremamente sofisticata, il WEO presenta i risultati in una forma chiara e concisa, ritagliata sulle necessità dei *policy maker*, che sono i nostri principali fruitori. In occasione di ogni pubblicazione dell'Outlook il nostro gruppo di lavoro, in collaborazione con altri colleghi dell'AIE ed esperti dei paesi membri, studia i temi energetici emergenti su scala mondiale ed i loro impatti sulle politiche energetiche. A mio parere il WEO è il riferimento più importante per i *policy maker*, e non solo dei paesi membri, proprio per il carattere di globalità dell'industria energetica.

Passiamo al WEO 2006: qual è il suo messaggio principale? Quali sono le "grandi sfide dell'energia e dell'ambiente" che emergono dall'analisi?

Il mondo sta affrontando una duplice minaccia in campo energetico: quella di non disporre di adeguate e sicure forniture energetiche a prezzi accessibili e quella dei danni ambientali causati dall'eccessivo consumo di energia. Il lievitare dei prezzi dell'energia ed i recenti eventi di natura geopolitica ci hanno ricordato il ruolo essenziale che un'energia accessibile gioca nella crescita economica e nello sviluppo dell'umanità, come d'altro canto la vulnerabilità del sistema energetico globale nella generazione di gravi crisi. La salvaguardia delle forniture energetiche è ancora una volta in cima all'agenda politica internazionale. Il modello attuale di offerta energetica porta con sé la minaccia di danni ambientali gravi e irreversibili, inclusi i cambiamenti climatici su scala globale. Coniugare gli obiettivi della sicurezza degli approvvigionamenti energetici con la protezione ambientale richiede un'azione forte e coordinata da parte dei governi e dell'opinione pubblica. La necessità di tenere a freno la crescita della domanda di fonti fossili, di aumentare la diversificazione geografica e dell'offerta energetica e di mitigare le emissioni che destabilizzano il clima è più che mai pressante.

Alla luce degli scenari da voi elaborati, pensa che il sistema energetico globale sia abbastanza flessibile da intraprendere in tempo ragionevole un "percorso di sostenibilità"?

Il WEO 2006 conferma che la domanda ed i flussi di commercio dei combustibili fossili, nonché le emissioni di gas serra, in assenza di nuove azioni governative - premessa base del nostro Scenario di Riferimento - seguirebbero il loro attuale percorso di insostenibilità fino al 2030. Esso dimostra inoltre, nello Scenario Alternativo, che un pacchetto di politiche e misure che i paesi del mondo stanno prendendo in considerazione potrebbe ridurre in modo significativo, se implementato, l'incremento della domanda e delle emissioni. Per di più, il costo economico di queste politiche sarebbe più che compensato dai benefici economici provenienti dall'uso e dalla produzione di energia in modo più efficiente.

Nello Scenario Alternativo la domanda primaria di energia mondiale al 2030 è più bassa del 10% circa rispetto allo Scenario di Riferimento, il che equivale più o meno all'attuale consumo di energia della Cina. In totale contrasto con lo Scenario di Riferimento le importazioni di petrolio dei paesi OCSE restano stabili fino a circa il 2015, dopo di che cominciano a scendere. Secondo lo Scenario di Riferimento, le emissioni di anidride carbonica dovute al sistema energetico subiscono una riduzione nel 2015 di circa 1,7 Gt, equivalenti ad un 5%, e nel 2030 di circa 6,3 Gt, equivalenti al 16%.

Anche se i governi effettivamente implementassero tutte le politiche che sono state prese in considerazione per ridurre le importazioni di energia e le emissioni - come si dà per

assunto nello Scenario Alternativo - queste aumenterebbero ancora fino al 2030. Un futuro energetico decisamente più sostenibile è a nostra portata attraverso l'uso di tecnologie già disponibili o prossime alla commercializzazione. Io ritengo, come sosteniamo da tempo, che sia necessario un approccio organico allo sviluppo ed alla effettiva disponibilità di tecnologie. Nel WEO 2006 uno scenario BAPS "Beyond the Alternative Policy Scenario - Oltre lo Scenario Alternativo" illustra come l'obiettivo estremamente ambizioso di limitare le emissioni di CO₂ al 2030 ai livelli attuali possa essere realizzato. Ciò richiederebbe un taglio alle emissioni di 8 Gt in più rispetto allo Scenario Alternativo. I 4/5 di riduzione dell'energia e delle emissioni nel BAPS provengono da politiche anche più forti volte a migliorare l'efficienza energetica, dare impulso al nucleare e alle rinnovabili per la generazione di energia elettrica, sostenere l'introduzione di tecnologie per la cattura e lo stoccaggio di CO₂, una delle opzioni più promettenti per la riduzione delle emissioni nel lungo termine. E ancora, lo spostamento di tecnologie evidenziato nel BAPS, oltre ad essere tecnicamente attuabile, sarebbe di dimensioni senza precedenti in termini di ampiezza e rapidità di diffusione.

Ritiene che un eventuale ritorno del prezzo dell'energia su valori più vicini a quelli registrati in passato possa scoraggiare l'adozione di politiche di riduzione dei consumi e differenziazione dell'offerta?

Gli elevati prezzi dell'energia danneggiano la salute dell'economia globale. Anche se la maggior parte delle economie che si basano sull'importazione del petrolio hanno continuato a crescere fortemente dal 2002 in poi, esse sarebbero cresciute anche più rapidamente se il prezzo del petrolio e di altre forme di energia non fosse aumentato. In molti paesi importatori, aumenti nel valore delle esportazioni di beni non-energetici, i cui prezzi sono saliti, hanno compensato almeno in parte l'impatto dei prezzi più elevati dell'energia. L'impatto finale di prezzi più elevati rimane incerto sulle prospettive macroeconomiche, in parte perché gli effetti dei recenti aumenti di prezzo non hanno pienamente dato i loro effetti sul sistema economico.

Si è già detto che gli alti prezzi dell'energia incoraggiano l'adozione di politiche di efficienza energetica e, cosa ancor più importante, l'investimento in forme di energia alternative e rinnovabili. Le tecnologie relative a fonti energetiche quali l'eolico off-shore, i bio-combustibili di seconda generazione ed il solare richiedono maggiori investimenti per diventare competitive economicamente nei confronti dei combustibili fossili, e questi investimenti possono arrivare con maggiore probabilità quando i prezzi dei combustibili fossili sono alti. Anche se devo subito aggiungere che in molti casi l'azione governativa sotto forma di incentivi, tariffe e rimozione di barriere è più incisiva ai fini dello sviluppo di queste tecnologie rispetto all'effetto degli alti prezzi dell'energia.

Lei ricorda spesso che "il tipo di tecnologia che adottiamo ad oggi sarà cruciale per determinare i prossimi 50 anni, dal momento che un impianto ha un ciclo di vita di 60 anni". Quali sono a suo parere le opzioni tecnologiche da sviluppare nell'immediato?

Nello Scenario Alternativo non esiste una tecnologia che sia "l'asso nella manica" in grado di realizzare una riduzione nei consumi di energia e nelle emissioni di CO₂. Dovrebbe essere incrementato l'intero portafoglio delle opzioni tecnologiche. Le politiche di efficienza energetica e le tecnologie hanno i più alti potenziali di risparmio, per cui potremmo dire che "l'impianto più pulito è proprio quello che non si deve costruire!". L'altro punto chiave insieme a quello relativo al miglioramento delle tecnologie è costituito dalla velocità di implementazione. L'analisi dello Scenario Alternativo evidenzia l'urgenza con la quale l'azione politica deve agire. Ogni anno di ritardo nell'implementazione delle politiche analizzate porterebbe ad un effetto sproporzionatamente più ampio sulle emissioni e sul consumo di energia. Ad esempio, se le politiche fossero implementate con un ritardo di dieci anni, a partire dal 2015, le emissioni cumulative evitate al 2030 rispetto allo

Scenario di Riferimento sarebbero solo del 2%, comparate con l'8% dello Scenario Alternativo. Per di più, ritardi nell'aumentare gli impegni sulla R&S in campo energetico, in particolare nel campo della cattura e stoccaggio della CO₂, costituirebbero un ostacolo rispetto alle previsioni di riduzione delle emissioni dopo il 2030.

Considerando i settori che incidono maggiormente sulla crescita delle emissioni, la vostra analisi mostra l'opportunità di interventi differenziati per ciascuna area geografica?

Nello Scenario Alternativo, rispetto allo Scenario di Riferimento, le emissioni di anidride carbonica dovute al sistema energetico subiscono una riduzione nel 2015 di 1,7 Gt, equivalenti al 5%, e nel 2030 di 6,3 Gt, equivalenti al 16%.

Politiche volte ad una produzione e ad un uso più efficiente dell'energia contribuiscono più o meno per l'80% alle emissioni evitate di CO₂. La parte rimanente proviene dal passaggio all'utilizzazione di combustibili a basse e/o zero emissioni. Un uso più efficiente dei combustibili, principalmente attraverso mezzi di trasporto più efficienti, incide per quasi il 36% sulle emissioni evitate.

Un uso più efficiente dell'energia elettrica in un ampio spettro di applicazioni, che includono illuminazione, condizionamento, elettrodomestici e motori industriali, incide per un altro 30%. Una produzione di energia più efficiente contribuisce per il 13%. Le rinnovabili e i biocombustibili producono insieme un altro 12% ed il nucleare il rimanente 10%. L'implementazione di una sola dozzina di politiche darebbe come risultato il 40% circa di emissioni di CO₂ evitate al 2030.

Le politiche più efficaci ai fini della riduzione delle emissioni producono inoltre riduzioni molto consistenti nell'importazione di petrolio e gas.

Politiche per ridurre le emissioni di CO₂, come del resto tutte quelle inerenti al settore energetico, dovrebbero essere ritagliate sulle specificità di ciascun paese o regione. Le azioni considerate nello Scenario Alternativo portano le emissioni dei paesi OCSE e delle economie in transizione a stabilizzarsi e poi a diminuire prima del 2030. Le loro emissioni sono nel 2030 ancora leggermente più alte rispetto al 2004, ma ben al di sotto di quelle evidenziate nello Scenario di Riferimento. Le emissioni dell'Unione Europea e del Giappone scendono al di sotto dei livelli attuali. Quelle delle regioni in via di sviluppo continuano a crescere, ma rispetto allo Scenario di Riferimento la quota di aumento rallenta notevolmente durante il periodo considerato dall'Outlook.

Considerando le ipotesi da voi utilizzate nello Scenario Alternativo del WEO e i risultati ottenuti, come valuta gli obiettivi stabiliti recentemente dall'UE per il 2020 (20% energia primaria da rinnovabili e 20% di risparmio energetico rispetto allo Scenario di Riferimento, 10% di biocarburanti nei consumi per trasporto, -20% emissioni rispetto al 1990)?

Gli obiettivi stabiliti recentemente dall'Unione Europea sono in gran parte ambiziosi, ma non irraggiungibili. Nello Scenario Alternativo del WEO noi raggiungiamo gli obiettivi dell'Unione Europea su biocombustibili e rinnovabili, anche se in ritardo di qualche anno, ma non quelli relativi alla riduzione della CO₂. Le emissioni di CO₂ dell'Unione Europea derivanti dal sistema energetico ammontavano nel 1990 a 3808 Mt, ed ammontano al momento a 3.847 Mt. Al 2020 questa cifra arriverà a 4.163 Mt nello Scenario di Riferimento, mentre nello Scenario Alternativo si ridurrà leggermente fino a 3.748 Mt. Cosicché troviamo in quest'ultimo una lieve riduzione di emissioni di CO₂ al 2020 rispetto ai livelli del 1990, lontana dall'obiettivo di riduzione del 20%. L'Unione Europea deve agire velocemente per dare segnali forti, volti a cambiare i piani attuali e ad investire nelle rinnovabili. Ogni anno di ritardo renderà più difficile il raggiungimento degli obiettivi.

Il vostro rapporto mostra come le politiche di incentivazione producano risultati netti positivi. D'altra parte determinano anche rilevanti effetti redistributivi tra i settori della domanda e dell'offerta di energia, imponendo uno sforzo note-

vole (in termini di investimenti) alla molteplicità degli utilizzatori finali. Ciò pone almeno due questioni di rilievo: a) come far partecipare i soggetti favoriti da questo shift degli investimenti a una politica di riequilibrio dei costi di investimento (anche per diffondere presso l'opinione pubblica il messaggio della "opportunità" della risorsa efficienza); b) come fare in modo che gran numero di utenti realizzi effettivamente gli investimenti necessari.

Complessivamente, le nuove politiche e misure analizzate nello Scenario Alternativo generano risparmi finanziari che eccedono di gran lunga il costo iniziale di investimento extra per i consumatori. Gli investimenti totali 2005-2030 per la filiera energetica – dal produttore al consumatore – sono inferiori di 560 miliardi di dollari rispetto allo Scenario di Riferimento. Gli investimenti nelle apparecchiature per gli usi finali e in edilizia sono superiori di 2,4 trilioni di dollari, ma ciò è più che compensato dai 3 trilioni di dollari di investimenti evitati dal lato dell'offerta. Nello stesso periodo, il costo dei combustibili risparmiato dai consumatori ammonta a 8,1 trilioni di dollari, che supera abbondantemente gli investimenti extra dalla parte della domanda, necessari per ottenere questi risparmi. Le variazioni negli investimenti relativi al settore elettrico prodotte dalle politiche considerate nello Scenario Alternativo generano risparmi di grande entità. In media, per ogni dollaro addizionale investito in apparecchiature, elettrodomestici ed edifici più efficienti, si risparmiano più di due dollari di investimento dal lato dell'offerta.

Ciò significa naturalmente che alcuni soggetti economici traggono dei vantaggi da questi cambiamenti, ed altri degli svantaggi. Tuttavia, la società nel suo complesso ne avrà dei vantaggi dal punto di vista economico, della sicurezza energetica e della salvaguardia ambientale. A questo riguardo è importante il ruolo del governo, per far sì che i benefici interessino l'intera società e per compensare coloro che nel breve termine hanno degli svantaggi. Il governo deve inoltre garantire l'attuazione di questi cambiamenti attraverso politiche, leggi e incentivi nuovi.

Pensa che la fissazione di obiettivi ambiziosi possa avere un feedback positivo sull'intero sistema economico, stimolandone la propensione all'innovazione e quindi la competitività, oppure c'è il rischio di una penalizzazione delle economie europee nei confronti del resto del mondo?

Come lei ha correttamente indicato, obiettivi ambiziosi possono stimolare l'innovazione e gli investimenti, concentrando l'attenzione pubblica, dell'industria e del governo su una meta importante. Certo non è difficile fissare un obiettivo ambizioso; il problema è raggiungerlo. L'effetto che deriva dall'aver raggiunto obiettivi ambiziosi è che altri paesi possono essere incoraggiati a seguire l'esempio del paese che per primo ha intrapreso coraggiosamente l'iniziativa. D'altra parte, il mancato raggiungimento di obiettivi ambiziosi può essere usato quale argomento forte contro una politica proattiva, il che può avere conseguenze negative.

Uno sguardo all'immediato futuro: la crescita impetuosa di paesi come la Cina e l'India, cui si accompagna uno straordinario aumento della domanda di energia, avrà pesanti ripercussioni sui mercati globali. Può darci a questo proposito una breve anticipazione dell'Outlook 2007?

Cina e India, i mercati energetici a più alto tasso di crescita, costituiscono lo speciale focus dell'edizione 2007 della serie del World Energy Outlook, catalizzatrice di premi e riconoscimenti. Quanto sarà veloce la crescita della domanda? Come sarà fronteggiata? E quale impatto avranno sul resto del mondo le loro scelte energetiche?

Incorporando un aggiornamento completo delle proiezioni WEO riguardanti l'energia a livello globale, con i dati più recenti, il WEO 2007 prevede tre principali scenari energetici al 2030:

- lo Scenario di Riferimento, che mostra trend crescenti nel consumo di energia e nelle emissioni di CO₂, a politiche governative invariate;
- lo Scenario Alternativo, che indica come politiche che prendono in considerazione la

sicurezza degli approvvigionamenti, l'efficienza energetica e la protezione ambientale, in discussione ma non ancora implementate, possano contenere la crescita della domanda di energia;

- lo Scenario a Crescita Alta, che esamina le ripercussioni sui consumi energetici di una persistente crescita economica di Cina e India nel periodo esaminato.

Modelli nuovi e più dettagliati per Cina e India consentono un'analisi più ampia dei differenti trend energetici futuri.

Il WEO 2007 analizza l'impatto dei crescenti consumi energetici di questi paesi sulla base di:

- prezzi internazionali dell'energia;
- fabbisogno di investimenti e accordi finanziari;
- emissioni di gas ad effetto serra provenienti dai sistemi energetici ed altre emissioni;
- flussi del commercio internazionale del settore energetico e non.

Di questi due paesi sono esaminati in modo approfondito l'uso del carbone, il ruolo del nucleare, le fonti rinnovabili, i progressi nell'efficienza energetica, la "povertà energetica" nelle città e nelle campagne. Questo lavoro è il frutto di una stretta collaborazione con le autorità pubbliche e le organizzazioni private di Cina e India, nonché con le principali organizzazioni internazionali.

Le sfide energetiche per Cina e India sono enormi. Il modo in cui affronteranno queste sfide avrà delle conseguenze di grande portata per il resto del mondo. Grazie ad un'ampia mole di dati, previsioni dettagliate ed una analisi approfondita, il WEO 2007 fornisce un quadro inestimabile delle prospettive di questi due giganti energetici e delle conseguenze delle loro scelte per l'economia globale.

L'Agenzia Internazionale per l'Energia (AIE) è stata istituita nel 1974 dall'OCSE a seguito della prima crisi petrolifera, con la partecipazione iniziale di 16 Paesi, tra cui l'Italia, divenuti progressivamente 26 fra i 30 dell'OCSE.

Nel corso degli anni, ma in particolare dopo il Summit G8 a Gleneagles del luglio 2005, l'AIE ha visto riorientare la sua missione con il mandato di "suggerire scenari energetici alternativi e strategie finalizzate ad un futuro energetico pulito e competitivo".

Questi sono oggi i suoi obiettivi principali:

- "vigilare" sulla sicurezza degli approvvigionamenti;
- esaminare le politiche energetiche e gli sbocchi di diversificazione delle fonti di energia;
- incentivare l'analisi e lo sviluppo di tecnologie avanzate nei vari settori della trasformazione, della gestione e dell'uso finale dell'energia, delle fonti rinnovabili, dei combustibili fossili e della fusione nucleare;
- attuare un programma di cooperazione a lungo termine orientato a ridurre la dipendenza dalle importazioni di greggio;
- assistere i Governi nell'attuazione e nell'integrazione delle politiche energetiche ed ambientali;
- promuovere relazioni con i Paesi produttori e con i consumatori non membri, in particolare i PVS.

Il World Energy Outlook è la più prestigiosa pubblicazione dell'Agenzia, che analizza il mercato energetico, annualmente con focus diversi, e ne delinea le linee tendenziali future in una serie di "scenari" che tengono conto delle politiche attuate dai governi.

Hanno collaborato all'intervista
Umberto Ciorba e Francesco Gracceva

ENEA-Ufficio di Presidenza

Per informazioni
paola.molinas@sede.enea.it

Situazione e indirizzi energetico-ambientali regionali 2007

Emidio D'Angelo

con la collaborazione di:
Piergiorgio Catoni, Antonio Colangelo
Luciano Coralli, Antonio Mori

I dati più recenti evidenziano l'impegno delle Regioni nel perseguire i propri obiettivi in un quadro di strategie nazionali ed europee, ma il sistema energetico italiano soffre ancora per alcune disfunzioni nel collegamento tra i soggetti istituzionali preposti. Si riaffaccia la possibilità di elaborare un Piano Energetico che a livello nazionale stabilisca indirizzi, regole ed obiettivi, nello spirito di leale collaborazione tra Stato, Regioni e Amministrazioni locali

Regional energy-environment situations and targets, 2007

The latest data reflect the Regions' efforts to pursue their objectives within a framework of national and European strategies, but the Italian energy system still suffers from disconnects among the institutions concerned. Once again it seems feasible to draw up a National Energy Plan that establishes directions, rules and targets, in a spirit of loyal cooperation among the national, regional and local governments



Il ruolo delle Regioni nel governo del sistema energetico

L'energia è materia a legislazione concorrente Stato-Regioni. Dall'emanazione del decreto 112/98, il Sistema Energetico Nazionale è governato dalle competenze centrali dello Stato e dalle competenze delle Regioni. Negli anni successivi all'emanazione del decreto, le Regioni si sono impegnate nel processo di decentramento con forti assunzioni di responsabilità, con ruoli decisionali ed impegnativi.

Tutte le Regioni hanno emanato le loro leggi regionali in merito alla materia energetica, dando luogo a specifici programmi di sostegno nei confronti di azioni pubbliche e private per le fonti rinnovabili e il risparmio energetico, insieme a normative che regolano i sistemi di offerta e di domanda dell'energia.

I principali pilastri dell'attività regionale in campo energetico sono:

- promozione e sostegno normativo, legislativo ed economico per lo sviluppo delle fonti rinnovabili e del risparmio energetico;

- attivazione e realizzazione dei programmi ministeriali;
- attivazione e sviluppo dei programmi europei con i fondi comunitari;
- elaborazione e realizzazione dei Piani Energetici Regionali.

Quasi tutte le Regioni hanno predisposto e in gran parte attuato i Piani Energetici Regionali con l'obiettivo di determinare le condizioni più favorevoli di incontro della domanda e dell'offerta di energia sul proprio territorio, avendo come obiettivi l'efficienza energetica e l'impiego delle fonti rinnovabili disponibili e più convenienti, promuovendo il ricorso a tecnologie innovative di produzione energetica, per elevare la qualità dei servizi energetici a rete sul proprio territorio, ma talvolta anche promuovendo la sperimentazione di sistemi locali di produzione-consumo.

In questi stessi anni ha assunto sempre più rilievo la valenza ambientale delle politiche energetiche e la stretta relazione esistente tra le modalità di utilizzo delle risorse energetiche ed il valore complessivo di emissioni climalteranti che si determina.

A questo riguardo le Regioni hanno saputo originalmente tradurre gli obiettivi nazionali di contenimento delle emissioni di CO₂ in indirizzi di Piano Energetico (che per questo motivo è divenuto energetico-ambientale) evidenziando entità ed efficacia ambientale delle varie opzioni e scelte tecnologiche previste negli scenari di Piano.

Le preoccupazioni derivanti dalla previsione di ostacoli che si sarebbero determinati a livello regionale-locale nei confronti dei necessari processi di innovazione e ristrutturazione del sistema energetico nazionale che dovevano essere messi in moto hanno determinato a livello politico nazionale una

riflessione sul processo di decentramento energetico e sullo stesso istituto della legislazione concorrente basata sulla legislazione statale di principio e sulla legislazione regionale di dettaglio.

Le ultime iniziative legislative e i pareri espressi su queste dalle Regioni attraverso la Conferenza Unificata sembrano comunque avviare una nuova fase di "cooperazione" caratterizzata da una maggiore definizione e precisazione puntuale delle linee di indirizzo da parte dello Stato associata però a una "intesa" da realizzare con le Regioni.

La Conferenza Unificata ha esaminato il recente ddl Bersani sul processo di liberalizzazione, esprimendo parere favorevole, dovuto anche all'accoglimento integrale delle modifiche proposte.

In considerazione che la problematica energetica appare di vitale importanza per l'Italia e che occorre contenere le emissioni di gas a effetto serra nel rispetto del Protocollo di Kyoto si prospetta di nuovo la possibilità di elaborare un piano energetico nazionale, che possa costituire un riferimento per i futuri Piani Regionali, a completamento del quadro programmatico in materia energetica, nello spirito di fattiva collaborazione tra Stato, Regioni e Amministrazioni locali.

Nel ddl Bersani, oltre alle misure e disposizioni introdotte per completare e rendere più concorrenziali i mercati dell'energia elettrica e del gas naturale, all'art. 2, riguardante il rilancio del risparmio energetico e delle fonti rinnovabili, vengono previsti strumenti di coordinamento permanente con le Regioni attraverso i quali stimolare una assunzione di responsabilità condivisa in ordine al raggiungimento di obiettivi di risparmio energetico e tutela ambientale.

Un emendamento, chiesto dalle Regioni e adottato dalla Conferenza, su questo punto prevede negli accordi l'assunzione di specifici impegni per il riparto delle quote di produzione da fonti rinnovabili tra le Regioni, nel rispetto e salvaguardia del territorio e del paesaggio, da attuare anche mediante misure premiali per il territorio.

Nelle leggi regionali sull'energia, varate da tutte le Regioni, sono definite anche le funzioni delle Province e dei Comuni. Le prime hanno il compito di approvare e attuare il Piano-Programma per il risparmio energetico e l'uso delle fonti rinnovabili, nonché di autorizzare l'installazione e l'esercizio degli impianti non riservati alle competenze dello Stato e delle Regioni.

I Comuni devono, dal canto loro, approvare programmi e attuare i progetti atti a qualificare energeticamente il sistema urbano, nei vari campi di intervento.

Le Regioni sono tenute anche a svolgere l'esercizio del potere sostitutivo sugli Enti locali in caso di persistente inattività degli stessi nell'esercizio delle funzioni ad essi attribuite.

Le Regioni hanno inoltre in programma lo sviluppo dei titoli di efficienza energetica (certificati bianchi) e la valorizzazione delle fonti rinnovabili (certificati verdi), per i progetti localizzati sul territorio regionale.

Situazione energetica a livello regionale

Valutazione generale

Al fine di assumere decisioni, fare progetti e stabilire obiettivi da parte di operatori e amministratori, è necessaria una buona conoscenza della situazione energetica territoriale, dal

lato dell'offerta e dal lato della domanda, in termini quantitativi e qualitativi.

È inoltre opportuno sviluppare analisi comparate tra le situazioni regionali per comprendere la natura delle diversità.

Sulla base dei dati dei Bilanci Energetici Regionali (BER), elaborati da ENEA, è possibile procedere ad una analisi energetica comparata tra le Regioni italiane, che sarà effettuata con gli ultimi dati disponibili relativi al 2004.

Ciascuna Regione ha un sistema energetico fortemente correlato alle sue caratteristiche socio-economiche. La storia, l'economia e la posizione geografica hanno determinato in gran parte anche le caratteristiche energetiche delle Regioni. Oltre i fattori naturali e di sviluppo, le situazioni energetiche regionali sono determinate anche dalle scelte fatte dalle Amministrazioni, sia dal lato dell'offerta (in merito alle tipologie di insediamenti produttivi e di impianti per la produzione, trasformazione e trasporto dell'energia nel proprio territorio) che da quello della domanda (iniziative per favorire gli usi razionali dell'energia).

Una buona conoscenza del sistema energetico regionale in termini di offerta (produzione, importazione, stoccaggi, trasformazione, reti di trasmissione e distribuzione) e di domanda (livelli di consumi finali per fonti e per settori d'impiego) e, inoltre, la conoscenza dell'efficienza e delle modalità di produzione e consumo, è di fondamentale importanza per l'impostazione delle politiche energetiche da parte delle Regioni.

La maggior parte delle Regioni consuma più energia di quanta disponibile e prodotta localmente, in termini di risorse energetiche primarie (tabella 1).

Tabella 1 - Produzione di energia primaria, consumo interno lordo e consumi finali. Anno 2004 (ktep)

Regioni	Produzione di energia primaria	Consumo interno lordo	Consumi finali di energia	Var.% (04-03) del consumo finale
	(ktep)	(ktep)	(ktep)	
Piemonte	1.848	17.047	12.327	3,1
Valle D'Aosta	632	749	569	12,1
Lombardia	2.486	37.241	25400	0,0
Trentino A. A.	1.985	3.685	2515	4,7
Veneto	776	18.155	12199	1,2
Friuli V. Giulia	422	5.535	3456	-7,1
Liguria	67	5.723	3230	-0,4
Emilia Romagna	5.372	18.079	14056	2,0
Toscana	1.731	13.095	8862	1,5
Umbria	484	3.012	2360	0,9
Marche	3.083	4.574	3199	0,7
Lazio	509	14.411	10561	-0,4
Abruzzo	1.180	3.791	2862	-2,4
Molise	257	743	516	-23,1
Campania	330	9.583	6423	-1,5
Puglia	701	14.116	9177	6,2
Basilicata	4.227	1.439	1003	-0,9
Calabria	529	3.594	2124	4,4
Sicilia	1.201	20.796	7820	2,3
Sardegna	243	7.097	3344	-12,9
Italia*	28.062	202.465	132.003	0,5

(*) Somma dei Bilanci Energetici Regionali

Fonte: ENEA

La Regione Emilia Romagna ha avuto la maggiore produzione di energia primaria (gas e petrolio). In diverse altre Regioni si sono prodotte quantità apprezzabili di fonti energetiche.

Il consumo interno lordo comprende le quantità prodotte in ciascuna Regione e le relative importazioni, destinate in parte alle trasformazioni per usi interni ed in parte "esportate" verso altre Regioni.

I consumi finali di energia, realmente destinati alle attività produttive e civili, sono ovviamente molto diversi quantitativamente da Regione a Regione. Complessivamente la Lombardia ha consumato il 19,2% del totale nazionale, l'Emilia Romagna il 10,6%, il Piemonte ed il Veneto intorno al 9% ciascuno; seguono altre Regioni come Lazio, Toscana e Puglia. Queste sette Regioni hanno consumato complessivamente oltre il 70% del totale italiano.

Anche i consumi finali della Campania e della Sicilia hanno avuto un notevole peso, rispettivamente il 4,9% ed il 5,9% del totale nazionale.

A livello nazionale, nel 2004, la domanda finale di energia è leggermente aumentata (0,5%) rispetto all'anno precedente, mentre nel 2003 si era avuta una forte ripresa dei consumi di fonti di energia, che erano cresciuti del 5,6% rispetto al 2002. Il segno positivo del 2004 ha interessato diverse Regioni, tuttavia i consumi sono diminuiti in Friuli V. G., Liguria, Abruzzo, Molise, Basilicata e Sardegna.

Per quanto attiene ai consumi finali delle varie fonti di energia, la tabella 2 riporta per ciascuna Regione e per l'Italia nel suo complesso le quote relative al 2004.

In Italia, rispetto al 2003, nel 2004 è stato consumato il 5% in più di combustibili solidi, continuando l'incremento

to del 2003 che aveva interrotto la serie di continue diminuzioni che aveva contraddistinto la domanda di questi negli ultimi anni. Il consumo di combustibili solidi ha costituito il 3,2% del consumo finale totale dell'Italia; in particolare, a livello delle singole Regioni, spiccano le situazioni della Puglia, della Liguria e della Toscana. Tuttavia, la variazione della domanda di combustibili solidi è stata molto diversificata; ad esempio, in Molise, Campania, Abruzzo e Sardegna il consumo, nel 2004, è quasi totalmente sparito, forti riduzioni si sono avute anche in Friuli V. G. e Sicilia; in altre Regioni, per contro, l'utilizzo di combustibili solidi è fortemente aumentato, come nel caso di Emilia Romagna, Calabria, Marche, Toscana, Veneto, Trentino A. Adige e Valle d'Aosta.

Per i prodotti petroliferi, quasi tutte le Regioni del Sud, più Lazio, Valle d'Aosta e Trentino Alto Adige, hanno consumato quote decisamente superiori a

quelle medie nazionali (45,5%). Nel 2004, i consumi nazionali sono diminuiti dello 0,1% rispetto al 2003; forti cali si sono avuti nella domanda interna della Sardegna e della Sicilia, mentre in altre Regioni si sono verificati discreti aumenti, come in Basilicata, Puglia, Molise, Emilia Romagna, Trentino A. A. e Val d'Aosta.

L'impiego di combustibili gassosi nel 2004 è stato pari al 31,3% a livello nazionale. Tale valore è stato generalmente superato nelle Regioni centrali ed al Nord, ad esclusione di Lazio, Valle d'Aosta e Trentino Alto Adige. La domanda nazionale è aumentata dello 0,3% in un anno. Riduzioni di consumi si sono avute invece in Campania e Molise.

Le quote di consumo di energia elettrica nelle Regioni sono risultati maggiormente in sintonia con la quota nazionale (18,9%), salvo alcune spiccate differenze come in Sardegna, dove la quota è superiore per l'assenza del gas na-

Tabella 2 - Consumi finali di energia per fonte delle Regioni italiane. Anno 2004

Regioni	Comb. solidi	Prod. petr.	Comb. gassosi	Rinnovabili	En. elettrica	Totale
	Quote %					ktep
Piemonte	0,8	36,0	42,0	3,3	17,9	12.327
Valle D'Aosta	0,5	59,9	21,2	4,5	14,0	569
Lombardia	0,5	38,8	39,1	0,8	20,8	25.400
Trentino A. A.	0,3	53,7	24,7	1,1	20,3	2.515
Veneto	1,7	41,3	36,2	0,4	20,3	12.199
Friuli V. Giulia	3,5	34,0	38,0	1,1	23,4	3.456
Liguria	10,7	38,6	33,2	1,4	16,1	3.230
Emilia Romagna	0,1	38,9	44,9	0,2	15,8	14.056
Toscana	6,1	40,0	33,8	0,9	19,2	8.862
Umbria	1,1	47,6	30,6	0,6	20,1	2.360
Marche	0,2	48,4	30,8	2,7	17,8	3.199
Lazio	0,4	60,8	19,9	1,8	17,2	10.561
Abruzzo	0,0	47,0	32,1	1,0	19,9	2.862
Molise	0,0	60,4	13,8	2,7	23,1	516
Campania	0,0	62,7	15,4	1,0	20,9	6.423
Puglia	29,3	39,2	16,2	0,5	14,9	9.177
Basilicata	0,0	49,8	28,4	0,9	21,0	1.003
Calabria	0,1	66,3	13,2	0,7	19,8	2.124
Sicilia	0,5	60,1	22,9	0,5	16,1	7.820
Sardegna	0,0	72,9	0,0	0,5	26,5	3.344
Italia*	3,2	45,5	31,3	1,1	18,9	132.003

Fonte: ENEA

turale, ed in Liguria, Emilia-Romagna e Valle d'Aosta. La domanda di energia elettrica è aumentata complessivamente dell'1,5% ed ha riguardato tutte le Regioni ad eccezione della Basilicata e della Sicilia, dove nel 2004, la domanda è diminuita dello 0,3%. L'incremento maggiore si è avuto nel Molise (3,8%).

La domanda di energia ottenuta dall'impiego diretto di fonti rinnovabili nel 2004, in Italia, è aumentata del 9% rispetto al 2003 ed ha costituito l'1% del consumo finale del 2003. Nelle varie Regioni, l'impiego di questa fonte rimane ancora limitato e soggetto all'instabilità dovuta alla peculiarità della sua natura; la quota maggiore di consumi finali si è avuta in Valle d'Aosta (4,5%), seguita da Piemonte e Molise, rispettivamente con 3,3% e 2,7%.

L'analisi dei consumi finali di energia, disaggregati per settore economico nel

2004 (tabella 3), mostra che in Italia il 2,4% del consumo finale di energia è stato impiegato nel macrosettore Agricoltura, silvicoltura e pesca. Le Regioni del settentrione hanno impiegato una quota inferiore rispetto a quella media nazionale, salvo il caso di Emilia Romagna e Marche; nel centro Italia sono solo Lazio e Toscana a destinare una quota inferiore a quella media nazionale, mentre nel meridione tutte le Regioni hanno destinato quote superiori al 2,4% ad esclusione della Sicilia.

Nel settore industria in Italia è stato impiegato il 31,8% del consumo finale totale e, rispetto al 2003, la domanda è diminuita dell'1,4%. Le Regioni italiane nelle quali la domanda di energia destinata all'industria ha rappresentato la maggior parte del rispettivo consumo finale sono state Puglia, Sicilia, Sardegna, Umbria, Toscana,

Tabella 3 - Consumi finali di energia per settore economico e per Regione. Anno 2004

Regioni	Agricoltura, Silvicoltura e Pesca	Industria	Civile	Trasporti	Totale
	Quote %				
Piemonte	1,5	36,9	37,5	24,1	12.327
Valle D'Aosta	0,8	14,5	52,6	32,2	569
Lombardia	1,8	32,0	38,6	27,6	25.400
Trentino A. A.	2,1	22,3	38,1	37,5	2.515
Veneto	2,1	34,6	34,1	29,2	12.199
Friuli V. Giulia	1,6	45,2	29,8	23,3	3.456
Liguria	1,1	25,2	42,7	31,0	3.230
Emilia Romagna	3,6	32,5	33,9	30,0	14.056
Toscana	1,7	33,5	33,2	31,7	8.862
Umbria	2,4	43,3	23,3	31,1	2.360
Marche	3,8	26,2	30,1	39,9	3.199
Lazio	2,1	8,9	39,3	49,7	10.561
Abruzzo	3,0	33,2	27,9	35,9	2.862
Molise	5,4	24,6	29,2	40,8	516
Campania	2,9	20,8	28,9	47,4	6.423
Puglia	3,9	50,4	19,7	26,0	9.177
Basilicata	5,1	33,4	28,6	32,9	1.003
Calabria	3,7	12,6	31,9	51,9	2.124
Sicilia	1,7	39,8	20,7	37,8	7.820
Sardegna	2,9	36,4	21,5	39,2	3.344
Italia*	2,4	31,8	33,1	32,8	132.003

Fonte: ENEA

Friuli Venezia Giulia, Veneto e Piemonte, a conferma dell'importanza che rivestono, nell'economia di queste Regioni, i grandi insediamenti industriali, in particolare il petrolchimico e il siderurgico per la Puglia e il settore petrolchimico e del polo dell'alluminio in Sardegna. Nel Lazio, viceversa, il settore dell'industria ha pesato solo per l'8,9% del relativo consumo finale, indice di un tessuto produttivo costituito prevalentemente da terziario e da piccole-medie imprese appartenenti a settori non *energy-intensive*. Inoltre, rispetto al 2003, il consumo di energia nel settore in esame, ha avuto un andamento piuttosto diversificato nelle varie Regioni: gli aumenti più consistenti si sono registrati in Sicilia, Calabria, Puglia, Toscana e Veneto, mentre riduzioni sostanziali hanno caratterizzato la domanda di energia in Sardegna e Molise.

Il settore civile comprende il consumo di energia del residenziale e dei servizi (terziario e pubblica amministrazione). Nel settore residenziale, generalmente, le Regioni del Nord presentano la più alta incidenza dei consumi, superiore alla media nazionale. In questo settore incide la diversità strutturale e l'influenza del clima. Anche nel settore dei servizi si evidenziano differenze imputabili all'aggregazione in questo settore dei consumi della Pubblica Amministrazione che riflettono sostanzialmente anche il diverso sviluppo del terziario, in particolare di quello "avanzato", a livello regionale. Nel 2004, in Italia, il 33,1% del consumo finale di energia è stato assorbito in questo macrosettore, l'1,6% in più rispetto al 2003. Le Regioni settentrionali sono quelle che vi destinano la maggior parte della loro domanda di energia. Incrementi anche consistenti rispetto all'anno precedente sono

stati rilevati ovunque, salvo in Campania (-4,7%).

Il macrosettore trasporti, rispetto all'anno precedente, ha consumato l'1,8% in più a livello nazionale, assorbendo il 32,8% del totale. È nel Centro-Sud che la domanda di energia destinata ai trasporti ha costituito la maggior parte del rispettivo consumo finale: la Calabria risulta la Regione con la più alta incidenza percentuale (52%); nel Lazio il settore ha assorbito il 50,0%; in Campania il 41,0%; mentre il Friuli Venezia Giulia è risultata la Regione con la minore incidenza (23,3%). Gli aumenti del consumo di energia hanno riguardato la maggior parte delle Regioni; in particolare, in Val d'Aosta la domanda è aumentata dell'11,2%, in Basilicata dell'7,6% e in Trentino Alto Adige del 9,3%; mentre il consumo è diminuito in quattro Regioni, tra cui il Friuli V. G. (-3%).

È significativo il quadro della produzione elettrica a livello regionale a fronte delle rispettive richieste. Dai dati forniti da "Terna" si rileva che il deficit più rilevante di energia elettrica nel 2005 si è registrato in Campania con l'81,5%, seguita da un insieme di Regioni, (Veneto, Piemonte, Basilicata, Lombardia e Marche) con deficit fino al 49%. Le Regioni che hanno avuto notevoli superi e che quindi "provvedono ad esportare" sono la Liguria, la Puglia, la Valle d'Aosta, la Provincia di Trento e la Calabria. Il sistema elettrico nazionale appare squilibrato tra le Regioni, con i relativi problemi di perdite di trasmissione. Sarebbe opportuno operare per un graduale riequilibrio tra produzione e richiesta di energia elettrica tra i diversi territori.

Tuttavia, rispetto al 2004 si sono avuti notevoli spostamenti; ad esempio la Regione Emilia Romagna ha aumentato il deficit dal 9% al 16,8%, la To-

Tabella 4 - Principali indicatori di efficienza energetica regionali. Anno 2004

Regioni	Intensità energetica finale del PIL	Intensità elettrica del PIL	Consumi procapite di energia	Consumi procapite di energia elettrica
	(tep/Meuro ₉₅)	(MWh/Meuro ₉₅)	tep/ab	(MWh/ab)
Piemonte	140,5	302,1	2,8	6,1
Valle D'Aosta	199,0	325,1	4,6	7,8
Lombardia	120,6	299,5	2,7	6,8
Trentino A. A.	113,6	266,7	2,6	6,3
Veneto	129,7	309,5	2,6	6,4
Friuli V. Giulia	141,1	392,8	2,9	8,1
Liguria	103,3	207,7	2,0	4,1
Emilia Romagna	153,9	288,5	3,4	6,4
Toscana	126,6	291,7	2,5	5,8
Umbria	162,3	376,7	2,7	6,4
Marche	119,7	271,3	2,1	4,9
Lazio	101,5	200,4	2,0	4,2
Abruzzo	143,6	343,3	2,2	5,2
Molise	109,9	315,5	1,6	4,6
Campania	94,4	235,9	1,1	2,9
Puglia	187,1	344,3	2,3	4,3
Basilicata	128,5	348,1	1,7	4,7
Calabria	91,7	215,3	1,1	2,7
Sicilia	123,3	293,3	1,6	3,6
Sardegna	136,5	511,2	2,0	7,3
Italia	125,9	309,2	2,3	5,6

Fonte: ENEA

scana è passata da un deficit del 15,4% a un deficit del 25,5%. Il Piemonte ha invece diminuito il suo deficit dal 44% al 29,7%, mentre il Veneto è passato da un deficit del 19,2% al 34,8%.

Indicatori energetici regionali

Nella tabella 4 sono riportate, per ciascuna Regione e per l'Italia nel suo complesso, le intensità energetiche finali (totale ed elettrica) rispetto al PIL ed i consumi pro capite.

Le intensità energetiche differiscono anche in modo significativo tra le varie Regioni e rispetto alla media nazionale.

Nel 2004, in Italia, l'intensità energetica finale del PIL, che misura la quantità di energia per unità di PIL o VA, è rimasta pressoché costante rispetto al-

l'anno precedente, mentre l'intensità elettrica è aumentata dello 0,3% sul 2003.

La Valle d'Aosta, l'Emilia Romagna, l'Umbria, l'Abruzzo, la Puglia, la Sardegna, il Piemonte e il Friuli Venezia Giulia hanno registrato un valore dell'intensità energetica largamente superiore a quello nazionale, che nel 2004, è ammontato a 125,9 tep/M€₉₅. In particolare, il valore dell'indicatore energetico ha registrato aumenti in tutte le Regioni; tra i più alti valori di intensità sono quelli rilevati in Sardegna, Valle d'Aosta, Puglia e in Friuli V. Giulia; in Campania l'intensità energetica è diminuita nel 2004 dell'1,5%.

La più elevata intensità elettrica del PIL, relativamente al 2004, è stata registrata in Sardegna, a causa della presenza di grandi industrie, forti consumatrici di energia elettrica (alluminio

in particolare) e dell'assenza del gas naturale, che favorisce il perdurare degli impieghi dell'energia elettrica anche per gli usi finali non obbligati quali, tipicamente, quelli per la produzione di acqua calda sanitaria. L'intensità elettrica della Sardegna è ammontata a 511,2 MWh/M€₉₅ a fronte di 309,2 MWh/M€₉₅ nazionale.

Secondo solo a quello della Sardegna, il valore dell'intensità elettrica del Friuli Venezia Giulia è ammontato a 392,8 MWh/M€₉₅ mentre nel Lazio ed in Liguria si sono avuti i valori più bassi, rispettivamente 200,4 MWh/M€₉₅ e 207,7 MWh/M€₉₅.

Gli indicatori generali come quelli riportati sono testimoni di consumi energetici più o meno forti in rapporto ai valori aggiunti regionali, ovvero mostrano la pressione energetica e quindi ambientale esistente sul territorio; tuttavia, stime più puntuali potrebbero essere ottenute riferendo queste valutazioni a settori di attività molto disaggregati.

Relativamente ai consumi finali pro capite di energia, nel 2004, in Italia si è avuto un consumo pari a 2,3 tep/ab. Questo valore è stato ampiamente superato nelle Regioni settentrionali, in particolare in Valle d'Aosta, dove il consumo pro capite è stato di 4,6 tep/ab., il valore più alto in Italia. Le Regioni con consumo medio pro capite più basso sono state la Calabria e la Campania, entrambe con 1,1 tep/ab.

Il consumo pro capite di energia elettrica, nel 2004, in Italia è stato pari a 5,6 MWh/ab., il 5,6% in più rispetto al 2003; anche in questo caso è nelle Regioni del Nord che si sono avuti consumi unitari maggiori della media nazionale: si va da 8,1 MWh/ab. del Friuli Venezia Giulia a 7,8 MWh/ab. della Valle d'Aosta; in Liguria invece il consumo pro capite è stato tra i più bassi (4,1

MWh/ab.); l'incremento annuo più consistente si è avuto in Valle d'Aosta, dove ogni abitante ha consumato mediamente l'1,3% in più rispetto all'anno precedente.

Nel centro Italia, la Regione con i più alti consumi elettrici pro capite è stata l'Umbria (6,4 MWh/ab.), che rispetto all'anno precedente ha registrato una riduzione dell'1,8%. L'elevato valore dei consumi elettrici pro capite testimonia l'aumento costante del consumo di elettricità registrato negli ultimi anni in particolare nell'industria siderurgica. Il Lazio è stata la Regione del centro Italia con i consumi unitari più bassi (4,2 MWh/ab.), stessa entità del 2003.

I consumi pro capite di elettricità nell'Italia meridionale hanno oscillato tra 7,3 MWh/ab. della Sardegna e 2,7 MWh/ab. della Calabria.

Emissioni regionali dai sistemi energetici

Le delibere CIPE 137/98 e 123/02 costituiscono un passaggio importante nell'impegno delle Regioni per lo svolgimento dei loro compiti in campo energetico e ambientale, con l'assunzione di una piena responsabilità, non solo di ciascuna Regione per le attività e gli obiettivi propri, ma per l'insieme delle Regioni, con una impostazione d'integrazione, nell'ambito degli indirizzi nazionali e comunitari.

Specialmente negli ultimi Piani Energetici Regionali prodotti si può constatare come le Regioni intendano misurare i loro programmi d'intervento, con l'obiettivo della riduzione dei gas serra, contribuendo così all'impegno assunto dall'Italia nell'ambito degli obblighi dell'UE stabiliti dagli accordi internazionali e programmato nelle due delibere CIPE citate.

L'evoluzione legislativa e quella del mercato, ovvero il processo di decentramento e di liberalizzazione del mercato dell'energia, sono i due eventi che stanno caratterizzando il nuovo assetto del sistema energetico e delle sue naturali correlazioni e vincoli con i sistemi ambientale ed economico.

Sulla base dello schema utilizzato nella delibera CIPE 123/02 per la quantificazione degli obiettivi di riduzione relativamente alle emissioni di CO₂ da processi di combustione, si possono elaborare alcuni indicatori di situazioni e prestazioni energetiche ed ambientali regionali, così da permettere la stima dell'entità degli impegni da assumere a livello regionale nei vari settori di intervento.

L'applicazione del Protocollo di Kyoto e degli obiettivi della delibera CIPE 123/02 implica un maggior coinvolgimento delle Regioni al fine di semplificare i procedimenti autorizzativi, sfruttando i propositi di definizione a livello locale, di politiche volte al potenziamento delle rinnovabili. Lo sfruttamento delle rinnovabili, rispetto alle altre fonti, interessa maggiormente la gestione del territorio, rendendo inevitabile il diretto coinvolgimento delle amministrazioni locali.

Sulla base delle quantità di prodotti trasformati e consumati, ricavate dai bilanci energetici regionali e riferite all'anno 2004, sono state stimate le emissioni di CO₂ per settore.

A livello nazionale, da un valore di circa 401 milioni di tonnellate di CO₂ emesse nel 1990, si è passati a 450 milioni nel 2004 (tabella 5), con un incremento del 12,2%. Nel 1990 le emissioni di CO₂ provenivano per il 64% da prodotti petroliferi. Nel corso degli ultimi anni è aumentata la quota relativa al gas metano, mentre si è ridotta in modo significativo la quota

dei consumi petroliferi e soprattutto dei combustibili solidi, con le relative emissioni.

Le emissioni di CO₂ sono diverse a livello regionale, dipendendo dagli impieghi delle fonti energetiche (produzione, trasformazione, usi finali). Le scelte di intervento per la loro riduzione saranno pertanto adeguate alle quantità di emissioni e alle caratteristiche di ciascuna Regione.

Rispetto all'anno precedente si è avuto un decremento di emissioni nel settore industriale e agricolo, una sostanziale stabilità nel settore energia, mentre si sono registrati incrementi contenuti nel settore termoelettrico, nel civile e nei trasporti.

Nel settore termoelettrico spicca la Liguria con quote di emissioni superiori al 50% e la Sardegna con quote del 43%. Nelle regioni Veneto, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Calabria e Sicilia si hanno quote di emissioni superiori al 30%, ma comunque inferiori ai valori dell'anno precedente. Situazioni particolari si hanno in Trentino Alto Adige e Valle d'Aosta, dove il termoelettrico registra rispettivamente solo il 3,3 % e lo 0,1%, in quanto l'energia elettrica è prodotta quasi esclusivamente da fonte idrica, con bilanci regionali in surplus. Forti spostamenti nel settore dal 2003 si sono avuti in Umbria (+38,8%), in Lombardia (47,7%) in Calabria (-32,5), e nel Lazio (-27%).

Dal settore trasporti sono derivate emissioni per circa il 40% in 7 Regioni: Val d'Aosta, Trentino A. Adige, Marche, Lazio, Abruzzo, Campania e Calabria.

Le emissioni di CO₂ prodotte dal settore dell'industria, nel 2004, hanno avuto un'incidenza del 18,8% in Italia. La quota maggiore ha riguardato l'Umbria (26,9%), mentre la quota minore è stata registrata nel Lazio (4,7%).

Tabella 5 - Emissioni regionali di CO₂ per settori. Anno 2004

Regioni	Termoelettrico		Trasporti		Civile		Industria		Settore energia		Settore agricoltura		Totale	
	kt	%	kt	%	kt	%	kt	%	kt	%	kt	%	kt	% Italia
Piemonte	4.398,4	13,2	8.679,7	26,0	9.827,4	29,4	9.310,8	27,9	593,0	1,8	608,5	1,8	33.417,8	7,4
Valle d'Aosta	1,0	0,1	543,2	38,3	757,5	53,4	114,8	8,1	0,0	0,0	3,2	0,2	1.419,8	0,3
Lombardia	20.529,5	27,0	20.479,7	27,0	19.195,1	25,3	13.786,0	18,2	813,8	1,1	1.096,9	1,4	75.901,0	16,9
Trentino A. A.	191,7	3,3	2.750,7	47,1	1.875,1	32,1	901,3	15,4	1,2	0,0	123,4	2,1	5.843,4	1,3
Veneto	14.680,4	35,1	10.184,2	24,3	7.746,4	18,5	8.091,9	19,3	481,9	1,2	649,2	1,6	41.833,9	9,3
Friuli V. Giulia	4.438,9	36,1	2.282,0	18,6	1.904,1	15,5	3.313,8	27,0	207,0	1,7	141,7	1,2	12.287,4	2,7
Liguria	10.184,0	53,4	2.895,7	15,2	2.555,6	13,4	2.455,0	12,9	714,9	3,7	269,4	1,4	19.074,7	4,2
Emilia Romagna	9.682,2	23,5	12.371,2	30,0	9.435,0	22,9	8.401,6	20,4	114,9	0,3	1.166,6	2,8	41.171,5	9,1
Toscana	8.738,0	29,1	8.261,2	27,5	5.262,4	17,5	6.189,4	20,6	1.253,9	4,2	370,4	1,2	3.0075,2	6,7
Umbria	2.642,0	32,7	2.153,8	26,6	952,1	11,8	2.173,0	26,9	5,1	0,1	160,8	2,0	8.086,7	1,8
Marche	913,1	10,4	3.766,9	43,0	1.681,4	19,2	1.581,8	18,1	530,2	6,1	277,4	3,2	8.750,7	1,9
Lazio	12.026,9	32,1	15.646,6	41,7	7.189,5	19,2	1.779,3	4,7	356,8	1,0	485,0	1,3	37.484,2	8,3
Abruzzo	1.196,0	15,9	3.057,8	40,7	1.426,0	19,0	1.592,1	21,2	18,9	0,3	227,7	3,0	7.518,5	1,7
Molise	416,5	26,9	577,9	37,3	226,7	14,6	257,3	16,6	0,0	0,0	72,7	4,7	1.551,0	0,3
Campania	1.431,5	8,9	8.957,6	55,5	2.516,1	15,6	2.679,9	16,6	60,9	0,4	486,4	3,0	16.132,3	3,6
Puglia	23.495,6	47,0	7.198,7	14,4	2.912,0	5,8	14.430,2	28,9	769,5	1,5	1.159,2	2,3	49.965,2	11,1
Basilicata	506,1	18,9	978,7	36,5	490,1	18,3	559,2	20,9	13,3	0,5	131,2	4,9	2.678,5	0,6
Calabria	2.520,2	33,7	3.139,4	42,0	832,2	11,1	740,3	9,9	53,8	0,7	187,3	2,5	7.473,1	1,7
Sicilia	12.328,9	33,4	8.850,9	24,0	1.856,7	5,0	5.004,5	13,6	8.233,1	22,3	620,8	1,7	36.895,0	8,2
Sardegna	6.099,2	42,7	3.956,1	27,7	958,9	6,7	2.553,1	17,9	436,9	3,1	283,9	2,0	14.282,2	3,2
Italia	136.420,0	30,3	126.756,4	28,2	79.633,4	17,7	84.797,1	18,8	14.335,5	3,2	8.115,2	1,8	450.057,4	100,0

Fonte: ENEA

Tabella 6 - Indicatori regionali di consumo energetico e di emissioni di CO₂. Anni 2003-2004

Regioni	kt CO ₂		PIL M		Abitanti		Consumo interno lordo* (ktep)		tCO ₂ /M		tCO ₂ /abitante		tCO ₂ /tepCIL	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Piemonte	32.395	33.418	87.227,4	88.207,2	4.231.334	4.270.215	16.321	17.047	371,4	378,9	7,6	7,8	2	2,0
Val d'Aosta	1.241	1.420	2.902,9	2.941,2	120.909	122.040	680	749,3	427,7	482,7	10,2	11,6	1,8	1,9
Lombardia	69.155	75.901	209.296,1	212.070,8	9.108.645	9.246.796	35.274	37.241	330,4	357,9	7,5	8,2	2	2,0
Trentino	5.504	5.843	22.321,9	22.723,2	950.495	962.464	3.306	3.685	246,6	257,2	5,7	6,1	1,7	1,6
Veneto	42.736	41.834	94.429	95.787,1	4.577.408	4.642.899	16.488	18.155	452,6	436,7	9,2	9,0	2,6	2,3
Friuli V.G.	13.589	12.287	24.784	24.822,5	1.191.588	1.198.187	5.045	5.535	548,3	495,0	11,3	10,3	2,7	2,2
Liguria	19.233	19.075	31.656,6	31.575,1	1.572.197	1.577.474	4.663	5.723	607,6	604,1	12,2	12,1	4,1	3,3
E. Romagna	39.262	41.172	91.340,9	91.562,9	4.030.220	4.080.479	16.657	18.079	429,8	449,7	9,6	10,1	2,4	2,3
Toscana	30.197	30.075	69.997,3	70.560,1	3.516.296	3.566.071	12.040	13.095	431,4	426,2	8,5	8,4	2,5	2,3
Umbria	7.268	8.087	14.568,6	14.972	834.210	848.022	3.109	3.012	498,9	540,1	8,6	9,5	2,3	2,7
Marche	8.479	8.751	26.928,3	27.392,8	1.484.601	1.504.827	4.379	4.574	314,9	319,5	5,6	5,8	1,9	1,9
Lazio	41.936	37.484	104.970	108.938,5	5.145.805	5.205.139	13.985	14.411	399,5	344,1	8,1	7,2	3	2,6
Abruzzo	7.613	7.519	19.913,7	19.745,2	1.273.284	1.285.896	3.754	3.791	382,3	380,8	5,9	5,8	2	2,0
Molise	1.703	1.551	4.659,5	4.733,1	321.047	321.697	826	743	365,5	327,7	5,3	4,8	2,1	2,1
Campania	16.313	16.132	6.8524	68.855,6	5.725.098	5.760.353	9.146	9.583	238,1	234,3	2,8	2,8	1,8	1,7
Puglia	47.591	49.965	48.629,6	48.784,6	4.023.957	4.040.990	12.559	14.116	978,6	1024,2	11,8	12,4	3,8	3,5
Basilicata	2.604	2.679	7.683,2	7.740,3	596.621	597.000	1.386	1.439	339	346,0	4,4	4,5	1,9	1,9
Calabria	8.547	7.473	23.478,8	24.123,8	2.007.392	2.011.338	2.964	3.594	364	309,8	4,2	3,7	2,9	2,1
Sicilia	36.043	36.895	62.771,8	62.972,3	4.972.124	5.003.262	13.478	20.796	574,2	585,9	7,2	7,4	2,7	1,8
Sardegna	14.837	14.288	22.779,7	23.052,6	1.637.639	1.643.096	5.990	7.097	651,3	619,8	9	8,7	2,5	2,0
Italia	446.246	450.057	1.038.863,20	1.051.560,90	57.320.870	57.888.245	182.049	202.465	429,6	428,0	7,7	7,8	2,5	2,2

*CIL, al netto di bunkeraggi ed usi non energetici
Fonte: ENEA

Rispetto al 2003 il settore civile ha mantenuto valori di emissioni sostanzialmente stabili in quasi tutte le Regioni. Il valore di emissioni di CO₂ è piuttosto consistente per la Regione Lombardia, sia in termini assoluti che percentuali. Tuttavia la percentuale di gran lunga maggiore si è verificata in Valle d'Aosta, per ovvi motivi climatici e per una più scarsa presenza di industrie ad alto consumo energetico. Sono notevoli anche le quote di altre Regioni settentrionali come Piemonte, Trentino Alto Adige ed Emi-

lia Romagna. Considerabile è la quantità di CO₂ del settore civile della Regione Veneto, anche se la quota coincide pressoché con la media nazionale. Il settore civile comprende il terziario che assorbe circa il 29% dell'insieme dei consumi energetici, e il residenziale, con la restante parte (71%). Vi sono delle diversità da Regione a Regione, dalla Lombardia, in cui il residenziale assorbe l'80% del consumo civile, al Lazio, dove il residenziale consuma solo il 60% del totale civile.

Tabella 7 - Produzione lorda di energia elettrica da impianti a fonti rinnovabili in Italia nel 2005 (GWh)

Regioni	Idrico	Eolico	Solare fotovoltaico	Geotermico	Biomasse	Totale	Quota rispetto al totale FR Italia	Quota rispetto alla produzione regionale totale	Quota rispetto alla richiesta regionale totale	Emissione CO ₂ evitata (kt)
Piemonte	5.569,2				269,6	5.838,8	11,7%	26,4%	20,8%	3.310,6
Valle d'Aosta	2.715,4				2,3	2.717,7	5,4%	100,0%	238,2%	1.540,9
Lombardia	7.148,4				1.968,4	9.116,8	18,3%	16,0%	13,6%	5.169,2
Trentino A. A.	6.596,2	0,1			80,4	6.676,7	13,4%	91,9%	100,8%	3.785,7
Veneto	3.023,8				374,0	3.397,8	6,8%	15,6%	10,7%	1.926,6
Friuli V.G.	1.285,0				117,3	1.402,3	2,8%	18,4%	13,9%	795,1
Liguria	150,6	8,7			23,6	182,9	0,4%	1,5%	2,6%	103,7
Emilia R.	787,9	2,2			908,8	1.698,9	3,4%	6,8%	5,9%	963,3
Toscana	456,1	3,0	0,1	5.324,5	290,4	6.074,1	12,2%	33,9%	27,6%	3.444,0
Umbria	1.543,5	2,6			130,2	1.676,3	3,4%	27,3%	27,8%	950,5
Marche	582,2				45,8	628,0	1,3%	15,2%	7,7%	356,1
Lazio	1.163,3	5,9			372,4	1.541,6	3,1%	6,0%	6,4%	874,1
Abruzzo	1.962,7	177,8	1,0			2.141,5	4,3%	40,6%	29,9%	1.214,2
Molise	172,1	56,9			129,1	358,1	0,7%	25,0%	22,9%	203,0
Campania	548,1	560,5	2,1		105,2	1.215,9	2,4%	22,3%	6,6%	689,4
Puglia		586,5	0,4		421,3	1.008,2	2,0%	3,1%	5,3%	571,6
Basilicata	335,4	147,7			22,1	505,2	1,0%	29,9%	16,1%	286,4
Calabria	1.404,3				752,4	2.156,7	4,3%	29,5%	33,8%	1.222,8
Sicilia	158,7	382,3	0,1		76,3	617,4	1,2%	2,4%	2,9%	350,1
Sardegna	463,8	409,3	0,2		65,2	938,5	1,9%	6,5%	7,4%	532,1
Totale	36.066,7	2.343,4	4,0	5.324,5	6.154,8	49.893,4	100,0%	16,4%	15,1%	28.289,6

Fonte:elaborazione ENEA su dati Terna

Dal settore dell'agricoltura, silvicoltura e pesca nel 2004 è derivato l'1,8% delle emissioni totali di CO₂ a livello nazionale, le emissioni che sono state prodotte da attività legate a questo settore sono quindi piuttosto basse. Le più alte sono pari al 4,7% per il Molise e al 4,9% per la Basilicata. Relativamente all'anno precedente non si sono avute forti variazioni.

Si rileva che le emissioni di CO₂ associate ai settori di consumo sono quelle relative ai soli consumi di combustibili, non essendo state messe in conto le emissioni associate ai consumi elettrici in quanto considerate settorialmente nella produzione termoelettrica. Valutazioni più qualitative per le emissioni di CO₂ possono essere fatte con l'ausilio degli indicatori.

La tabella 6 riporta i valori dell'anno 2004 e le variazioni annue rispetto al 2003, relativamente ad alcuni indicatori di base per la CO₂. Le quantità di CO₂ sono rapportate al PIL di ciascuna Regione, ai consumi lordi di energia e agli abitanti. Rispetto al PIL si hanno valori molto diversificati tra le Regio-

ni, da 234 t CO₂/M€ della Campania a 1024 t CO₂/M€ della Puglia. Tali Regioni presentavano anche negli anni precedenti i due estremi nazionali. Nel 2004, la quantità di CO₂ emessa per unità di PIL prodotto in Italia è ammontata a 428 t CO₂/M€, leggermente inferiore ai 429,6 t CO₂/M€ all'anno precedente.

Le emissioni di CO₂ per abitante, in Italia, sono state pari a 7,8 t CO₂/ab. la Liguria (12,1 t CO₂/ab.) e la Puglia (12,4 t CO₂/ab.) hanno registrato i valori più elevati; in Campania le emissioni pro capite sono state, invece, le più basse d'Italia (2,8 t CO₂/ab.).

Rispetto ai consumi interni lordi di energia, le emissioni di CO₂ superano il valore medio nazionale (di 2,6 t CO₂/tepCIL) in sette Regioni.

Va considerato che in alcune Regioni incide la forte componente di produzione termoelettrica, gran parte della quale è destinata all'esportazione. Nell'ipotesi di un riequilibrio territoriale a medio termine della produzione termoelettrica, anche le emissioni potrebbero essere programmate e controllate.

Tabella 8 - Producibilità degli impianti in progetto a fonte rinnovabile qualificati dal GSE al 30/6/2006. I dati sono espressi in GWh/anno

Regione	Idroel.	Eolici	Biogas	Biomasse	Solare	Rifiuti	Totale
Abruzzo	60,9	2,4	22,6	32	0	0	117,9
Basilicata	0	706,4	0	11,6	0	0	718,0
Calabria	8,0	1045,8	0,7	282,8	0	0	1337,3
Campania	38,5	229,9	33,5	88,0	0	0	389,9
Emilia Romagna	15,4	0	0	440,9	0,1	90,3	546,7
Friuli Venezia Giulia	29,7	0	0	300,0	0	0	329,7
Lazio	6,1	13,6	0	0	0	0	19,7
Liguria	7,2	17,5	49,2	0	0	0	74,0
Lombardia	236,3	0	15,0	55,2	0	107,6	414,1
Marche	7,4	629,0	16,0	0	0	0	652,4
Molise	75,4	456,4	0	158,8	0	85	775,7
Piemonte	722,1	0	36,5	26,8	0	0	785,5
Puglia	0	2845,9	36,1	8,0	0	0,7	2890,7
Sardegna	13,7	1465,0	25,4	85,0	0	0	1589,1
Sicilia	0	3915,3	0	115,3	2,6	0	4033,3
Toscana	38,0	55,0	4,5	40,0	0	32,0	169,5
Trentino Alto Adige	50,2	0	0	0	0	0	50,2
Umbria	0,7	12,0	3,6	1,6	0	0	17,9
Valle d'Aosta	22,5	0	0	8,4	0	0	30,9
Veneto	49,0	0	3,9	4,0	0	0	56,8
Totale	1.381,2	11.394,3	247,1	1.658,4	2,8	315,6	14.999,3

Fonte: elaborazione ENEA su dati Terna

Tabella 9 - Stato di definizione dei Piani Energetico-Ambientali Regionali

Regione/Provincia Autonoma	Situazione
Valle d'Aosta	Approvato con delibera del Consiglio Regionale nel 2003
Piemonte	Approvato dal Consiglio Regionale nel 2004
Lombardia	Approvato dalla Giunta Regionale nel 2003
P. A. Trento	Approvato dalla Giunta Provinciale nel 2003
P. A. Bolzano	Approvato dalla Giunta Provinciale nel 1997
Veneto	Approvato dalla Giunta Regionale nel 2005
Friuli-Venezia Giulia	Approvato dalla Giunta Regionale nel 2007
Liguria	Approvato dal Consiglio Regionale nel 2003
Emilia Romagna	Approvato dalla Giunta Regionale nel 2002. Aggiornato nel 2007
Toscana	Approvato dal Consiglio Regionale nel 2000
Umbria	Approvato dal Consiglio Regionale nel 2004
Marche	Approvato dal Consiglio Regionale nel 2005
Lazio	Approvato dal Consiglio Regionale nel 2001
Abruzzo	In fase di definizione
Molise	In fase di definizione
Campania	In fase di definizione
Puglia	Approvato dalla Giunta Regionale nel 2007
Basilicata	Approvato dalla Giunta Regionale nel 2000
Calabria	Approvato dalla Giunta Regionale nel 2002
Sicilia	In fase di definizione
Sardegna	Approvato dalla Giunta Regionale nel 2003. In aggiornamento.

Fonte: elaborazione ENEA su informazioni regionali

Interventi regionali per le fonti rinnovabili

Tutte le Regioni italiane hanno attivato iniziative nel campo delle fonti energetiche rinnovabili (FER), mediante due principali linee di intervento.

La prima si realizza attraverso i programmi "Tetti fotovoltaici" e "Solare termico" in attuazione dei decreti del Ministero dell'Ambiente emanati a partire dal 2000.

La seconda opera attraverso le misure specifiche previste all'interno dei Programmi Operativi Regionali (POR) finanziati con i Fondi Strutturali del Quadro Comunitario di sostegno 2000-2006 dell'Unione Europea.

Le Regioni operano anche attraverso iniziative autonome promosse nell'ambito di Leggi e Delibere Regionali e dei Piani Energetici Regionali. Quest'ultimi contengono le valutazioni delle potenzialità delle FER, dell'apporto all'offerta locale, dei benefici ambientali, nonché degli investimenti necessari.

Tutte le Regioni hanno aderito al sottoprogramma riservato ai soggetti pubblici del programma ministeriale "Tetti fotovoltaici" con l'esclusione di Marche, Umbria e Provincia di Trento.

Il dettaglio degli interventi regionali è riportato nel Rapporto ENEA (PON-ATAS) "Situazione energetica regionale 2006" dove sono analizzate le iniziative di ciascuna regione (Decreti, finanziamenti, bandi, obiettivi perseguiti e raggiunti).

La tabella 7 riporta i dati di base relativi alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, che complessivamente in Italia ha raggiunto il 16,4% nel 2005 con alcune Regioni che superano di molto la media nazionale, per la presenza soprattutto di fonti endogene tradizionali, come l'idroelettrico in Val d'Aosta, Trentino e Abruzzo, e come il

geotermico in Toscana. Ai valori energetici si accompagnano interessanti valori di CO₂ evitata.

La tabella 8 riporta i valori di producibilità degli impianti in costruzione e qualificati, che assommano a regime a quasi 15.000 GWh/anno, che porteranno la quota complessiva da FER da 16,4% a 21,4%, quota che si pone nella traiettoria dell'obiettivo posto dall'Unione Europea del 25% al 2012.

In sintesi, nell'ambito della programmazione energetica regionale, molte Regioni hanno approvato impianti FER, qualificati dal GRTN al 30/6/06, per un totale di 6.690,6 MW, con una producibilità complessiva di 14.999,3 GWh/a, con un incremento del 30% sul 2005. Di questi gran parte è costituita da impianti eolici (11.394,3 GWh/a, + 486%) ma anche da impianti idroelettrici, geotermici, a biomasse, e per una quota residua da impianti fotovoltaici. L'incremento di impianti eolici è consistente soprattutto nelle Regioni del Sud, in particolare in Molise, Puglia, Calabria, Sicilia, Sardegna, ma anche nelle Marche.

Piani Energetici Regionali

Aspetti generali

Le Regioni italiane che allo stato attuale hanno varato ufficialmente i Piani Energetico-Ambientali (PEAR) sono tredici, a cui si aggiungono le Province Autonome di Trento e di Bolzano. Nelle rimanenti Regioni i PEAR sono in corso di definizione (tabella 9).

Sono di seguito sintetizzati alcuni aspetti fondamentali dei PEAR, ovvero gli indirizzi generali dei Piani, che costituiscono di fatto l'articolazione delle politiche energetiche regionali.

L'ENEA è intervenuta nella predisposizione di quasi tutti i Piani, su richiesta delle Regioni. Il supporto è generalmente co-

stituito dall'impostazione del Piano, dalla definizione del quadro conoscitivo regionale e locale relativo al sistema energetico sotto tutti gli aspetti (bilanci energetici, indicatori), dalla definizione degli scenari e dalle valutazioni delle potenzialità delle fonti rinnovabili e del risparmio energetico. L'attività ENEA è svolta in collaborazione con strutture locali, quali agenzie regionali, università, consorzi, società private e singoli esperti.

Politiche e indirizzi dei PEAR

Tutte le Regioni che hanno approvato il loro PEAR hanno dedicato una larga parte del documento alla definizione delle linee fondamentali del Piano, degli scopi e delle interrelazioni dei Piani con le politiche regionali di sviluppo territoriale, nel quadro dello Sviluppo Sostenibile quale configurato dalla Comunità Europea, e degli impegni assunti a livello europeo e internazionale dal nostro Paese sulla riduzione delle emissioni climalteranti.

È in questo quadro che si colloca il Piano Energetico-Ambientale, i cui riferimenti sono costituiti:

- dal quadro normativo europeo nazionale e regionale;
- dagli obiettivi del Protocollo di Torino, in cui le Regioni si sono impegnati nella definizione dei PEAR comprensivi degli obiettivi nazionali per la riduzione dei gas serra;
- dalla correlazione con gli strumenti di programmazione, con particolare riferimento a quelli delle qualità dell'aria e della gestione dei rifiuti;
- dai bilanci energetici nazionali e regionali nonché dai relativi scenari tendenziali.

I Piani Energetico-Ambientali sono orientati a garantire obiettivi coerenti con la politica energetica del Paese e assicurare al territorio regionale lo sviluppo di

una politica energetica rispettosa delle esigenze della società, della tutela dell'ambiente e della salute dei cittadini.

I punti di riferimento degli indirizzi regionali sono pertanto la garanzia della sicurezza, la flessibilità e continuità degli approvvigionamenti, il funzionamento unitario del mercato dell'energia, l'economicità dell'energia e la qualificazione dei servizi, anche attraverso la promozione delle fonti rinnovabili e il risparmio energetico, la valorizzazione delle risorse del territorio, il perseguimento dell'efficienza degli usi finali dell'energia.

In linea con gli obiettivi generali delle politiche energetiche, ai vari livelli, i Piani Energetico-Ambientali Regionali perseguono obiettivi specifici e settoriali di tutela dell'ambiente, di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia, di uso razionale dell'energia. Essi devono considerarsi gli strumenti principali di indirizzi e proposte regionali in materia di energia, che dovranno essere recepite in modo trasversale rispetto agli altri piani regionali territoriali e di settore (trasporti, industria, edilizia, scuole, ospedali, rifiuti ecc.), dai quali traggono indicazioni relative alla domanda e forniscono indirizzi coerenti sull'offerta di energia.

I PEAR considerano una programmazione fino al 2010, riferimento temporale assunto dall'UE come termine di attuazione dei programmi comunitari a breve e medio termine nel settore energetico. Tenuto conto della rapida evoluzione in atto, i Piani sono considerati strumenti "dinamici", capaci, cioè, di adattarsi alle variazioni dello sviluppo sociale, economico e tecnologico che potrebbero verificarsi nel corso della programmazione prevista.

I Piani costituiscono perciò piattaforme di riferimento per il presente, da adeguare dinamicamente all'evoluzione futura del quadro di riferimento naziona-

le e internazionale in modo da offrire riferimenti certi agli operatori del settore, e la loro attuazione richiede, pertanto, un monitoraggio continuo e una verifica costante degli interventi a breve e medio termine.

Dall'esame dei PEAR considerati, si stima che qualora gli obiettivi venissero raggiunti, dalla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, si avrebbe un aumento complessivo dell'ordine di 17.000-19.000 GWh annui. A questi si aggiungono gli ulteriori contributi dagli utilizzi termici delle fonti rinnovabili. Il tutto potrebbe portare a una riduzione delle emissioni di CO₂ eq. di circa 14-17 milioni di tonnellate, corrispondente a circa il 3% della produzione di CO₂ eq. del 1990 in Italia.

Gli obiettivi di risparmio energetico previsti dai Piani Energetici Regionali approvati sono stimati in 15.000 ktep che permetterebbe la riduzione di circa 22 milioni di tonnellate di CO₂, pari a circa il 4% della CO₂ prodotta complessivamente in Italia nel 1990.

Conclusioni

Il ruolo, i compiti legislativi, normativi, decisionali, gestionali e operativi delle Regioni e Province Autonome si sono intrecciati con le stesse competenze dello Stato e dei Ministeri titolari delle materie energia e ambiente. Le attività e i risultati delle Regioni mostrano un impegno considerevole, che ha contemplato il perseguimento di obiettivi regionali in un quadro di strategie nazionali ed europee. Il sistema energetico nazionale soffre ancora per alcune disfunzioni nel collegamento tra i soggetti istituzionali preposti. A livello nazionale si sente l'assenza di un Piano Energetico che stabilisca indirizzi, regole ed obiettivi, necessari anche per un corretto sviluppo del decentramento.

Le attività regionali hanno dato luogo al conseguimento di obiettivi concreti. Già sono in corso in molte Regioni le realizzazioni di impianti per le rinnovabili che permettono di perseguire l'obiettivo comunitario del 20% di energia elettrica da FER entro il 2012.

L'esame dei contenuti e degli obiettivi dei PER mostra una coerenza di fondo con le strategie raccomandate a livello nazionale ed europeo.

I PEAR messi in campo hanno contenuti ed obiettivi di grande portata, definiti sulla base di valutazioni realistiche, di potenzialità di fonti rinnovabili e risparmi energetici perseguibili con le tecnologie esistenti, da realizzare mettendo in campo i necessari finanziamenti, competenze e capacità gestionali.

È da sottolineare che con la completa attuazione di tutti PEAR, compresi quelli ancora da approvare in termini di emissioni, si stima una riduzione di circa 60 Mt di CO₂ eq. che costituisce il 60% delle emissioni di gas serra da abbattere rispetto al tendenziale del 2012, per perseguire gli obiettivi di Kyoto.

Gli obiettivi regionali sono pertanto da ritenersi nazionali e il loro perseguimento il risultato di un impegno comune.

Il quadro completo e aggiornato delle attività delle Regioni in campo energetico può essere consultato nel sito ENEA, sezione News, riquadro "L'Energia nelle Regioni", <http://enerweb.casaccia.enea.it/enea-regionii/UserFiles/OSSERVATORIO/Sito/osservatorio.htm>

ENEA - Ufficio di Presidenza

Per informazioni
emidio.d'angelo@casaccia.enea.it

Applicazione di tecniche non distruttive: *l'Adorazione del Bambino* di Fra' Bartolomeo

Pietro Moioli, Claudio Seccaroni, Franca Persia

Il restauro di un'opera d'arte è l'occasione per un approfondito studio sulle tecniche di esecuzione e sulla genesi dell'opera e dei restauri subiti.

In questo contesto l'ENEA, con il suo knowhow sviluppato in venti anni nella diagnostica non distruttiva, fornisce un apprezzato contributo sempre più riconosciuto anche a livello internazionale



Il patrimonio storico-artistico e archeologico italiano è unico al mondo. Per la sua conservazione e valorizzazione è necessario in molti casi l'utilizzo delle più moderne tecnologie disponibili. Vi è infatti una crescente domanda di qualità degli interventi di salvaguardia dei beni culturali, sia a livello centrale che locale. L'ENEA, da oltre venti anni, risponde a questa domanda, utilizzando nel campo dei beni culturali, tecnologie e professionalità sviluppate originariamente nei settori dell'energia, dell'ambiente e delle nuove tecnologie. Nell'articolo che segue viene illustrato un esempio di applicazione di queste tecniche allo studio del dipinto *l'Adorazione del Bambino* di Fra' Bartolomeo. In un prossimo workshop specifico verrà presentato l'impegno scientifico dell'ENEA nel campo delle tecnologie per la salvaguardia dei Beni Culturali e Artistici e i risultati ottenuti a livello nazionale e internazionale.

L'opera

Il tondo (figura 1) è uno dei dipinti appartenenti alla collezione della Galle-

Application of non-destructive techniques: Fra' Bartolomeo, *Adoration of the Christ Child*

The restoration of a work of art affords an opportunity for an in-depth study of its origin, the techniques used to make it, and any previous restoration work.

ENEA, drawing on knowhow developed in twenty years of experience with non-destructive diagnostics, provides a contribution increasingly appreciated at the international level as well as in Italy

ria Borghese di Roma (n. inv. 439, diam. 87 cm) che ha stimolato di più le ricerche degli storici dell'arte dalla seconda metà del XIX secolo. Infatti in base alle caratteristiche stilistiche e all'eccezionale qualità esecutiva sono stati via via autorevolmente proposte attribuzioni eccellenti a pittori, quali Raffaello, Leonardo e Lorenzo di Credi, fino a quando Roberto Longhi nel 1926 [1], proprio mettendo a fuoco l'influenza diretta che essi hanno avuto sull'autore del dipinto, ha proposto di leggerlo come capolavoro e punto di arrivo del primo periodo dell'attività di Baccio della Porta (Firenze 1472-1517), successivamente noto come Fra' Bartolomeo.

Il recente restauro dell'opera¹ è stato pertanto visto come occasione per uno studio tecnico approfondito, cui ha partecipato anche l'ENEA mettendo in campo il knowhow nella diagnostica non distruttiva sui dipinti sviluppato da oltre due decenni, riconosciuto e apprezzato a livello internazionale. In particolare il contributo dell'ENEA ha riguardato la caratterizzazione mediante analisi di fluorescenza x dei pigmenti utilizzati nell'esecuzione del dipinto e dei successivi restauri e lo studio delle stesure pittoriche e della genesi intellettuale dell'opera mediante riprese radiografiche e riflettografiche.



Figura 1
Fra' Bartolomeo, *L'Adorazione del Bambino*, Roma, Galleria Borghese

1. Il restauro, sponsorizzato dalla FIT (Federazione Italiana Tabaccai), è stato eseguito da Elisabetta Zatti, sotto la direzione della dottoressa Alba Costamagna, della Galleria Borghese; successivamente l'opera restaurata è stata presentata in una mostra allestita alla Galleria Borghese: *L'Adorazione del Mistero. Fra' Bartolomeo nel segno di Leonardo* (30 novembre 2004-15 gennaio 2005).

La fluorescenza x

La tecnica della fluorescenza x si basa sulla possibilità di eccitare gli atomi degli elementi chimici presenti nel punto in esame mediante fotoni, ad esempio raggi x. Se questi hanno energia sufficiente possono estrarre un elettrone da un orbitale più interno lasciando l'atomo in uno stato eccitato. La diseccitazione, che avviene attraverso il salto di un elettrone da un orbitale più esterno a quello in cui si è creata la mancanza, è accompagnata dall'emissione di un fotone di energia corrispondente alla differenza tra i livelli energetici dei due orbitali ed è quindi caratteristico dell'elemento eccitato. Irraggiando pertanto lo strato pittorico mediante un sottile fascio di raggi x di opportuna energia emessi da un generatore e misurando l'energia e l'intensità della radiazione di fluorescenza emessa, si possono ottenere informazioni sulla sua composizione. Da quanto detto si deduce che con questa tecnica si riescono a individuare gli elementi chimici, e non i composti cui essi appartengono; nella maggior parte dei casi ciò non costituisce una limitazione molto severa per l'identificazione dei pigmenti. Infatti sulla base della tonalità di colore e degli elementi presenti si riesce quasi sempre a individuare il pigmento o i pigmenti utilizzati. All'interno di alcune classi, caratterizzate dalla presenza di un unico elemento pesante, è però impossibile identificare in dettaglio il pigmento; ciò avviene per esempio per le terre e l'ocra, individuabili attraverso il ferro, o per gli azzurri e i verdi caratterizzati dal rame [11]. Per l'interpretazione di alcuni dati sperimentali è inoltre necessario considerare non solo il colore della zona di misura, ma anche quello della regione circostante e sottostante. Ciò è dovuto alle dimensioni del fascio x incidente e alla capacità di penetrazione sia dei raggi x di eccitazione sia, e soprattutto, di quelli di fluorescenza, che è generalmente molto bassa, ma che nel caso dei dipinti interessa tutto lo strato pittorico, comprensivo della preparazione e del supporto. Una forte limitazione della tecnica è legata alla diminuzione dell'energia e del rendimento di fluorescenza, cioè della probabilità che un fotone incidente dia luogo alla emissione di un raggio x di fluorescenza, con il numero atomico Z. Elementi con Z inferiore a 19 (potassio) non possono essere osservati facilmente; è quindi impossibile, ad esempio, determinare per via diretta l'impiego di indaco, lacche, lapislazzuli, neri a base di carbonio ecc. Infine l'intensità delle righe caratteristiche di un certo elemento, legata alla concentrazione dell'elemento in questione e al suo rendimento di fluorescenza, dipende fortemente dalla composizione globale della regione interessata dalla misura. Per questo motivo le intensità delle righe di fluorescenza degli elementi determinati non possono essere correlati direttamente alle concentrazioni degli elementi; è invece possibile, per un singolo elemento, seguire le variazioni della concentrazione nei vari punti di misura. Le concentrazioni minime rivelabili dei diversi elementi decrescono con l'aumentare dell'energia della riga di fluorescenza x caratteristica, legata, a sua volta, al numero atomico Z. Con apposite calibrazioni si è verificato che, con il sistema messo a punto dall'E-NEA e nelle condizioni di misura solitamente adottate, il loro ordine di grandezza va da 1000 ppm per il calcio a 1 ppm per il bario, elementi le cui righe di fluorescenza sono agli estremi del range di energia indagato. A dispetto di queste limitazioni, pur severe per un confronto dei dati ottenibili con altre tecniche, i vantaggi offerti dalla tecnica XRF sono la portabilità, la rapidità di impiego e, soprattutto, la non-distruttività che consentono, se necessario, di esaminare su uno stesso oggetto un elevato numero di punti senza produrre alcun tipo di alterazione.

Per una dettagliata descrizione della tecnica e della sua applicazione allo studio di dipinti si rimanda a [6].

Condizioni sperimentali adottate

Le misure di fluorescenza x sono state eseguite con l'apparecchiatura e con le condizioni indicate:

- generatore di raggi x Gilardoni CPX-M160
- rivelatore Ge (hp) planare EG&G ORTEC; risoluzione 195 eV a 5,9 keV
- distanza campione-rivelatore 6,5 cm
- diametro del collimatore del fascio x incidente 0,1 cm
- tempo di misura 180 secondi.

Per quanto concerne la tensione e la corrente di lavoro del generatore di raggi x, per ogni punto di misura sono state utilizzate le seguenti condizioni: a) 60 kV, 4,0 mA; b) 20 kV, 4,0 mA. La seconda condizione è stata adottata per evidenziare gli elementi che emettono raggi x di energia più bassa. Nella condizione a) il fascio incidente era schermato, prima del collimatore, con un assorbitore di rame dello spessore di 0,05 cm allo scopo di attenuare la componente a più bassa energia.

Le indagini

Per quanto riguarda la fluorescenza x (XRF), una notevole esperienza sulla tecnica e sulla tavolozza di Fra' Bartolomeo era stata acquisita dagli autori, prima dell'effettuazione delle indagini sull'*Adorazione del Bambino*, con l'esame di 28 suoi dipinti su tavola e ad affresco, in tre distinte campagne di misura svoltesi a Firenze. La prima aveva avuto luogo presso i laboratori di restauro dell'Opificio delle Pietre Dure presso la Fortezza Da Basso, durante la quale erano state esaminate 6 opere in occasione del loro restauro. La seconda e la terza erano state effettuate in occasione della mostra "L'Età di Savonarola. Fra' Bartolomeo e la scuola di san Marco", tenutasi nel 1996, nelle due sedi di Palazzo Pitti e del Museo di san Marco, nel corso delle quali erano state indagate 22 opere di Fra' Bartolomeo e altre di pittori suoi contemporanei [2], [3], [4], [5].

Sull'*Adorazione del Bambino* sono stati analizzati 40 punti (figura 2); nella tabella 1 sono riepilogati i risultati, cioè le intensità delle righe principali degli elementi individuati, sotto forma di ratei di conteggio (cps). Gli elementi sono posti in ordine di energia crescente delle righe di fluorescenza: per stronzio, cadmio, stagno antimonio e bario i dati si riferiscono alle misure eseguite a 60 kV, per tutti gli altri elementi i dati sono stati ricavati da quelle a 20 kV. I valori riportati sono affetti da incertezze di misura del 5-20% per ratei inferiori a 10 cps, dell'1-5% per ratei compresi tra 10 e 100 cps e inferiori all'1% per ratei superiori. La dicitura tr indica la presenza dell'elemento in tracce; con ciò si vuole intendere che l'incertezza associata all'intensità di una riga di fluorescenza è confrontabile con il valore dell'intensità stessa. Occorre ribadire che le intensità, pur essendo proporzionali ai quantitativi degli elementi presenti nel punto di misura, non possono essere correlate direttamente al-



Figura 2
Posizione dei punti analizzati in fluorescenza x

Tabella 1 - Intensità delle righe di fluorescenza degli elementi determinanti (cps)

PN	Colore	Descrizione	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Au	Hg	As	Pb	Sr	Cd	Sn	Sb	Ba
13	verde	albero	1,9	1,2		10	1.035					83			6,2	1,3	
33	verde	prato	2,7	2,2		3,7	242					306			38		
14	verde ch,	prato	tr	3,0		4,6	131					240	0,60		49		
23	verde	risolto manto	1,0	1,8		4,9	1.060					195	0,56		4,4		
28	verde sc,	risolto manto	1,3	1,3	1,7	6,7	87					223	0,97		6,0		
21	nero	alteraz. manto	3,4	2,7		25	762					86	0,58		4,8	1,5	
40	nero	alteraz. manto	5,2	2,7		28	1.660					122	0,50		7,2	3,4	
04	azzurro	piega manto	tr	4,2		6,9	227					326	0,54		3,6	0,75	
39	azzurro ch,	manto	3,3	1,2		20	886					136	0,90		10	2,4	
29	celeste	manto	3,8	tr		17	943					86	0,63		5,8	2,3	
22	celeste	manto	2,2	2,5		11	174					249	0,30		4,9	1,5	
24	celeste	manto	2,0	4,0		13	149					184	0,56		3,7	1,4	
27	celeste ch,	manto	1,3	4,4		4,5	65					320			2,5		
25	celeste ch,	manto	1,1	2,5		3,8	19					299			2,1		
26	celeste	fascia*	1,2	1,5		7,0	33			63		248	0,74		5,7		
16	azzurro sc,	veste	2,3	1,1		10	578					34	0,87			0,95	
15	celeste	veste		2,0		12						375					
32	azzurro	acqua	1,0	1,1		3,4	76					246			19		
10	azzurro	monte	0,70	1,8		2,3	58					196			tr		
06	azzurro	cielo	0,79			2,8	25					204	0,26				
08	celeste	cielo	0,84			1,9						266	0,27		tr		
18	giallo	manto	1,1	1,4		5,6						222	0,73		80		
19	giallo sc,	manto	8,1	tr		276						39	1,4		1,5		
30	marrone	terreno	1,1	3,4		53	63					263	0,56		12		
35	marrone	architettura	2,1	1,6		113	14				4,7	187	0,80		2,3		
07	marrone sc,	rovine	2,0	tr		67	88				tr	122	0,87		tr		tr
02	grigio	sacco	0,44	2,1		8,9	63					110	0,41		2,5		
01	grigio sc,	ombra sacco	0,82	1,7	1,5	30	50					162	0,56		1,2		
09	incarnato	fronte				5,1	17				tr	273			2,0		
37	incarnato	pancia	1,2			6,1	8,0					376					
38	incarnato	ritocco	3,7		3,0	73		1.674			181	177	0,32	1,2	tr		20
12	incarnato	zigomo	0,56			6,0				10		176	0,41		tr		
31	incarnato	gamba**	0,77			5,0				12		384			1,3		
11	incarnato sc,	fronte	1,5	1,8		91	7,2			7,0		196	0,76		tr		
05	rosso	manica		1,7		6,4				181		168	tr		4,0		
03	rosso sc,	ombra veste	1,7	4,3	4,0	154				103		167	1,1		5,2		
36	rosso sc,	veste	1,4	tr	3,8	104				6,8		167	1,0		6,5		
17	rosso sc,	risolto manto	2,3	2,0	0,92	8,2	37					192	0,52		tr		
34	viola	risolto manto	2,7	1,0	1,2	29	12					65	1,0		0,75		
20	oro	aureola	0,98			3,6			64			359					

* Sul rosso della veste.

** In questa zona sembrerebbe visibile una leggera alterazione della vernice.

le loro concentrazioni, ma consentono di confrontare per ogni elemento i valori misurati nei vari punti; le variazioni d'intensità di un elemento si possono interpretare infatti come variazioni di concentrazione di quell'elemento da punto a punto. Gli strati preparatori, conformemente alla tecnica dell'epoca, sono a base di gesso, nella cui composizione sono state individuate impurezze di ferro e stronzio², usuali in questo tipo di materiale. Su questa preparazione è stata stesa un'imprimatura a base di biacca³ con la funzione di impermeabilizzare la superficie da dipingere. Il colore di quest'imprimatura è giallo chiaro tendente all'avorio, a causa dell'aggiunta di piccoli quantitativi di giallo di piombo e stagno⁴, caratteristica riscontrata anche su molte

opere del Perugino, di Raffaello e di pittori fiorentini della prima metà del XVI secolo [6, pag. 33].

Come pigmento bianco è stata utilizzata la biacca. Al grigio del sacco che funge da cuscino al Bambino, che è stato ottenuto probabilmente con biacca e un nero a base di carbonio non rivelabile direttamente con la fluorescenza x, sono stati aggiunti anche piccoli quantitativi di pigmenti a base di rame⁵, per conferire alla campitura una tonalità azzurrognola.

Le stesure di base delle campiture azzurre sono state realizzate con pigmenti a base di rame, cui sono sovrapposti strati pittorici di blu d'oltremare (lapislazzuli⁶), pigmento non evidenziabile con la tecnica XRF e che invece sul dipinto in esa-

2. Lo stronzio è legato alla celestina (solfato di stronzio [SrSO₄]) associata al gesso.

3. Carbonato basico di piombo [2PbCO₃·Pb(OH)₂].

4. Stannato di piombo, ne sono note due varietà: [PbSnO₄] e [PbSnO₃].

5. Si tratta di una serie di pigmenti azzurri e verdi antichi e moderni contenenti solo il rame come elemento pesante [11], e quindi non distinguibili singolarmente con i soli dati XRF, sulla base dei quali si può parlare genericamente di azzurri e verdi a base di rame.

6. Silicato di alluminio [3Na₂O·3Al₂O₃·6SiO₂·2Na₂S].

me è stato identificato con altre tecniche di indagine. Nel manto della Vergine sono stati inoltre identificati quantitativi minimi di antimonio, non riconducibili a impurezze dei pigmenti azzurri. I verdi sono stati ottenuti con pigmenti a base di rame e con giallo di piombo e stagno. I marroni del paesaggio sono stati realizzati con pigmenti a base di ferro⁷ (terre, ocra ecc.), piccoli quantitativi di pigmenti a base di rame e, talvolta, aggiunte minime di giallo di piombo e stagno per schiarire il colore. Nei marroni delle architetture sono state inoltre documentate aggiunte minime di cinabro⁸ per riscaldare la tonalità del colore.

Il colore del manto di san Giuseppe è stato eseguito con giallo di piombo e stagno nei chiari e con un pigmento a base di ferro, ma non una terra d'ombra, negli scuri.

Nei rossi e nei viola, eseguiti con lacche, sono state individuate aggiunte molto contenute di vetro macinato, evidenziato dalla presenza di manganese; questa caratteristica è stata riscontrata su molte opere di pittori fiorentini, di Raffaello e di Perugino, realizzate a partire dall'ultimo decennio del XV secolo [7]. Il vetro macinato aveva una funzione essiccative nei confronti delle stesure che impiegavano lacche, in quanto queste tendono ad essiccare con difficoltà, ed inoltre enfatizzavano la semitrasparenza caratteristica di quelle rosse. Nel rosso violaceo del risvolto del manto di san Giuseppe, sono stati aggiunti alla lacca piccoli quantitativi di pigmenti a base di rame, verosimilmente degli azzurri, per scurire e rendere violacea la tonalità della campitura.

Il rosso della veste della Vergine è stato ottenuto con pigmenti a base di ferro per gli scuri e con cinabro per i chiari.

Gli incarnati sono stati ottenuti con biacca e piccoli quantitativi di cinabro.

Per le aureole è stato utilizzato oro "in conchiglia", ossia finemente macinato, la cui composizione è risultata estremamente pura, in quanto priva di rame o argento.

Nei ritocchi apportati nei precedenti restauri sono stati identificati: zinco (bianco di zinco⁹), bario (bianco di bario¹⁰), arsenico (orpimento o realgar¹¹), e cadmio (giallo di cadmio¹²).

L'esecuzione delle indagini XRF prima della sverniciatura del dipinto ha consentito di individuare una patinatura dovuta a un precedente restauro in cui, per raffreddare la tonalità generale del dipinto, alla vernice erano stati aggiunti quantitativi minimi di verde di cromo¹³, pigmento moderno di origine artificiale. Sono risultate esenti da tale patinatura le zone più chiare e quelle in cui una seppur leggera velatura verde avrebbe compromesso una naturalistica resa ottica del colore, cioè gli incarnati e il cielo.

Per quanto riguarda l'indagine radiografica, la presenza della parchettatura¹⁴ interferisce pesantemente nella lettura dell'immagine globale (figura 3), per attenuarla è stato necessario un trattamento digitale.

Le radiografie, a parte il disturbo generato dalla parchettatura e dell'assorbimento della tavola, non mostrano un elevato contrasto, poiché le stesure pittoriche sono in genere sottili e poco radiopache. Le figure appaiono evanescenti.

7. Si tratta di diversi minerali a base di ossidi, idrossidi e silicati di ferro, anche questi non identificabili singolarmente in base ai soli dati XRF.

8. Solfuro di mercurio [HgS].

9. Ossido di zinco [ZnO].

10. Solfato di bario [BaSO₄].

11. Solfuri di arsenico, rispettivamente [As₂S₃] e [AsS].

12. Solfuro di cadmio [CdS].

13. Ossido di cromo [Cr₂O₃].

14. La parchettatura è una struttura di irrigidimento e sostegno delle tavole dipinte, costituita da una griglia con passo stretto di listelli di legno applicata sul retro delle tavole stesse.

ti soprattutto nei dettagli meno in luce, quelli cioè meno ricchi di biacca, pigmento fortemente radiopaco, come la parte inferiore della figura di san Giuseppe. Tale caratteristica è comune a molte opere a cavallo tra la fine del XV e l'inizio del XVI secolo, in particolare a quelle leonardesche, poiché la tecnica per velature impiegata comporta strati

pittorici di spessore estremamente sottile. Questa scarsa definizione radiografica è documentata anche in altre opere di Fra' Bartolomeo, ad esempio nella *Madonna con Bambino, san Giovanni e san Giuseppe* della Galleria Nazionale d'Arte Antica (Roma, Palazzo Corsini), opera databile al 1516, dove il volto della Vergine, sebbene corrisponda a

La radiografia

È una di quelle tecniche d'indagine non distruttive che consentono, mediante l'uso di radiazioni elettromagnetiche, di guardare "dentro" un oggetto opaco, analogamente a quanto si fa normalmente quando si osserva controluce un corpo semitrasparente. In quest'ultimo caso la luce che lo attraversa reca all'occhio informazioni sulla sua struttura interna. Quando l'oggetto è completamente opaco, occorre utilizzare, al posto della luce, qualcosa di più penetrante, appunto la radiazione elettromagnetica, capace di attraversarlo e di portare fuori informazioni sui suoi particolari interni. In questo caso l'occhio non è in grado di rivelare la radiazione che attraversa l'oggetto, e inoltre ne verrebbe seriamente danneggiato; al suo posto occorre utilizzare quindi una pellicola radiografica o un opportuno schermo fluorescente, sui quali viene formata l'immagine. Il fascio di radiazione elettromagnetica, raggi x o raggi γ , proietta sulla lastra radiografica l'ombra dell'oggetto, producendovi l'immagine della sua struttura interna. L'attenuazione della radiazione infatti è maggiore nelle parti in cui incontra materiali più assorbenti, cioè nelle parti più radiopache, determinando in corrispondenza zone più chiare. Per avere un'immagine sufficientemente nitida occorre che sulla lastra arrivi la quantità di radiazione richiesta dal tipo che si sta utilizzando, analogamente a quanto avviene per una normale fotografia. Quindi devono essere accuratamente scelti l'energia e l'intensità della radiazione incidente e il tempo di esposizione, a seconda delle caratteristiche dell'oggetto da esaminare e degli spessori in gioco. In questo modo è possibile evidenziare tutti i dettagli interni non osservabili mediante una semplice ispezione visiva, quali la sua struttura, i particolari di realizzazione, lo stato di conservazione, eventuali difetti e alterazioni ecc. La radiografia è uno degli strumenti diagnostici applicati allo studio delle opere d'arte di più antico e largo impiego; essa è attualmente considerata uno strumento tra i più validi e semplici da applicare: a tal punto che essa viene utilizzata correntemente come un'operazione preliminare a qualsiasi tipo di intervento e, in molti casi, può essere condotta a scopo conoscitivo indipendentemente da normali operazioni di restauro. Per una più dettagliata descrizione della tecnica si rimanda a [12].

Condizioni sperimentali adottate

Nel caso dell'Adorazione del Bambino l'indagine radiografica è stata condotta con l'apparecchiatura e le condizioni seguenti:

- generatore di raggi x Gilardoni ART-GIL
- tensione di alimentazione 28 kV
- corrente 5 mA
- distanza generatore-lastre 100 cm
- lastre tipo Agfa D4DW di formato 40x30 cm
- tempo di esposizione 60 secondi
- bagni di sviluppo Agfa Structurix G 128
- bagni di fissaggio Agfa Structurix G 328

Gli irraggiamenti sono stati eseguiti dal basso verso l'alto, con la lastra a contatto dello strato pittorico. Per indagare l'intera superficie del dipinto sono stati effettuati 12 irraggiamenti, le lastre sono state digitalizzate mediante scanner e il loro mosaico è stato ricostruito utilizzando il software Adobe Photoshop 7.1.

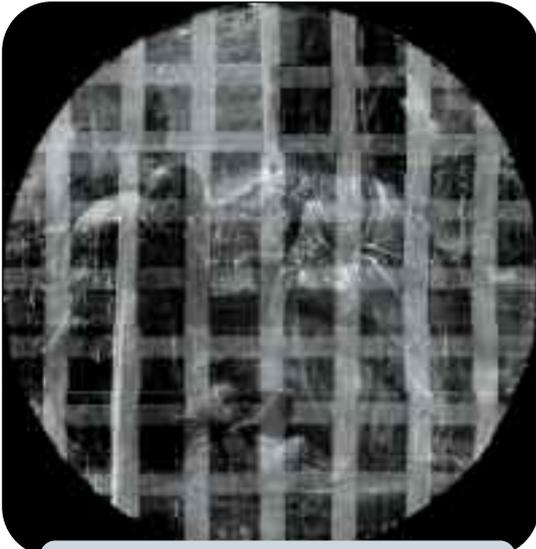


Figura 3
Montaggio delle lastre: è evidente l'interferenza della parchettatura

una campitura chiara, scompare del tutto nell'immagine radiografica [8]. Nel dipinto della Galleria Borghese comunque la definizione del Bambino e del volto, delle mani e del manto della Vergine risulta superiore a quanto verificato nell'esempio citato.

Nelle immagini radiografiche sono anche leggibili numerose piccole differenze rispetto al visibile, dovute nella maggior parte dei casi al modo in cui è stata costruita l'immagine sul dipinto, piuttosto che a pentimenti veri e propri (figura 4). Emblematici sono i piccoli spostamenti di margine delle figure rispetto alle stesure delle campiture adiacenti (figura 5) o lo scontornamen-

to di queste, risparmiando sottili strisce perimetrali.

Relativamente al disegno preparatorio, le immagini radiografiche hanno evidenziato una serie di incisioni realizzate come riferimento per i contorni di alcune pieghe del manto della Vergine.

I pentimenti veri e propri, in particolare quelli relativi alla figura del Bambino, sottolineano che la costruzione dell'immagine è probabilmente avvenuta in assenza di un unico cartone, dettagliato e definitivo, ma in maniera progressiva, nel corso dell'esecuzione, integrando e correggendo quanto già eseguito degli altri personaggi principali. Lo spostamento della testa del Bambino (figura 5) o la variazione nella posizione della sua gamba sinistra, purtroppo apprezzabili in misura minore rispetto a quanto messo in evidenza dalle riprese riflettografiche, nonché la mano destra evanescente (figura 6), documentano una ricerca particolare nella definizione di questa figura, quando ormai le due adiacenti erano state completamente impostate e per buona parte portate a compimento.

Accanto alla testa di san Giuseppe, sulla destra, si nota un'ampia zona scarsamente radiopaca, a indicare una stesura sottostante differente rispetto al paesaggio ora visibile (figura 7); dalla forma non è chiaro se tale zona possa corrispondere a un'impostazione differente del braccio sinistro, originariamente alzato e accostato alla testa, o a una maggior estensione delle rovine retrostanti.



Figura 4
Spalle della Vergine: è visibile un leggero ampliamento del manto sulla spalla che sovrappone alla prima stesura dello sfondo



Figura 5
Testa del Bambino: si nota lo spostamento verso sinistra, e la sovrapposizione al bastone di san Giuseppe già dipinto



Figura 6
Mano destra del Bambino: la resa evanescente della mano, a differenza di altre parti del corpo, sembrerebbe indicare che essa e parte del braccio siano stati dipinti su una prima stesura del terreno



Figura 7
Testa di san Giuseppe: sono visibili un leggero ampliamento della veste sulla spalla e un'ampia zona scarsamente radiopaca sulla destra, che indica una variazione di impostazione nella parte ora occupata dal paesaggio



Figura 8
Mani della Vergine: la minor radiopacità della zona al di sopra delle mani indica un leggero abbassamento della loro posizione, rispetto a quanto previsto al momento della stesura della campitura di base del manto

Sotto il mento della Vergine si osservano due macchie verticali fortemente radiopache. Quella a destra corrisponde alla zona in luce tra la spalla e il petto; quella a sinistra, che invece non ha corrispondenza nel visibile, marca l'attacco di una piega del manto tracciata in maniera veloce e compendiaria nella fase di abbozzo. L'alone meno radiopaco a sinistra delle mani della Vergine indica un leggero spostamento verso destra, successivo alla stesura di base dell'azzurro del manto, ma precedente all'abbozzo pittorico delle mani stesse (figura 8). Questa correzione, apparentemente trascurabile se valutata nel contesto del dipinto dove, come abbiamo visto, piccole aggiustature dei contorni sono frequenti, assume ben altro spessore se rapportata a uno dei modelli di riferimento per questo dipinto: il tondo con l'Adorazione del Bambino di Lorenzo di Credi del Metropolitan Museum di New York, opera che ebbe notevole fortuna "dal momento che se ne contano almeno cinque copie o varianti contemporanee" [9]. Nel tondo della Galleria Borghese Fra' Bartolomeo riprende fedelmente da questo modello la figura della Vergine con la variante significativa delle mani giunte leggermente spostate verso il centro, variante che adesso sappiamo essere intervenuta solo in un secondo momento, durante l'esecuzione pittorica. Fra' Bartolomeo aveva peraltro usato la composizione del tondo di Lorenzo di Credi in controparte nell'Adorazione del Bambino dell'Alte Pinakothek di Monaco di Baviera, dove la figura della Vergine è citata quasi testualmente (le manca il velo sulla testa) e, pertanto, le mani hanno la stessa posizione, più a sinistra, fino a sfiorare il contorno del manto che scende dalle spalle, come nel tondo di New York. Infine sull'Adorazione è stata eseguita la riflettografia infrarossa, una tecnica diagnostica d'immagine che permette, se sono soddisfatte alcune condizioni, di "vedere" il disegno preparatorio, even-

tuali pentimenti e tutto ciò costituisce il cosiddetto *underdrawing* (quali codici di colore, date, firme ecc.), fornendo così informazioni per la comprensione del percorso creativo seguito dall'artista.

Le applicazioni maggiori e i risultati migliori si hanno nelle indagini sui dipinti su tavola e tela, ma la tecnica si è rivelata estremamente utile anche sui dipinti murali realizzati con tecnica mista. Un esempio può essere il caso del dipinto murale di Mario Sironi *L'Italia fra le scienze e le arti*, realizzato per l'Aula Magna del Rettorato dell'Università di Roma "La Sapienza". La versione originaria conteneva alcuni simboli dell'epoca fascista, che in un restauro del 1953 erano stati coperti con stesure che si sono rivelate trasparenti all'infrarosso e hanno lasciato vedere quanto vi era stato dipinto in precedenza [10].

La lettura dei riflettogrammi ha evidenziato che nella costruzione dell'opera la figura della Vergine è stata ottenuta dal cartone mediante spolvero¹⁵, mentre quelle di san Giuseppe e del Bambino sono state disegnate a pennello. Nella figura del Bambino sono presenti anche due pentimenti: il primo, sostanziale, riguarda la gamba sinistra (figura 9) che originariamente era stata impostata più a destra di come risulta nella stesura finale, mentre il secondo interessa la testa che nel visibile si sovrappone al bastone di san Giuseppe (figura 10). Entrambi i pentimenti rivelano il tentativo di uno spostamento a sinistra della figura del Bambino verso l'asse centrale del dipinto.

Relativamente alla figura di san Giuseppe, il disegno preparatorio, ben leggibile in alcune zone, mostra un'iniziale costruzione senza panneggio: ciò è evidente in modo particolare nel braccio destro (figura 11) e nella gamba, dove alcune linee marcano i punti di riferimento per la co-

struzione anatomica, ad esempio nella caviglia. Il panneggio che ricopre la figura è stato quindi disegnato con tratteggi successivi, a volte irregolari e sommari, che ne definiscono i volumi e le ombre. Nel volto, prevalentemente in ombra, i riflettogrammi mostrano l'abbozzo dei capelli e della barba.

Come già accennato tracce di spolvero sono presenti solo sulla figura della Vergine e ne delineano le pieghe del manto (figura 12) e i contorni delle mani. La presenza dello spolvero sotto le mani risulta ancor più significativa, se si tiene conto del fatto che, come documentato dalle immagini radiografiche, queste sono state spostate e quindi il cartone impiegato per la figura della Vergine è



Figura 9
Gamba sinistra del Bambino: è visibile la posizione iniziale più a destra di quella finale



Figura 10
Testa del Bambino: è chiaramente spostata a sinistra e dipinta sopra il bastone di san Giuseppe

15. Lo spolvero è una tecnica utilizzata per trasferire un disegno da un cartone sulla superficie da dipingere e consiste nel praticare una serie di forellini lungo il contorno del disegno e nel far passare attraverso di essi della polvere di carbone dopo averlo poggiato sulla superficie stessa.

La riflettografia nel vicino infrarosso

È una tecnica di acquisizione relativamente più recente all'ENEA rispetto alle due precedenti, è basata sui principi della teoria ottica di Kubelka-Munk [13]. Essa sfrutta il principio della diversa trasparenza dei materiali pittorici alla radiazione dello spettro elettromagnetico del vicino infrarosso (λ compresa tra 0,8 e 2 μm) e permette così ad una telecamera sensibile all'IR di registrare la componente retrodiffusa dall'oggetto in esame, illuminato con una sorgente di radiazione infrarossa [14]. Si rendono così visibili disegni preparatori, pentimenti, codici di colore, firme. La tecnica, nata come fotografia all'infrarosso, consentiva solo una debole visione di quanto presente sotto lo strato pittorico; con le ricerche del fisico olandese J.R.J. van Asperen de Boer, che sperimentò la tecnologia dei tubi Vidicon, nei quali il materiale fotosensibile è il solfuro di piombo, ha poi avuto un grande successo a partire dalle prime applicazioni sui dipinti dei primi pittori fiamminghi [15]. In seguito con lo sviluppo della tecnologia dei materiali semiconduttori sono stati introdotti i sensori charge coupled device (CCD) e recentemente è stato sviluppato anche uno scanner IR, che ha come sensore un fotodiodo PIN [16], in grado di scansare anche grandi superfici, senza dover ricorrere alla mosaicizzazione delle immagini.

Affinché sia visibile quanto presente nello strato sottostante la stesura superficiale - che è l'obiettivo dell'indagine - sono necessarie tre condizioni:

- lo strato pittorico superficiale deve essere trasparente all'IR incidente (a ciò contribuiscono oltre la natura del pigmento anche lo spessore degli strati pittorici, la granulometria del pigmento, il tipo di legante in cui è disperso e il rapporto pigmento-legante);
- il mezzo utilizzato per il disegno preparatorio, o quello che costituisce la prima stesura, in caso ad esempio di un pentimento, deve assorbire il più possibile nella regione dell'infrarosso);
- la stesura dello strato preparatorio deve essere costituita da un materiale riflettente la radiazione infrarossa, come accade per esempio con le preparazioni a base di gesso e colla e con le imprimiture a biacca. Se queste condizioni sono soddisfatte, la radiazione IR incidente può raggiungere gli strati interni dell'opera e il contrasto che si crea tra materiali assorbenti e materiali riflettenti può essere registrato, permettendo così la visione di quanto non visibile ad occhio nudo. Le immagini in bianco e nero acquisite dalla telecamera (riflettogrammi) hanno spesso una bassa definizione e sono di dimensioni ridotte; per ovviare a questi due inconvenienti è necessario un trattamento che consenta di migliorarne la qualità e di ricostruire l'immagine globale mediante mosaicatura, impiegando programmi commerciali di image processing.

Condizioni sperimentali adottate

Le indagini riflettografiche sull'Adorazione del Bambino sono state eseguite con:

- una telecamera costituita da un riflettografo NIR 1200 della Opto lab. s.r.l. dotato di un sensore CCD (con sensibilità spettrale fino a 1,2 μm)
- due lampade Nitraphot-S da 250 watt della Osram, poste a circa 1-1,5 cm di distanza e ad un'angolazione di circa 30-40 gradi.
- un computer per l'acquisizione e la gestione delle immagini
- software di elaborazione delle immagini: Adobe Photoshop 7.1.

stato leggermente traslato per le mani. Alla luce di quanto emerso dalle indagini radiografiche e riflettografiche sull'*Adorazione del Bambino*, l'impiego nella figura della Vergine di mezzi grafici (spolvero e incisioni) differenti rispetto a quanto leggibile sotto le altre due sembra avere una sua logica, poiché la Madonna, a differenza delle altre figure, è stata rea-

lizzata seguendo un modello ampiamente sperimentato, pur con le modifiche e le varianti del caso specifico.

ENEA
Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali

Per informazioni
pietro.moioli@casaccia.enea.it



Figura 11
Braccio destro di san Giuseppe: si legge la costruzione iniziale senza il pannello, successivamente disegnato con tratti sommari



Figura 12
Manica destra della Madonna: si notano i punti neri dello spolvero impiegato per la costruzione della figura

Bibliografia

- [1] R. Longhi: *Precisioni nelle Gallerie Italiane. La Galleria Borghese.* "Vita Artistica", I., ripubblicato in "Opere Complete. Saggi e Ricerche 1925-1928", vol. II, Milano 1967, pp. 279-282.
- [2] E. Buzzegoli, D. Kunzelman, P. Moioli, R. Scafè, C. Seccaroni: *Analisi per fluorescenza x su sei dipinti di Fra' Bartolomeo.* ENEA INN-ART RT-96/008.
- [3] E. Buzzegoli, C. Giovannini, D. Kunzelman, G. Lanterna, P. Moioli, P. Petrone, A. Ramat, O. Sartiani, C. Seccaroni: *Indagini XRF su alcuni dipinti esposti nella mostra "L'età di Savonarola. Fra' Bartolomeo e la scuola di S. Marco".*
- [4] P. Moioli, R. Scafè, C. Seccaroni: *Analisi di fluorescenza X su sei dipinti di Fra' Bartolomeo,* in "L'età di Savonarola. Fra' Bartolomeo e la scuola di san Marco", Venezia 1996, pp. 314-316.
- [5] P. Moioli, C. Seccaroni: *The Use of Dark Pigments in Fra' Bartolomeo's Paintings.* Atti del Convegno 'ART & Chimie, la couleur', Parigi, 16-18 Settembre 1998, (CNRS, Parigi, 2000), pp. 203-208.
- [6] C. Seccaroni, P. Moioli: *Fluorescenza x, Prontuario per l'analisi XRF portatile applicata a superfici policrome,* Firenze 2002.
- [7] B.G. Brunetti, C. Seccaroni, A. Sgamellotti (a cura di): *The painting technique of Pietro Vanucci, called il Perugino,* proceedings of the 'LabS TECH Workshop', Firenze 2004, pp. 21-28, 29-41 e 43-56.
- [8] M. Cardinali, M.B. De Ruggieri, C. Falcucci: *Diagnostica artistica. Tracce materiali per la storia dell'arte e per la conservazione,* Roma 2002, pp. 149.
- [9] E. Faby, *Ritornando alle origini. Riconsiderazione della produzione giovanile di Fra' Bartolomeo,* v. nota 3, in "L'età di Savonarola Fra' Bartolomeo", Venezia 1996, pp. 3-11, p. 6.
- [10] M. Diana, F. Persia: *L'Italia fra le Arti e le Scienze di Mario Sironi: l'indagine riflettografia.* "Rivista di Arte e Critica", 1995, Anno III, 6-7, pp. 7-9.
- [11] P. Moioli, C. Seccaroni: *Pigmenti a base di rame: fonti storiche e analisi scientifiche,* OPD Restauro, Vol. 7, 1995, pp. 216-252.
- [12] P. Moioli, C. Seccaroni: *Tecniche radiografiche applicate ai beni culturali,* ENEA, Roma 2004.
- [13] P. Kubelka, F. Munk: *Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche,* *Zeitschrift für Technische Physik,* Vol. 12, 1931, pp. 593-601.
- [14] M. Bellaria, D. Bertani: *La riflettografia infrarossa,* in 'Elementi di archeometria. Metodi fisici per i Beni Culturali', Milano 2002, pp. 227-249.
- [15] J.R.J. van Asperen de Boer: *Infrared Reflectography: a Method for the Examination of Paintings.* *Applied Optics,* Vol. 7, n. 9, 1968, pp. 1711-1714.
- [16] D. Bertani, M. Cetica, P. Poggi, G. Piccioni, E. Buzzegoli, D. Kunzelman, S. Cecchi: *A scanning device for infrared reflectography.* *Studies in Conservation,* Vol. 35, 1990, pp. 113-116.

La fluidodinamica computazionale per l'ottimizzazione dei processi di combustione

Eugenio Giacomazzi

Nel settore energetico è oggi quanto mai evidente la necessità di una sinergia tra chi si occupa delle applicazioni industriali e chi ne studia la fisica di base. La moderna Computational Fluid Dynamics (CFD) ha raggiunto uno sviluppo tale da fornire informazioni molto dettagliate sui processi fluidodinamici, non ottenibili per via sperimentale. In particolare, la Large Eddy Simulation (LES) è in grado di catturare le non stazionarietà di un flusso, l'interazione di larga scala tra turbolenza, combustione ed acustica, e così aprire nuove strade per il controllo dei processi combustivi ed il miglioramento della loro efficienza



Il processo evolutivo delle conoscenze in campo scientifico, implica che, mentre in passato una piccola "osservazione" era sufficiente per sviluppare una grande innovazione, oggi questo non è più vero: per fare un piccolo passo in avanti è necessario acquisire una conoscenza sempre più dettagliata dei fenomeni fisici. Questo è particolarmente evidente nel settore energetico.

Oggi più che mai è dunque necessaria una sinergia tra le varie metodologie di studio dei fenomeni fisici ed uno stretto contatto con chi gestisce le applicazioni. In generale, un problema conoscitivo legato ad un processo controllato di conversione energetica quale la combustione, può essere affrontato per via sperimentale o tramite la simulazione numerica, entrambe accompagnate da un approfondimento teorico sulla fisica in gioco.

Solo disponendo di questi due approcci conoscitivi, coordinandoli e combinandone le potenzialità ed i risultati si può effettuare una sintesi produttiva. Nell'ultimo decennio, il Dipartimento Energia dell'ENEA, si è orientato verso questo

Computational fluid dynamics for optimizing combustion processes

The energy sector needs synergy between industrial applications and physics. Modern computational fluid dynamics can provide very detailed information. In particular, Large Eddy Simulation can capture the unsteadiness of flows, large-scale interaction among turbulence, combustion and acoustics, opening up new ways to control combustion processes and improve their efficiency. This article describes this technology and the types of results that can be obtained

approccio, conseguendo importanti successi.

L'obiettivo di questo articolo è quello di illustrare le tecnologie CFD, quali sono le motivazioni che rendono necessario lo sviluppo di modelli di turbolenza e di combustione sempre più sofisticati, e quali risultati è possibile ottenere con le più recenti tecniche.

Le basi della fluidodinamica computazionale

La fluidodinamica si occupa dello studio dei flussi, che possono essere reattivi, come quello che si sviluppa nelle fiamme di un caminetto o quello intorno a una navicella spaziale in rientro atmosferico, o non reattivi, come il flusso dell'aria intorno a un profilo alare o il flusso del sangue all'interno delle vene. La CFD, acronimo di *Computational Fluid Dynamics*, è uno dei mezzi per lo studio della fluidodinamica. In particolare, la CFD risolve per via numerica le equazioni che governano la fluidodinamica.

Il moto di un fluido, nell'ambito della meccanica del continuo, è regolato dalle equazioni di Navier-Stokes, che modellano il trasporto e la conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia [1]. Le variabili indipendenti sono lo spazio e il tempo; le incognite da calcolare sono la densità, la velocità, la temperatura, la pressione e, per problemi con mescolamento di specie chimiche diverse o con reazioni, le concentrazioni dei reagenti e dei prodotti di reazione. Si tratta di equazioni alle derivate parziali, che possono essere discretizzate e risolte con tecniche numeriche su un dominio (o griglia) computazionale, vale a dire su un insieme di "nodi" (o punti) in cui è stato discretizzato il dominio fisico [2]. Questa è in poche parole la base della CFD.

Ma quali sono gli ingredienti necessari per una corretta simulazione CFD? Da

quanto detto è importante avere approfondite conoscenze di fisica, matematica, tecniche numeriche, linguaggi di programmazione; bisogna disporre di un computer sufficientemente potente; infine, saper analizzare e interpretare i risultati ottenuti. Pensando ai calcolatori sempre più potenti di cui oggi disponiamo, l'obiettivo della CFD potrebbe sembrare facilmente raggiungibile o addirittura "banale": definiamo il problema e risolviamo le relative equazioni spingendo un semplice tasto. Se fosse così, sarebbe ingiustificato il gran numero di ricercatori che al mondo si occupa di CFD. Purtroppo, la maggior parte dei problemi fluidodinamici di interesse sono caratterizzati dalla coesistenza di più "scale" caratteristiche, e questo ne aumenta la complessità: di fatto oggi non è possibile ottenere una soluzione diretta delle equazioni di Navier-Stokes in tempi rapidi. Il tema multi-scala per eccellenza in fluidodinamica è la turbolenza; un tema di notevole importanza nella ricerca mondiale è oggi quello della combustione turbolenta.

La complessa fisica della combustione turbolenta

La turbolenza è un fenomeno riscontrabile in parecchie situazioni, sia nel contesto naturale (correnti marine, fiumi, oceani, atmosfera) che in quello tecnologico (ingegneria idraulica, chimica, aeronautica): in ultima analisi, è il regime turbolento, e non quello laminare (flusso ordinato, dominato dalla viscosità), che si dovrebbe riguardare come il naturale modo di essere dei fluidi.

In fluidodinamica risulta molto conveniente descrivere i fenomeni attraverso il ricorso a "numeri adimensionali" (tipicamente rapporti tra forze in gioco o tempi caratteristici) che permettono di classificare i fenomeni rendendoli comparabili.

Uno dei numeri caratteristici adimensionali usati per descrivere un flusso è il numero di Reynolds (Re). Esso è definito come il rapporto tra il tempo caratteristico del processo di diffusione molecolare e quello della convezione (spesso è definito, in modo equivalente, come rapporto tra forze di inerzia e forze viscosi). Fisicamente, quando questo numero è molto maggiore di uno, gli effetti viscosi sono trascurabili rispetto a quelli convettivi (o inerziali), o in altre parole, nel flusso la dissipazione di quantità di moto è trascurabile rispetto al suo trasporto convettivo. Esiste un certo valore critico del numero di Reynolds (che dipende dalla configura-

zione geometrica del problema in esame e dal tipo di fluido), oltre il quale, in presenza di gradienti di velocità, un flusso laminare subisce la transizione al regime turbolento; questo significa che in un flusso inizialmente bidimensionale, le varie grandezze (le componenti della velocità u, v, w ; la pressione p, \dots) non restano semplici funzioni delle due coordinate x e y , ma vengono a dipendere anche dalla terza coordinata spaziale z e dal tempo t . In queste condizioni gli effetti di una piccola perturbazione tendono ad amplificarsi perchè gli effetti inerziali sono dominanti rispetto a quelli viscosi che ne smorzerebbero gli effetti. Potremmo dunque de-



Figura 1
Strutture turbolente nella scia a valle di due cilindri. Le due scie sono inizialmente separate per poi diffondere una nell'altra per effetto della turbolenza sviluppata (Fotografia di R. Dumas [3])



Figura 2
Strutture turbolente all'interno di un combustore premiscelato simulato con tecnica LES. La fiamma è ancorata per mezzo del ricircolo a valle di un elemento strutturale prismatico (Fonte: ENEA)

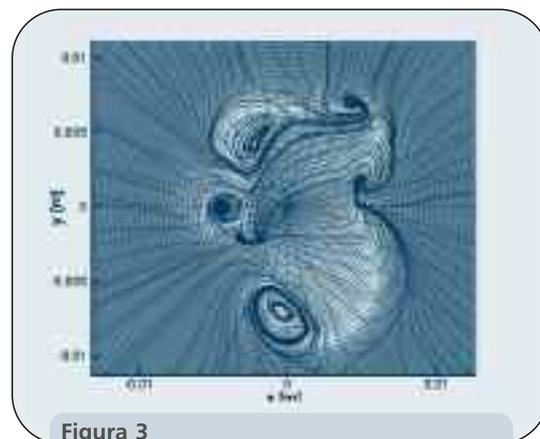


Figura 3
Sezione di un getto turbolento simulato con tecnica LES. Le linee di corrente evidenziano la presenza di vortici di diversa scala e la tridimensionalità delle strutture (Fonte: ENEA)

finire un flusso turbolento come un flusso irregolare e disordinato, la cui evoluzione è talmente non lineare da costituire un sistema caotico, ma che al tempo stesso è regolata dalle equazioni di Navier-Stokes: si parla perciò di "caos deterministico". La parola caos riferita a un sistema ne indica il "disordine" sia spaziale che temporale e questo può essere identificato dalle correlazioni spaziali e tempo-

rali delle fluttuazioni in gioco tendenti a zero per intervalli spaziali e temporali tendenti all'infinito. Il caos diventa "disordinato" quando la correlazione tende a zero per ogni intervallo spazio-temporale; è invece "ordinato" quando le correlazioni sono diverse da zero per intervalli finiti. Infine, il caos diventa "deterministico" quando interviene il concetto di causalità e può quindi essere rappresentato da un

La turbolenza

La turbolenza nei fluidi è meglio descritta in termini delle sue proprietà fenomenologiche piuttosto che matematicamente. Un flusso turbolento ha le seguenti proprietà.

1. È tridimensionale e rotazionale, come visualizzato nelle figure 2 e 3, che mostrano le strutture turbolente all'interno di un combustore premiscelato;
2. Si manifesta ad alti numeri di Reynolds;
3. Mostra fluttuazioni spaziali e temporali di tutte le grandezze (anche dell'ordine di decine di kHz), con picchi randomici e poco frequenti molto superiori alla media delle fluttuazioni ed alla media effettiva (fenomeno noto come intermittenza delle piccole scale) [4];
4. Mostra un apparente aumento della resistenza alla deformazione, cioè un apparente aumento della viscosità del flusso, a causa delle fluttuazioni di velocità che influenzano il moto medio;
5. Per effetto delle intense fluttuazioni, ha più spiccate proprietà di trasporto (di massa, di quantità di moto ed energia) con l'effetto di accelerare i fenomeni di trasporto molecolare, e quindi di mescolamento, ed i processi chimici, legati alle piccole scale;

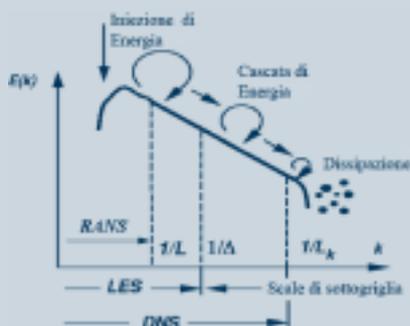


Figura 4

Rappresentazione spettrale in scala bi-logaritmica del decadimento dell'energia cinetica turbolenta $E(k)$. Sono anche indicati i range di numeri d'onda (k) risolti con le diverse formulazioni di simulazione

6. È caratterizzato da un flusso (chiamato "cascata") di energia cinetica attraverso uno spettro di scale o "eddies" [5, 6] (vedi figura 4). Per mezzo della deformazione, il moto medio trasferisce l'energia cinetica ai grandi vortici, che contengono la maggior parte dell'energia meccanica; poi, in modo "inerziale" (cioè senza dissipazione), l'energia fluisce verso scale sempre più piccole fino alla scala dissipativa (detta di Kolmogorov, caratterizzata da Reynolds unitario), dove è convertita in energia cinetica microscopica, cioè energia interna termodinamica. Questo flusso di energia coinvolge scale adiacenti (cioè di dimensioni simili, o numeri d'onda contigui nell'ottica di Fourier) e va preferenzialmente dalle grandi alle piccole scale; esiste anche una cascata inversa generalmente trascurabile in flussi non reattivi.
7. Infine, in turbolenza omogenea (che si ha quando tutte le grandezze medie sono invarianti per traslazione) e isotropa (che si ha quando tutte le grandezze medie sono invarianti per rotazione, e dunque indipendenti dalla direzione) il trasferimento di energia cinetica nel "range inerziale" avviene con una ben precisa pendenza, $k^{-5/3}$, su un piano energia - numeri d'onda, in scala bi-logaritmica (figura 4). Si ricorda che il numero d'onda k è definito come $2\pi/\lambda$, dove λ è la lunghezza d'onda.

insieme di equazioni con le loro condizioni iniziali e al contorno, e può quindi anche essere replicato. È d'altra parte possibile far emergere l'ordine dal caos di un flusso turbolento, semplicemente interpretando la parola ordine come esistenza di strutture coerenti spazialmente organizzate, cioè vortici. Un esempio di flusso turbolento è riportato in figura 1; si tratta di un flusso di acqua a valle di due cilindri. Si osserva che le due scie si mantengono inizialmente separate per poi diffondere l'una nell'altra grazie alla turbolenza più sviluppata.

È bene capire il significato di tre termini che vengono molto spesso usati come sinonimi nel contesto della turbolenza: "scala", "eddy", "vortice". Il concetto di "scala" è puramente matematico e usato in senso generale per indicare la decomposizione spettrale di un segnale turbolento nelle sue componenti di Fourier. Un "vortice" è una struttura coerente fisicamente osservabile in un flusso; è un insieme "organizzato" di particelle fluide, in grado di muoversi lateralmente e longitudinalmente, di cambiare la sua forma, di stirarsi, di ruotare, di rilasciare altri vortici o di rompersi in più vortici. La parola "eddy" si pone a metà tra le due precedenti: si riferisce sia al concetto astratto di scala che a quello di struttura fluidodinamica coerente rappresentato da un vortice.

Nella combustione turbolenta interviene anche la cinetica chimica, che descrive gli effetti delle reazioni chimiche. A livello microscopico queste corrispondono a collisioni tra molecole, e avvengono quando i reagenti sono mescolati a scale prossime a quelle molecolari e a temperatura sufficientemente alta. Ogni reazione chimica ha un suo tempo caratteristico, e poiché in combustione avvengono molte reazioni, si ha a che fare con uno spettro di tempi chimici. Questi tempi di-

pendono dallo stato dei reagenti, in termini di concentrazione, temperatura e pressione, e dalla loro evoluzione in non-equilibrio verso i prodotti finali.

In conclusione, la combustione turbolenta è caratterizzata dalla coesistenza ed interazione di due spettri di scale, quelle fluidodinamiche e quelle chimiche [7]. Si tratta dunque di un problema multi-scala. Tutte le scale in gioco devono essere risolte, spazialmente e temporalmente: è proprio qui che nasce la difficoltà di simulare flussi turbolenti, e quando questi sono anche reattivi le complicazioni aumentano.

Perché modellare?

In linea di principio, non c'è nessuna difficoltà nel risolvere numericamente le equazioni di Navier-Stokes; vengono discretizzate nello spazio e nel tempo, e vengono risolte ricorrendo a uno dei vari metodi numerici disponibili (differenze finite, volumi finiti, metodi spettrali, elementi finiti) [8]. Questo procedimento è noto come "simulazione numerica diretta", o DNS (Direct Numerical Simulation). Non c'è modellistica a nessun livello, e quindi si devono risolvere direttamente tutte le scale del problema, sia quelle spaziali che quelle temporali; gli unici errori che si introducono sono quelli di approssimazione numerica. È senza dubbio il modo più diretto e accurato per lo studio della turbolenza, ma è anche il più oneroso in termini di tempi di calcolo e di memoria richiesta: questo perché tutti i vortici tridimensionali devono essere "descritti" sia nello spazio che nel tempo, in modo da riprodurre tutta la dinamica del sistema in esame. Per avere un'adeguata risoluzione spaziale si richiedono griglie molto fitte, con un Δx (distanza tra i nodi di calco-

lo) dell'ordine della più piccola scala, quella dissipativa di Kolmogorov (η); per realizzare la simulazione tridimensionale di un processo caratterizzato da una scala di turbolenza massima L (tipicamente pari alla dimensione del nostro dominio fisico), occorrono quindi $(L/\eta)^3$ punti (con semplici calcoli si dimostra che tale quantità vale $Re_L^{9/4}$). Inoltre, per avere un'adeguata risoluzione temporale, il Δt massimo è imposto dalla scala temporale più piccola, quella del vortice η ; il numero di passi temporali richiesti per far avanzare la soluzione si dimostra quindi essere dell'ordine $\tau_L/\tau_\eta \sim Re_L^{1/2}$. Il tempo di CPU necessario a risolvere un tale problema, è, grosso modo, proporzionale al prodotto del numero dei punti della griglia per il numero dei passi di integrazione temporale, quindi $\sim Re_L^{11/4}$. Il conto approssimato ora eseguito è valido per flussi liberi; se intervengono pareti che delimitano il processo il costo sale, perchè in prossimità della parete i vortici vengono schiacciati. Il costo complessivo di una simulazione di un flusso con pareti è proporzionale a $Re_L^{3.5}$. Ricordiamo, ad esempio, che per realizzare la simulazione diretta di un canale piano (fenomeno non reattivo estremamente elementare) a $Re = 3000$, Kim et al. nel 1987 hanno usato due milioni di punti, con un tempo di CPU di circa 200 ore su un elaboratore Cray YMP. Se si vuole passare a Reynolds dieci volte più grandi (di tipico interesse ingegneristico), sono necessari circa 800 milioni di punti, con un tempo di CPU di circa 600000 ore sulla stessa macchina. Dal 1987 ad oggi la velocità dei calcolatori è aumentata notevolmente, ma lo stesso problema richiederebbe ancora alcuni anni per la sua soluzione numerica.

In combustione intervengono altri gradi di libertà, dati dallo spettro dei tempi chimici. Anche queste nuove scale devo-

no essere risolte, nello spazio (tipicamente nel fronte di fiamma) e nel tempo (tempi di ignizione). Il set di equazioni da risolvere diventa quindi più grande, e di conseguenza l'onere computazionale aumenta con il crescere del numero di specie trasportate nel campo fluidodinamico. Il numero minimo di specie da considerare dipende dalla complessità del combustibile; ad esempio, per cogliere in modo accurato l'accensione dell'idrogeno occorrono meno specie chimiche di quante ne occorrono per i tradizionali idrocarburi.

La conclusione è che l'approccio DNS è al momento improponibile per applicazioni industriali caratterizzate da elevati numeri di Reynolds, ma molto utile per capire meglio la complessa dinamica della turbolenza. Per poter dunque simulare flussi di interesse applicativo è necessario ridurre la qualità del risultato mediante la modellazione di alcuni fenomeni caratteristici, che differentemente sarebbero risolti integralmente in DNS.

Le alternative alla Simulazione Numerica Diretta

Si è visto come per risolvere flussi turbolenti caratterizzati da numeri di Reynolds di interesse applicativo sia necessario ricorrere alla modellazione. Esistono due tipologie di approcci per modellare le equazioni di Navier-Stokes: l'approccio RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) e l'approccio LES (Large Eddy Simulation) [9].

Nell'approccio RANS, le variabili sono decomposte in una parte media e una fluttuante e le equazioni vengono mediate nel tempo (media di Reynolds). In particolare, dall'operazione di media applicata al termine non lineare delle equazioni di Navier-Stokes nascono termini incogniti, talvolta difficilmente interpretabili fisicamente. La

modellazione di questi termini è nota come problema della "chiusura" turbolenta [10-12]. Si capisce quindi che avendo a che fare con equazioni medie, lo spettro di scale della turbolenza non è integralmente risolto, perchè tutte le scale turbolente sono state ridotte a un'unica scala, quella media (figura 4). Il modello di turbolenza introdotto per la "chiusura" deve rappresentare gli effetti dell'intero range di scale del problema in esame. In questo risiede la debolezza dei metodi RANS, perchè le grandi e le piccole scale turbolente, che hanno caratteristiche diverse, non sono fisicamente distinte nel modello. Le piccole scale dipendono dalla viscosità in un modo quasi esclusivo, nel senso che questa dipendenza è la stessa in molti flussi e non dipende dalla particolare applicazione; al contrario, le grandi scale sono fortemente dipendenti dalle condizioni iniziali e al contorno. Di conseguenza è impossibile rappresentare l'effetto delle grandi scale in problemi diversi con lo stesso modello; sulla base di misure sperimentali, sono possibili "aggiustamenti" opportuni di determinati parametri caratteristici del particolare modello adottato e del problema considerato. Una volta tarato su una classe di problemi, un modello RANS può fornire buoni risultati in termini di valori medi delle principali grandezze fluidodinamiche.

Nell'approccio LES [9], basandosi sul fatto che l'energia di un vortice di larga scala è molto più grande di quella di uno piccolo, vengono eliminate le piccole scale mediante un'operazione di filtraggio spaziale delle equazioni di Navier-Stokes, previa decomposizione delle variabili in una parte filtrata (o risolta) e una di sottogriglia (o non risolta). Conseguenza del filtraggio spaziale è che solo le grandi scale sono risolte. Come nell'approccio RANS, anche in questo caso nascono termini aggiuntivi, relativi alle piccole scale; questi effetti di sottogriglia devono essere modellati. Il modello usato per la "chiusura"

viene chiamato SGS (da "SubGrid Scale"), e il suo scopo è quello di riprodurre, nella maniera più realistica possibile, il trasferimento di energia dalle grandi alle piccole scale in modo accurato, almeno in senso statistico, senza produrre effetti numerici alla "frequenza di taglio". Per risolvere la maggior parte dell'energia cinetica turbolenta e limitare gli effetti del modello di sottogriglia, la scala del filtro viene scelta il più possibile vicino al range dissipativo (figura 4), caratteristico delle scale più piccole. Va osservato che poiché la turbolenza è un fenomeno tridimensionale, la LES impone un calcolo di tal genere. In conclusione, la LES fornisce una soluzione tridimensionale, non stazionaria, delle equazioni di Navier-Stokes, proprio come la DNS.

La CFD per applicazioni energetiche in ENEA: il suo valore aggiunto

Negli ultimi anni molto si è investito sulla CFD presso l'ENEA, sia in termini di risorse umane e di hardware ad essa dedicate, che in termini di collaborazioni, realizzando un'importante rete a livello di università (le più attive nel settore). In particolare, si sono seguite due strade: da un lato si è usato un codice commerciale (FLUENT), che consente di simulare geometrie molto complesse e problemi di vario tipo, dall'altro si è sviluppato (dal 2000) un codice proprietario ENEA (HeaRT, acronimo di Heat Release and Turbulence), che consente di simulare una classe più ristretta di problemi (combustione in fase gas e a breve anche multifase tipo gas-solido e gas-liquido) e geometrie più semplici (al momento cilindriche e cartesiane), ma che è dotato di una modellistica (sia numerica che fisica) più avanzata e accurata. Sono state condotte simulazioni di tipo RANS, per problemi e/o geometrie molto complessi, e di tipo LES, soprattutto per lo studio delle instabilità

di combustione e dei meccanismi di ancoraggio ed estinzione della fiamma. Per i calcoli si utilizzano sia macchine proprie dell'unità che i servizi di supercalcolo offerti dall'ENEA [13]. Si osserva che oggi nei numerosi centri di ricerca (europei e non) in cui la CFD è molto spinta si sfruttano macchine costituite da almeno 256 processori con switch di comunicazione ad alta velocità (InfiniBand, Myrinet, Quadrics). Si sottolinea che sono macchine di questo tipo, cioè con molti processori, che fanno l'effettiva potenza di calcolo per conti di fluidodinamica. Se in un centro di calcolo la stessa potenza è ottenuta come somma della potenza di tante macchine più piccole distinte (cioè separate), la potenza effettiva per la CFD è molto più bassa. Purtroppo la situazione italiana pende al momento su quest'ultima configurazione. Per meglio porre in evidenza e apprezzare le informazioni ottenibili dalla CFD, e in

particolare quelle che non potrebbero essere ottenute sperimentalmente, esaminiamo alcuni risultati di una simulazione LES. Consideriamo una fiamma non premiscelata (il combustibile diffonde prima in aria e successivamente brucia) di "syngas" e aria [14] (per syngas si intende un combustibile artificiale, che può essere prodotto dalla gassificazione di carbone o biomasse, composto principalmente da monossido di carbonio, idrogeno e azoto in percentuali varie). In questo caso il combustibile è iniettato nell'ambiente a circa 100 m/s da un tubo cilindrico con un diametro interno di 4,58 mm e l'aria fluisce coassiale a circa 0,7 m/s. Lo spessore del tubo è di soli 0,88 mm. Nonostante le sue ridotte dimensioni questo spessore svolge la funzione di "bluff-body", cioè di quell'elemento strutturale del bruciatore in grado di generare una zona di ricircolo che ancora saldamente la fiamma e ne consen-

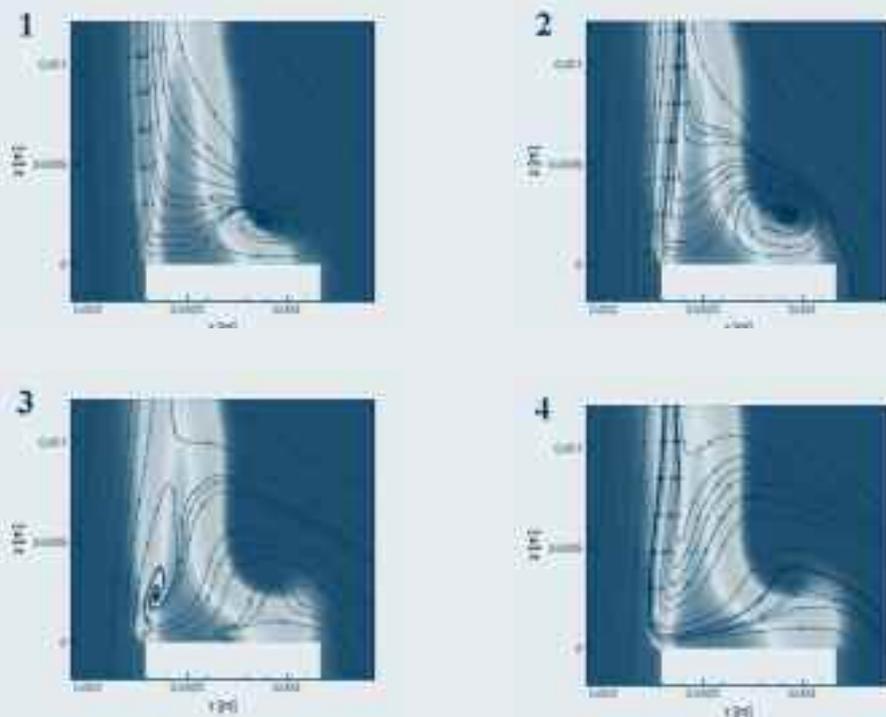


Figura 5
Campo istantaneo di temperatura e isolinee di velocità. Sequenza temporale relativa alla fluidodinamica dell'ancoraggio di fiamma, in prossimità dell'iniezione, per una fiamma non-premiscelata di syngas ed aria [14] (Fonte: ENEA)

te la sua stabilizzazione. Per cogliere la fluidodinamica di tale zona è necessaria una risoluzione spaziale molto alta, cioè le celle di calcolo in corrispondenza di questa regione devono avere una dimensione caratteristica molto piccola (circa 10^{-5} m). In figura 5 si possono osservare i dettagli della zona di iniezione del syngas. In particolare, sono evidenti i vortici rilasciati (fenomeno noto come "vortex shedding") dagli spigoli del tubo di iniezione, i quali intensificano il mescolamento tra aria e combustibile e aumentano il

tempo di residenza della miscela in condizioni di ignizione. Se esaminassimo la configurazione fluidodinamica media nel tempo di questa zona, osserveremmo un ricircolo stabile delle dimensioni dello spessore del tubo: questo sarebbe anche il risultato offerto da una eventuale simulazione RANS dello stesso bruciatore. La figura 6 mostra un campo istantaneo di densità e di temperatura e le onde acustiche prodotte dall'iniezione del getto e dal fronte di fiamma.

Occorre osservare che informazioni non stazionarie di questo tipo sono difficilmente ottenibili sperimentalmente. Infatti, ad esempio le tecniche di anemometria laser più avanzate forniscono informazioni istantanee ad alta frequenza ma non correlate temporalmente con altre, o medie a bassa frequenza (circa 10 Hz). Nella simulazione LES di fiamme turbolente tipicamente si lavora con passi temporali di almeno 10^{-6} s e quindi la risoluzione temporale può essere molto alta. È da sottolineare che la LES fornisce l'evoluzione temporale e spaziale di tutte le grandezze trasportate: densità, velocità, temperatura, pressione, concentrazioni. L'informazione di cui si dispone è quindi enormemente superiore a quella ottenibile sperimentalmente, sia dal punto di vista del numero di grandezze

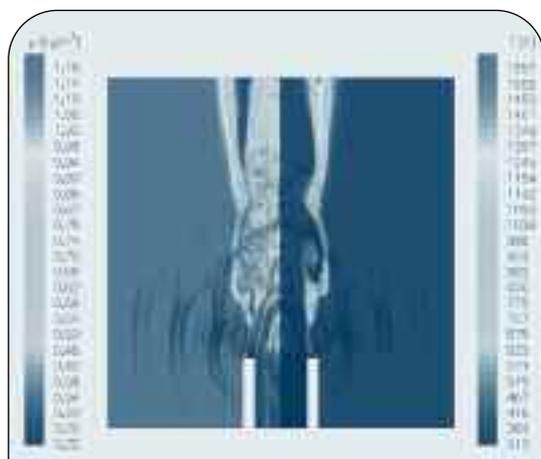


Figura 6
Campo istantaneo di temperatura (a destra) e densità (a sinistra) in prossimità dell'iniezione proiettati sulla superficie di pressione per mostrare le onde acustiche che propagano dal getto centrale di syngas [14] (Fonte: ENEA)

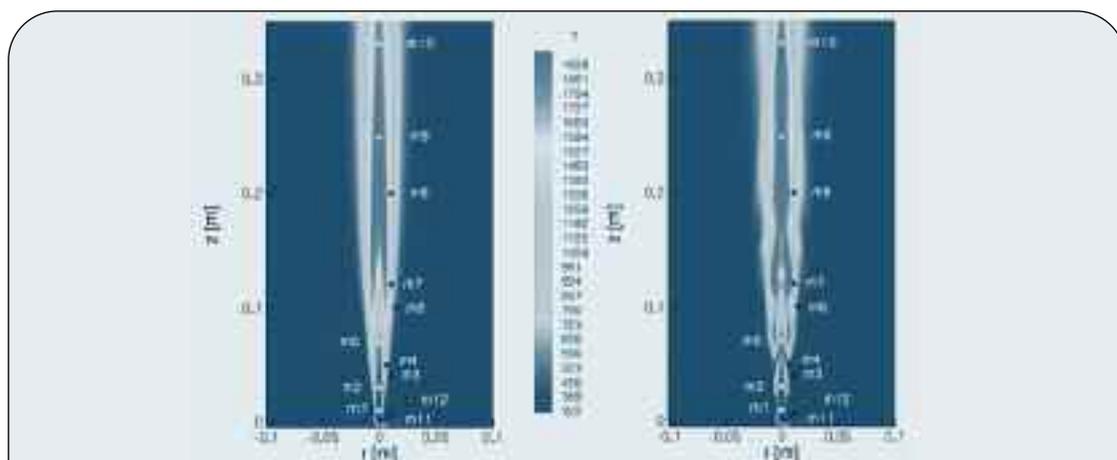


Figura 7
Campo medio (a sinistra) ed istantaneo (a destra) di temperatura. Sono anche mostrati i punti di campionamento usati per estrarre spettri di particolari grandezze, come l'energia cinetica turbolenta, o di altri scalari, come le concentrazioni o temperatura (Fonte: ENEA)

coinvolte che dal punto di vista dinamico. La figura 7 mostra ad esempio il campo medio ed un campo istantaneo dell'intera fiamma. I due campi sono ben diversi: in particolare in una visione media vengono persi gli eventuali fenomeni di estinzione localizzata della fiamma ed il meccanismo dinamico di ancoraggio della stessa. Tuttavia i confronti con gli esperimenti per la validazione di codici e modelli sono limitati ai soli profili medi e fluttuanti delle principali grandezze (velocità, temperatura ed alcune concentrazioni); raramente si dispone anche di frequenze caratteristiche, come ad esempio quelle di "shedding", o di distribuzioni che mettano in luce eventuali fenomeni di estinzione. Nella stessa figura sono pure riportati alcuni punti che nella simulazione in esame sono stati usati per campionare varie grandezze per poi costruirne gli spettri. Di solito vengono sperimentalmente misurati solo gli spettri di velocità o energia cinetica; ma con la tecnica più avanzata difficilmente si possono raggiungere frequenze superiori ai 2000 Hz. Poiché nelle fiamme si possono avere reazioni molto veloci con conseguenti fenomeni dilatazionali di alta frequenza (anche dell'ordine dei 10 kHz), sarebbe interessante raggiungere frequenze superiori per cogliere l'effetto sulla distribuzione dell'energia turbolenta. Ottenere spettri di altre grandezze alle frequenze descritte risulta praticamente impossibile. Recentemente presso l'ENEA è stata messa a punto una tecnica sperimentale, brevettata come ODC (Optical Diagnostics of Combustion), basata sull'impiego di un fotodiode, che estrae la dinamica dell'energia radiante emessa da una fiamma e quindi, in modo indiretto, la dinamica della temperatura [15]. È stato osservato che lo spettro di questa energia in fiamme turbolente generalmente va come $k^{-5/3}$, analogamente al range inerziale. Grazie all'e-

levata frequenza di campionamento (fino a 10 MHz) sono stati anche osservati dei picchi di energia ad alta frequenza dovuti alle reazioni di combustione [15]. Queste caratteristiche erano state precedentemente messe in luce in simulazioni LES [16]. La figura 8 riporta come esempio gli spettri di temperatura in tre punti di campionamento della fiamma syngas/aria qui esaminata. Si nota che la pendenza dello spettro, e dunque la dinamica, può cambiare nello spazio. Questo comportamento locale dipende dalla dinamica locale del flusso: lì dove la fiamma manifesta estinzioni e riaccensioni continue si ha un maggiore scostamento dall'andamento inerziale di Kolmogorov, mentre questo viene rispettato in condizioni più stabili. Gli spettri ottenuti con il fotodiode, che sono relativi ad un volume di misura non piccolo, mostrano tipicamente un andamento inerziale più marcato rispetto a quelli puntuali delle simulazioni; in condizioni prossime all'estinzione anche il fotodiode ha però rilevato scostamenti dal comportamento inerziale.

Disporre di informazioni del tipo di quelle qui descritte è fondamentale per risolvere problemi di emissioni di inquinanti, rumore acustico, funzionamento stabile del bruciatore e controllo.

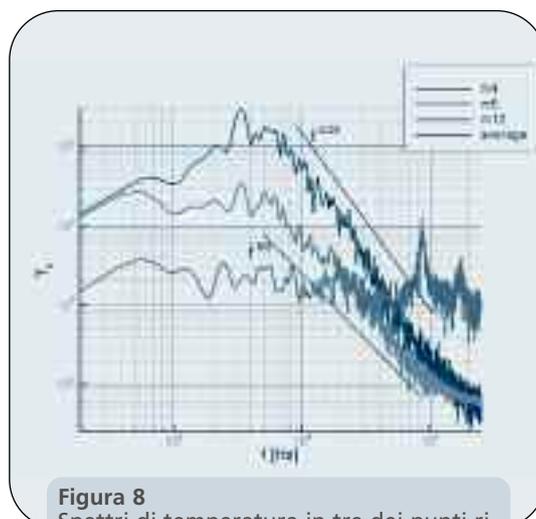


Figura 8
Spettri di temperatura in tre dei punti riportati in figura 7 (Fonte: ENEA)

È noto che i picchi di temperatura sono da evitare sia perchè aumentano le emissioni di ossidi di azoto (NO_x), sia perchè aumentano i carichi termici sulle strutture (rivestimenti, palette di turbina); problemi di questo tipo sono facilmente individuabili con il supporto dei dati provenienti dalla CFD, e possono essere risolti sviluppando e testando nuove "strategie di controllo", sia passivo che attivo. Ad esempio, è stato osservato che un bruciatore della General Electric per turbogas, operato a 10 atm, è affetto da problemi di pulsazione con la conseguente emissione di pacchetti caldi reagenti verso la turbina [17]; analizzando i dati LES sono state individuate le cause di tale comportamento indesiderato ed è stata sviluppata e simulata una strategia di controllo attivo che ha rimosso il problema. Tale strategia, che consiste nell'iniezione di getti pulsati di aria coassiali alla zona di reazione principale, è stata poi testata sperimentalmente in ENEA su un diverso bruciatore [18], di cui si è ampliato il range operativo stabile e di cui si è ridotto il rumore emesso di ben 2 dB grazie al confinamento acustico prodotto dai getti di controllo. Appare quindi chiaro che la CFD può essere considerata come una vera e propria tecnologia per il miglioramento dell'efficienza energetica.

Conclusioni

La simulazione numerica oggi è uno strumento in grado di fornire informazioni con un'abbondanza e un dettaglio non raggiungibili sperimentalmente. Investigando e catturando la non stazionarietà dei fenomeni fisici si possono scoprire nuove strade da percorrere per risolvere problemi tecnologici, come ad esempio quelli inerenti al controllo della combustione ed alla sua efficienza, sia dal punto di vista termodinamico che dal punto di vista di impatto ambientale.

Tra gli approcci numerici possibili, la DNS, che risolve senza introdurre modelli relativi alle scale non risolte le equazioni della fluidodinamica, è al momento improponibile per applicazioni industriali a causa dell'elevatissimo costo computazionale; il suo campo resta dunque limitato a problemi di fisica di base. Per poter simulare flussi di interesse applicativo è necessario ridurre la qualità del risultato modellando alcuni fenomeni. Nella LES, rispetto alla DNS, la fisica delle piccole scale viene persa perchè modellata; rispetto alla RANS, si guadagna tuttavia la non stazionarietà del flusso. Il costo computazionale della LES è significativamente più basso della DNS, consentendo di analizzare flussi con un numero di Reynolds almeno un ordine di grandezza più grande. Tuttavia la sua applicazione nel campo industriale è ancora limitata. Di fatto, nonostante le sue limitazioni intrinseche, la tecnica RANS è ancora oggi quella più adottata, in quanto consente (dopo opportuna calibrazione delle costanti del modello) di simulare tipologie di flussi molto complessi di importanza pratica.

Dal punto di vista applicativo oggi la LES entra solo nella fase finale della progettazione di nuove macchine o tecnologie di combustione, a causa del tempo richiesto dalle simulazioni, troppo lungo rispetto a quello delle RANS. È logico prevedere che con lo sviluppo di calcolatori sempre più potenti il contributo della LES diventerà più importante. È dunque essenziale cogliere i complessi fenomeni coinvolti (l'interazione tra scale fluidodinamiche e chimiche, ad esempio), nel senso di modellarli nel modo più fisico possibile, per avere una rappresentazione sempre più aderente alla realtà e quindi disporre di uno strumento di progettazione e di sviluppo di nuove tecnologie ad alta efficienza energetica.

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

Per informazioni

eugenio.giacomazzi@casaccia.enea.it

Bibliografia

- Batchelor G.K., *Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge, 1970.
- Anderson D.A., *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*, New York, 1984.
- Favre A., Guitton H., Guitton J., Lichnerowicz A., and Wolff E., *Chaos and Determinism - Turbulence as a Paradigm for Complex Systems Converging towards Final States*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, 1995.
- Batchelor G.K., *The Theory of Homogeneous Turbulence*, Cambridge, 1953.
- Frisch U., *The Legacy of A. N. Kolmogorov*. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- Kolmogorov A.N., Dokl. Akad. Nauk SSSR, 30:299, 1941.
- Arpaci V.S., Microscales of turbulent combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 21:153-171, 1995.
- Fletcher C.A.J., *Computational Techniques for Fluid Dynamics*. Series in Computational Physics. San Diego, 2nd edition, 1991.
- Poinsot T. and Veynante D., *Theoretical and Numerical Combustion*, Edwards, Philadelphia, 2nd edition, 2005.
- Launder B.E. and Spalding D.B., *Mathematical Models of Turbulence*. London and New York, 1972.
- Mohammadi B. and Pironneau O., *Analysis of the k - ϵ Turbulence Model*. Chichester, 1994.
- Patel V.C., Rodi W., and Scheuerer G., Turbulence models for near-wall and low Reynolds number flows. *AIAA Journal*, 23(9):1308-1319, 1985.
- <http://www.telegrid.enea.it>, ENEA - Progetto Telegrid: Principali Risorse di Calcolo in ENEA.
- Giacomazzi E., Picchia F.R., Arcidiacono N., Lefevre C., and Favini B., Unsteady simulation of a CO/H₂/N₂/Air non-premixed flame. In Raffaele Ragucci, editor, *XXIX Event of the Italian Section of the Combustion Institute*, <http://www.combustioninstitute.it>, 14-17 June 2006. Pisa, Italy.
- Giacomazzi E., Bruschi R., Daniele S., Giammartini S., Giulietti E., Manfredi F., and Stringola C., Experimental and numerical unsteady characterization of turbulent combustion. In *41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit*, number AIAA 2005-3579. 10-13 July 2005. Tucson, Arizona.
- Giacomazzi E., Battaglia V., and Bruno C., The coupling of turbulence and chemistry in a premixed bluff-body flame as studied by LES. *Combustion and Flame*, 138(4):320-335, 2004.
- Giacomazzi E. and Bruno C., Testing active control of combustion in a bluff-body burner by means of a numerical experiment. In ISABE, editor, *XV ISABE Symposium, Joint Propulsion Conference*, number 1144. 2-7 September 2001. Bangalore, India.
- Bruschi R., Daniele S., Giacomazzi E., Giammartini S., Giulietti E., Manfredi F., and Stringola C., Optical unsteady characterization of turbulent combustion: Application in an active control system. In *41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit*, number AIAA 2005-4328. 10-13 July 2005. Tucson, Arizona.

S@S: SelfAssessmentSystem per la gestione automatica dell'autovalutazione di percorsi di apprendimento

Maria Laura Bargellini,
Gemma Casadei, Loredana Puccia

S@S è un prodotto software ideato e realizzato per gestire in modo automatico il processo di autovalutazione. S@S permette al docente di creare un questionario e al discente di compilarlo, di conoscere l'esito e le eventuali correzioni. Una interfaccia user-friendly, rivolta sia ai discenti che ai docenti, permette di utilizzare il sistema in maniera semplice e interattiva

S@S: SelfAssessmentSystem Automatic self-assessment in learning processes

S@S is a computer program that manages the self-assessment process automatically. Teachers can use it to create questionnaires, and students to answer the questions, see the results and correct any wrong answers. A user-friendly interface makes this interactive system easy for both teachers and students to use



La diffusione dell'informazione scientifica, l'e-learning e l'ENEA

L'evoluzione scientifica e tecnologica determina la crescita della nostra società con ritmi più incalzanti rispetto al passato e influenza la vita di fasce di popolazione sempre più ampie.

Per questi motivi la stessa Commissione Europea [1] ha evidenziato la necessità di creare nuove vie di comunicazione tra i ricercatori, gli organismi di ricerca, e la Società in tutte le sue componenti con l'intento di avvicinare decisori politici e cittadini alla scienza che, fuori dai laboratori, può così divenire patrimonio comune. Questo traguardo può essere raggiunto mediante azioni mirate alla diffusione dell'informazione scientifica e al trasferimento tecnologico. Il compito di diffondere su larga scala la conoscenza scientifica dovrebbe essere svolto, come auspicato dalla Commissione Europea, oltre che dai mass media e dalle istituzioni scolastiche, anche dagli stessi esperti, ricercatori e tecnologi di enti pubblici e privati di ricerca.

Questi, pur non svolgendo in maniera istituzionale attività didattiche e di comunicazione, come gli insegnanti e i giornalisti, possono comunque contribuire a diffondere in maniera capillare la cultura scientifica e tecnologica.

Un modo per rendere accessibile il patrimonio culturale degli esperti, ottimizzando il tempo dedicato alla comunicazione, può essere quello di utilizzare l'e-learning. Le nuove tecnologie informatiche, coadiuvate dalle più recenti metodologie didattiche, permettono di portare alla luce il bagaglio di esperienze degli esperti, comprese le conoscenze tacite, rendendo accessibile, a chiunque abbia a disposizione un computer, grandi quantità di materiale strutturato e organizzato.

L'ENEA da molti anni è attivo in azioni di trasferimento tecnologico verso il tessuto delle PMI italiane e nella diffusione dell'informazione scientifica attraverso le giornate della cultura scientifica, seminari, conferenze, interventi radiofonici e televisivi e sin dal 1995 si occupa di e-learning sia a livello di ricerca che di servizio.

I corsi di 'formazione a distanza' presenti nel sito ENEA [2] sono, di fatto, una *finestra* aperta dall'ENEA verso tutto il mondo circostante dove il knowhow degli esperti ha la possibilità di diffondersi. Il sito, non ponendo alcun limite né temporale né geografico, può essere raggiunto da chiunque; inoltre, possono accedere ai corsi anche fasce di utenza non specifica, senza particolari conoscenze informatiche incoraggiati da un'interfaccia amichevole. Attraverso l'e-learning viene anche veicolato aggiornamento professionale mirato alla formazione e valorizzazione del capitale umano.

Dal 2003 sono presenti nel sito alcuni corsi concepiti con una metodologia realizzata in ENEA per progettare percorsi

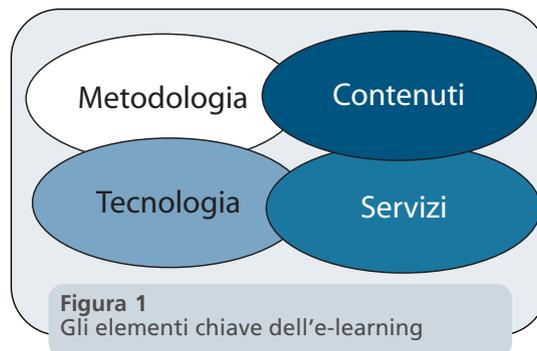
di apprendimento in rete, di tipo asincrono, dedicati al lifelong learning e orientati ad un'utenza generalizzata.

Il ruolo della metodologia nell'e-learning

Un prodotto e-learning è un sistema complesso che poggia la sua validità sull'integrazione di più modelli - concettuali, tecnici e sociali - definiti in termini di: contenuti, tecnologie dell'informazione e della comunicazione, servizi all'utenza.

L'e-learning si articola in un quadro metodologico in grado di accogliere il sapere del docente e le esigenze del discente; di adeguare e sviluppare le potenzialità dell'ICT.

Il processo di apprendimento in e-learning è caratterizzato da 4 elementi chiave: la metodologia, i contenuti, la tecnologia e i servizi.



In particolare, la metodologia svolge un ruolo primario soprattutto perché la formazione e-learning, specialmente quella di tipo asincrono, è caratterizzata dalla mancanza di contatti diretti che coinvolgono la sfera emotiva, sia del docente che insegna, che del discente che apprende. L'uso di una metodologia di progettazione permette ai percorsi didattici fruibili in e-learning di mantenere la loro efficacia ed efficienza. Impostare una metodologia di progettazione di corsi di formazione e-learning significa, in dettaglio:

- identificare scenari, definendo gli ambiti di utenza in cui il percorso didattico prende forma;
- definire obiettivi finali e intermedi della formazione;
- individuare procedure di gestione del lavoro;
- determinare tempi, risorse e ruoli;
- scegliere strumenti idonei agli scenari per il conseguimento degli obiettivi;
- predisporre sistemi di valutazione/autovalutazione del raggiungimento degli obiettivi;
- realizzare procedure di test di usabilità e monitoraggio dell'utenza;
- identificare e valutare limiti di tolleranza entro i quali i risultati possono essere accettati.

La metodologia è quell'elemento che, fondandosi su studi pedagogici/andragogici¹[3], fa proprie le esigenze dell'u-

tenza e promuove, stimola, verifica che i contenuti, le tecnologie e i servizi rispondano in modo adeguatamente efficace ai requisiti dell'utenza stessa.

Studi e ricerche sulle metodologie di progettazione di corsi e-learning sono state svolte in ENEA fin dal 1995 ed è stata realizzata una metodologia denominata KM² (Knowledge Management Methodology) descritta in un volume edito da ENEA [4]. Sono stati realizzati con KM² tre corsi e-learning per il trasferimento tecnologico e la diffusione dell'informazione scientifica che ad oggi accolgono più di 4.100 iscritti.

Un ruolo di particolare rilevanza nella metodologia KM² è riservato al momento di valutazione dell'apprendimento e in particolare alla fase di autovalutazione considerata come strumento chiave di verifica del processo cognitivo.

KM² (Knowledge Management Methodology)

KM² è una proposta metodologica per la progettazione di percorsi didattici realizzata e testata in ENEA. Si fonda su studi pedagogici/andragogici; fa proprie le esigenze dell'utenza e promuove, stimola, verifica che i contenuti, le tecnologie e i servizi rispondano in modo adeguatamente efficace ai requisiti dell'utenza stessa.

KM² cerca di coniugare, in un quadro metodologico diretto a un pubblico adulto, il sapere del docente, le esigenze del discente e le potenzialità dell'ITC.

KM² mira, in un paradigma di interfacce amichevoli, a rendere gli esperti e i ricercatori ENEA autonomi nel diffondere il proprio bagaglio cognitivo e supporta gli utenti nel loro percorso formativo rendendoli indipendenti nella valutazione dei progressi del loro apprendimento.

KM², basandosi su un insieme di fondamenti teorici e di procedimenti tecnici relativi all'e-learning:

- *accompagna e sostiene l'esperto dei contenuti nel percorso di progettazione di corsi e-learning asincroni, dalla fase di ideazione sino al test di usabilità;*
- *aiuta l'esperto a destrutturare e riorganizzare la propria conoscenza in funzione di un paradigma che prevede tre livelli di approfondimento: Moduli, Lezioni, Unità;*
- *prevede di articolare la risorsa didattica in obiettivi di apprendimento e concetti chiave;*
- *mette a disposizione dell'esperto un sistema interattivo per la costruzione di questionari di autovalutazione.*

1. Andragogia: scienza dell'apprendimento negli adulti. Alla sua base c'è l'osservazione che le persone adulte apprendono in modo diverso dai bambini e dai ragazzi. Uno dei suoi massimi esponenti è Malcolm Knowles.

La valutazione

Nella progettazione di percorsi didattici, sia in presenza che a distanza, la valutazione assume un'importanza rilevante nell'ambito del percorso formativo poiché svolge la funzione di verificare il raggiungimento degli obiettivi.

Il test di valutazione può essere usato nel corso come un importante strumento metodologico di apprendimento indirizzato allo studente; il test non solo valuta l'apprendimento del discente, ma, soprattutto, deve far sì che lo studente apprenda di più e più facilmente. Il discente impara soprattutto dai suoi errori.

Quando il discente fa un errore prova un'emozione, si sente inadeguato perché vuole conoscere quale motivo e che cosa lo ha portato a rispondere in modo errato. Noi dobbiamo utilizzare l'emozione scaturita dalla risposta sbagliata per aggiungere, correggere o modificare le conoscenze acquisite durante il corso.

Quando il discente ascolta la correzione data dal docente, si trova nella giusta condizione mentale per ricevere la nuova informazione che incrementerà o modificherà il proprio bagaglio cognitivo. La verifica dell'apprendimento raggiunto può essere prevista a fine percorso o nelle fasi intermedie. Il "feedback" può essere costituito da un punteggio totale (valutazione sommativa) oppure prevedere diverse modalità di risposta che accompagnino lo studente verso il raggiungimento degli obiettivi (valutazione formativa).

La valutazione sommativa rappresenta un bilancio consuntivo della programmazione didattica. Allo studente viene chiesto di svolgere un test a fine corso e gli viene poi attribuito un punteggio complessivo, senza che vi sia una precisa indicazione sui tipi di errore commesso e conseguenti correzioni.

Nella valutazione formativa la fase valutativa può andare al di là della semplice verifica dei risultati raggiunti e divenire una opportunità da cogliere per correggere il tiro, rafforzare la propria autostima, oppure per individuare argomenti che richiederebbero un ulteriore approfondimento. La fase di verifica si trasforma così in una vera e propria attività formativa.

L'autovalutazione

Il percorso di apprendimento può essere valutato dal docente e/o dal discente stesso; nel secondo caso parliamo di autovalutazione.

Nel progettare un sistema automatico di autovalutazione il primo passo da fare è quello di chiedersi cosa valutare.

Sicuramente la prima cosa da valutare è il percorso di apprendimento del discente, inteso come acquisizione delle conoscenze fornite durante la frequentazione del corso e integrazione di queste nel proprio bagaglio cognitivo. Contemporaneamente è opportuno verificare l'efficacia e l'efficienza del corso, osservando quante informazioni sono state assimilate, come queste siano diventate conoscenza e quando si siano integrate nel bagaglio cognitivo per poter essere spese come competenza.

Nel progettare un sistema di autovalutazione si deve avere ben chiaro l'obiettivo della valutazione: valutare il processo di apprendimento o la competenza acquisita.

Valutare il processo di apprendimento dello studente implica una valutazione formativa, che ha carattere "privato", perché permette allo studente stesso di monitorare l'andamento dell'apprendimento *in itinere*, consentendo aggiornamenti in tempo reale. Valutare le competenze implica una valutazione sommativa, che ha carattere "pubblico" e "si basa su azioni/prestazioni osserva-

bili fornite dallo studente, intese come indicatori di possesso" [5].

S@S[6] si indirizza verso una valutazione privata, *in itinere*, che permette l'aggiornamento del percorso formativo. S@S propone la valutazione di processo. Il secondo passo da compiere è quello di stabilire quando introdurre la valutazione. Se il momento della valutazione è atteso al termine del processo didattico, valutazione orientata alla certificazione, parliamo di valutazione sommativa: si valuta la conoscenza dello studente espressa come competenza.

Se il momento della valutazione accompagna costantemente il processo didattico nel suo svolgersi, parliamo di valutazione formativa: viene monitorato il grado di apprendimento raggiunto e vengono evidenziate le eventuali lacune. Nel secondo caso possiamo attivare tempestivamente gli interventi correttivi più opportuni.

La valutazione formativa, a differenza della valutazione sommativa, richiede senz'altro un investimento maggiore da parte del docente, per quanto riguarda la progettazione del test. Infatti, l'obiettivo del test sarà quello di cogliere le lacune dello studente e colmarle.

Il sistema di autovalutazione S@S permette la valutazione in itinere, perché organizza i quesiti in funzione della struttura dei moduli didattici.

Il terzo passo per la progettazione di un sistema di valutazione è quello di individuare chi valuta.

Anche l'offerta formativa può essere verificata, nella sua efficienza/efficacia, dal docente autore oppure dal discente fruitore; nel primo caso parliamo di autovalutazione.

L'autovalutazione formativa

L'autovalutazione formativa può essere definita come la misura del grado di accrescimento della propria conoscenza direttamente condotto dal discente; è il

momento in cui il discente, esaminandosi, prende totale conoscenza del grado di istruzione e/o formazione raggiunto e misura la distanza che lo separa dal raggiungimento dell'obiettivo.

La consapevolezza del proprio livello di conoscenza rende il discente conscio del suo valore oggettivo e più sicuro nella scelta dei percorsi successivi per il raggiungimento del livello di conoscenza superiore. Attraverso il test, il discente può verificare in itinere il suo percorso di apprendimento e ha l'occasione di focalizzare eventuali lacune e punti deboli o di consolidare le conoscenze acquisite. In base ai risultati ottenuti può ritenere opportuno continuare il corso, passando ai moduli didattici seguenti o, al contrario, tornare ad approfondire unità poco chiare, intere lezioni, o semplicemente parti del testo. S@S è uno strumento che permette l'autovalutazione di tipo formativo, poiché:

- si rivolge direttamente al discente;
- dal punto di vista metodologico considera l'apprendimento come processo;
- può essere eseguito durante il percorso di apprendimento;
- offre una correzione in tempo reale all'errore commesso perché la correzione è più efficacemente formativa se data in tempo reale.

Il test di autovalutazione formativo si inserisce nel percorso cognitivo come un importante strumento metodologico rivolto all'utente non solo per valutare l'apprendimento, ma soprattutto per facilitarlo. Tale strumento permette al discente durante il percorso didattico, di valutare se sta assimilando in modo corretto i contenuti, senza che si renda necessaria la presenza diretta del docente. S@S inoltre consente al docente di misurare anche l'efficacia e l'efficienza del corso in funzione della tipologia della classe poiché tiene traccia dell'iter del test e quindi,

attraverso l'analisi del risultato dei test. Il docente può modificare il corso in funzione del tipo di studenti a cui è diretto: esempio il corso di fisica generale presenterà delle peculiarità diverse se diretto agli studenti di fisica, di biologia, di geologia, ecc. In S@S il percorso di autovalutazione prevede un corso strutturato in macroargomenti chiamati moduli. Le domande proposte sono di due tipi:

- risposta multipla
- vero o falso

Il Sistema prevede, da parte del discente, tre fasi distinte: presentazione della domanda, scelta della risposta, valutazione e correzione della risposta; da parte del docente, prevede la gestione interattiva delle domande, delle risposte e delle correzioni.

Il Sistema S@S

S@S è un software realizzato in ENEA nell'ambito della metodologia KM² [4] e dal 2005 fa parte integrante dei corsi e-lear-

ning progettati con la metodologia KM² ed è accessibile da questi cliccando sull'icona matita che l'utente trova nella pagina introduttiva della risorsa didattica "Modulo" come riportato in figura 2. S@S è stato realizzato con software *open source* che rispondono a requisiti di robustezza, portabilità, aggiornabilità e integrabilità. L'uso di software "open source" svincola il prodotto da problematiche legate al finanziamento.

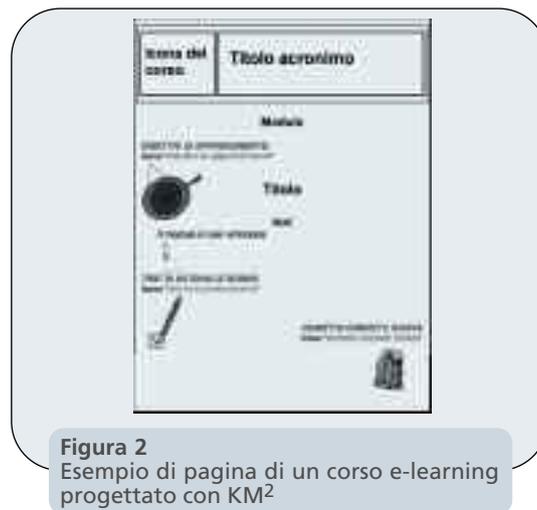


Figura 2
Esempio di pagina di un corso e-learning progettato con KM²

S@S (SelfAssessmentSystem)

Il prodotto S@S è un software con copyright ENEA, di cui sono autori: M. L. Bargellini, G. Casadei, S. Coletti, F. Poggi, L. Puccia, C. Starnoni.

Ambienti Hardware e Software

Il Sistema è stato realizzato con software open source che risponde a requisiti di robustezza, portabilità, aggiornabilità, integrabilità. Per essere installato S@S richiede le seguenti risorse:

- Software

Sistema operativo Microsoft Windows® versione 2000/XP
 APACHE Versione 1.3.31 o successiva
 MySQL versione 4.0.20d o successiva
 PHP versione 4.3.8 o successiva

- Hardware

Processore Pentium III 500Mhz
 512 Mb RAM

Come ottenere S@S

Maggiori informazioni si possono chiedere inviando una e-mail a:
 marialaura.bargellini@casaccia.enea.it
 casadei@frascati.enea.it
 puccia@frascati.enea.it

S@S prevede tre profili utente: amministratore, docente, discente. Per ognuno di questi profili sono previste funzioni specifiche:

Amministratore **Docente** **Discente**

L'amministratore inserisce nel sistema la struttura del percorso di autovalutazione, (nome del corso, numero dei moduli ecc.) gestisce le autorizzazioni di accesso; abilita i docenti dei diversi corsi, che costruiranno e aggiorneranno i percorsi di autovalutazione; può visualizzare informazioni statistiche sull'applicazione sia a livello generale che di singolo corso; ha la possibilità di interagire con i docenti abilitati.

I docenti come responsabili dei contenuti, inseriscono i testi delle domande, delle risposte e delle relative correzioni,

ma possono anche aggiornare sia domande, che risposte e correzioni precedentemente inserite nel sistema; possono visualizzare dati riguardanti l'andamento della compilazione del test, sia a livello di classe che di singolo discente.

I discenti usufruiscono dei percorsi di autovalutazione: selezionano la domanda a cui intendono rispondere e scelgono la risposta che ritengono corretta, tra quelle proposte dal Sistema. Il Sistema, in maniera automatica, fornisce l'esito della risposta e, all'occorrenza, l'eventuale correzione. I discenti possono visualizzare dati relativi allo stato di avanzamento del loro percorso di autovalutazione e confrontare il proprio livello rispetto a quello raggiunto dagli altri corsisti, mediante la visualizzazione delle statistiche generali.

La figura 3 in maniera sintetica mostra le funzionalità di S@S.

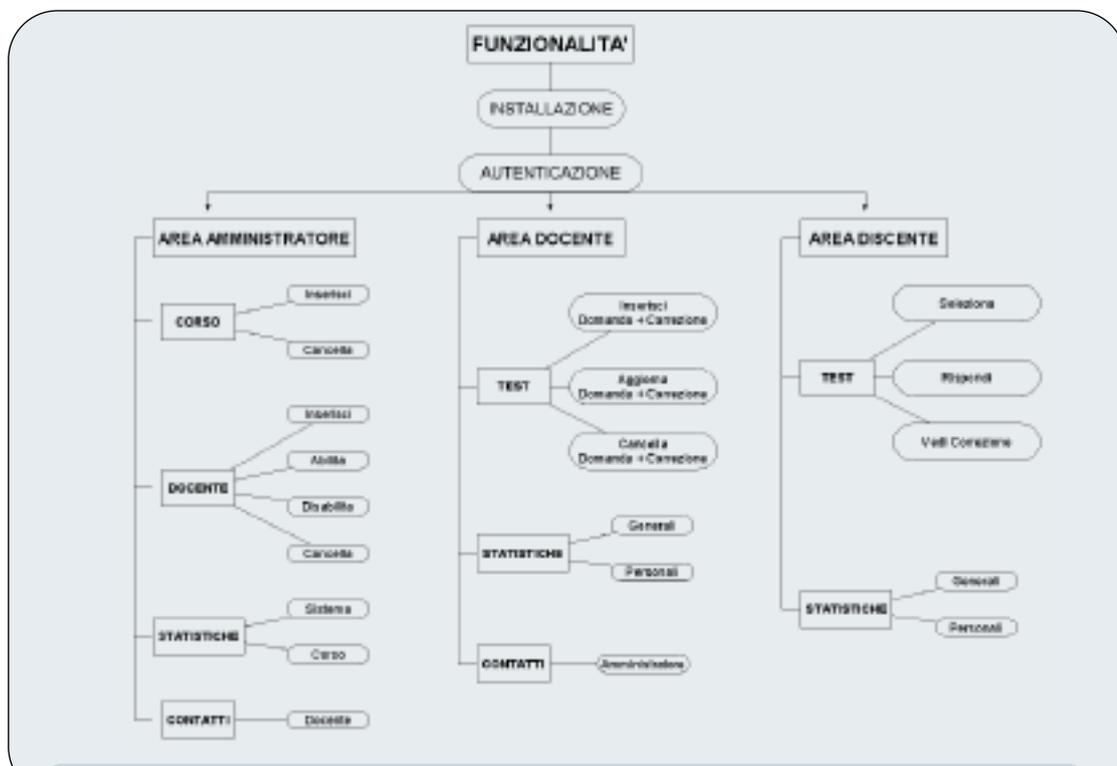


Figura 3
Le funzioni in S@S

Le domande

I quesiti proposti dal questionario di autovalutazione che è parte integrante del prodotto S@S, sono di tipo a risposta predefinita multipla e di tipo vero/ falso e sono raggruppati in tre generi e categorie. Il test è, infatti, strutturato secondo più livelli valutativi: accanto a quesiti finalizzati alla valutazione delle conoscenze acquisite e alla comprensione del testo, saranno presentate domande di interpretazione o di natura applicativa. Ognuna delle domande contenute nel test può essere, quindi, classificata e posizionata in una matrice di autovalutazione. La struttura della matrice, riportata in figura 4, è costituita dalla combinazione tra i tre generi di conoscenza acquisibile da parte del discente e le tre categorie di struttura dell'informazione veicolata.

valutare la comprensione del testo; il *genere 2* è quello relativo alla Elaborazione: ad esso appartengono i quesiti volti a valutare se il discente abbia assimilato i contenuti, andando al di là della semplice decodifica del testo; il *genere 3* è quello relativo alla Competenza: ad esso appartengono i quesiti volti a valutare se il discente abbia acquisito capacità ed esperienza in un determinato campo ed è in grado di applicare le sue conoscenze ad altri contesti.

Le risposte

Le risposte che il discente fornisce al sistema possono essere di tre tipi: *corrette*, se la risposta soddisfa ciò che è stato richiesto; *incomplete*, se la risposta soddisfa parzialmente la richiesta e/o contiene imprecisioni o *errate*, se la risposta è totalmente inesatta.

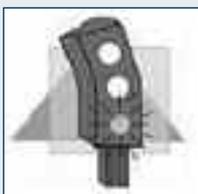
Figura 4 - La matrice delle domande

	Cat. I	Cat. II	Cat. III
Genere 1			
Genere 2			
Genere 3			

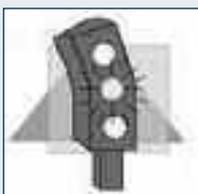
In dettaglio per *genere* si intende analizzare la domanda rispetto ai livelli di conoscenza acquisibile, per *categoria* si intende classificare il quesito in base alla tipologia dell'informazione veicolata. Di seguito vengono in sintesi descritte le tre classificazioni.

Alla *categoria I* appartengono i quesiti la cui risposta è direttamente ricavabile dal testo; alla *categoria II* appartengono i quesiti la cui risposta richiede una elaborazione minima del contenuto del corso; alla *categoria III* appartengono i quesiti con cui si verifica se il discente, con le nozioni apprese durante il corso, riesce ad elaborare in maniera più complessa le notizie e i metodi acquisiti. Il *genere 1* è quello relativo all'Informazione: ad esso appartengono i quesiti volti a

Questa suddivisione permette di gestire l'autovalutazione diversificando l'intervento didattico correttivo secondo la gravità dell'errore dell'utente. Anche nel sistema di autovalutazione la metodologia KM² prevede di utilizzare la logica delle icone, proponendo quelle del semaforo come riportato in figura 5. Le icone del semaforo ripropongono un sistema altamente convenzionale e pragmatico: il semaforo verde dà al discente il via libera nel proseguire il suo percorso di apprendimento (risposta corretta); il semaforo giallo pone il discente in allarme e gli indica che è necessario rivedere qualche argomento (risposta incompleta); il semaforo rosso indica al discente lo stop: è necessario approfondire prima di continuare il percorso (risposta errata).



Semaforo verde. Risposta corretta: l'utente ha dimostrato di aver ben compreso le problematiche proposte e quindi può passare alla domanda successiva.



Semaforo giallo. Risposta incompleta: l'utente presenta lacune modeste sui contenuti e quindi gli viene riproposta la parte del modulo non compresa a pieno.



Semaforo rosso. Risposta errata: l'utente dimostra di avere difficoltà consistenti nella comprensione dell'argomento e quindi gli viene riproposta la parte del modulo non compresa a pieno.

Figura 5
Icone semaforo

Le correzioni

Nel caso in cui la risposta è incompleta o errata il sistema attiva l'icona di una finestra che rassicura il discente e permette l'accesso alla fase di correzione. Le correzioni possono essere concepite in maniera multimediale: testo, audio, video. Le forme di correzione, nella metodologia KM², tengono conto, al momento presente, della suddivisione dei quesiti in generi e categorie, in futuro è previsto di prendere in considerazione per ogni risposta i diversi formati in modo che l'utente possa scegliere secondo lo stile cognitivo che gli è più congeniale. Attualmente il sistema può supportare differenti modalità di correzione, in particolare:

- *pagina web* del corso - contiene gli elementi necessari a formulare la risposta esatta; la pagina non si presenta nella stessa forma con cui è stata visitata la prima volta, ma con *sottolineature*, *par-*

ti evidenziate, *note a margine*, *frecce* in modo da richiamare l'attenzione del discente sulle parti necessarie alla formulazione della risposta esatta, figura 6;

- *video/audio* - l'argomento viene presentato mediante strumenti diversi dalla pagina testo; questi possono essere rappresentati da un video o da una registrazione audio, dove il docente stesso espone i contenuti; l'uso di strumenti diversi dal testo attiva altri canali cognitivi e stimola un livello diverso di attenzione figura 7;
 - *pagina testo* - rielaborazione sintetica, da parte del docente, che propone contenuti utili per la formulazione della risposta che prevede una elaborazione dei contenuti del corso; questa modalità di correzione viene presentata quando la risposta non può essere tratta direttamente dalla pagina del corso, figura 8.
- La scelta di utilizzare più formati per la correzione deriva dalla convinzione che l'uso di più strumenti attiva differenti canali cognitivi e stimola un livello maggiore di attenzione.

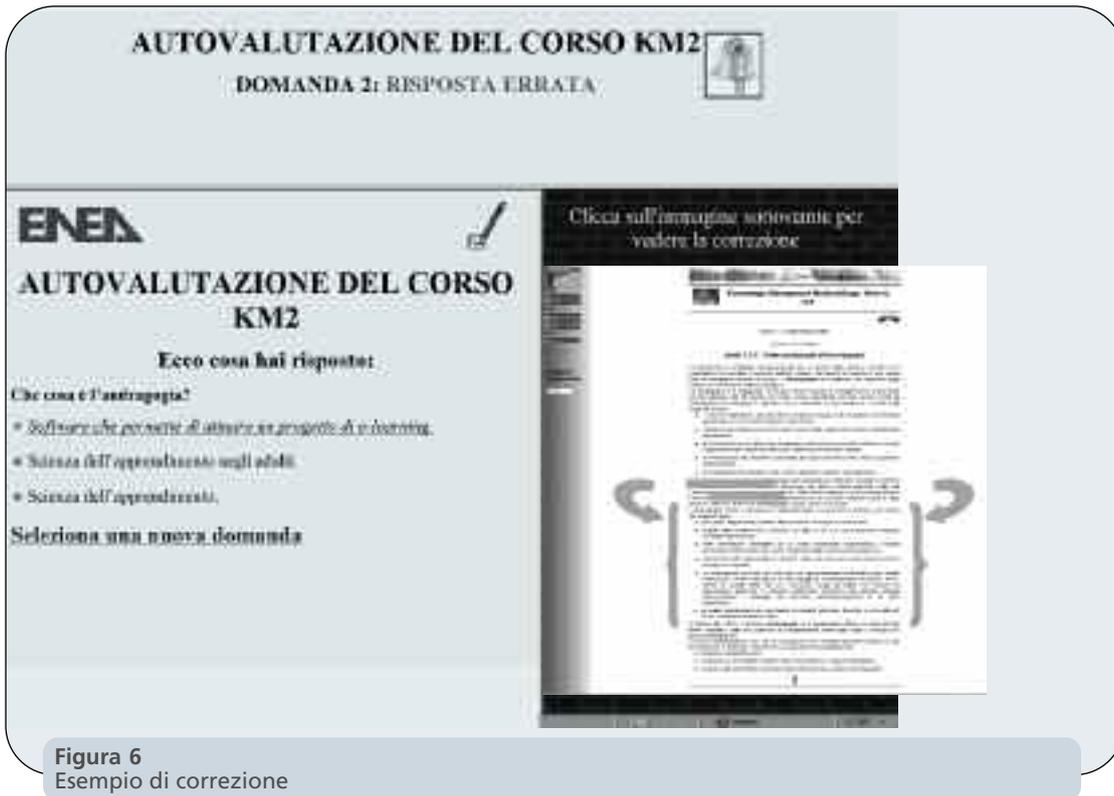


Figura 6
Esempio di correzione

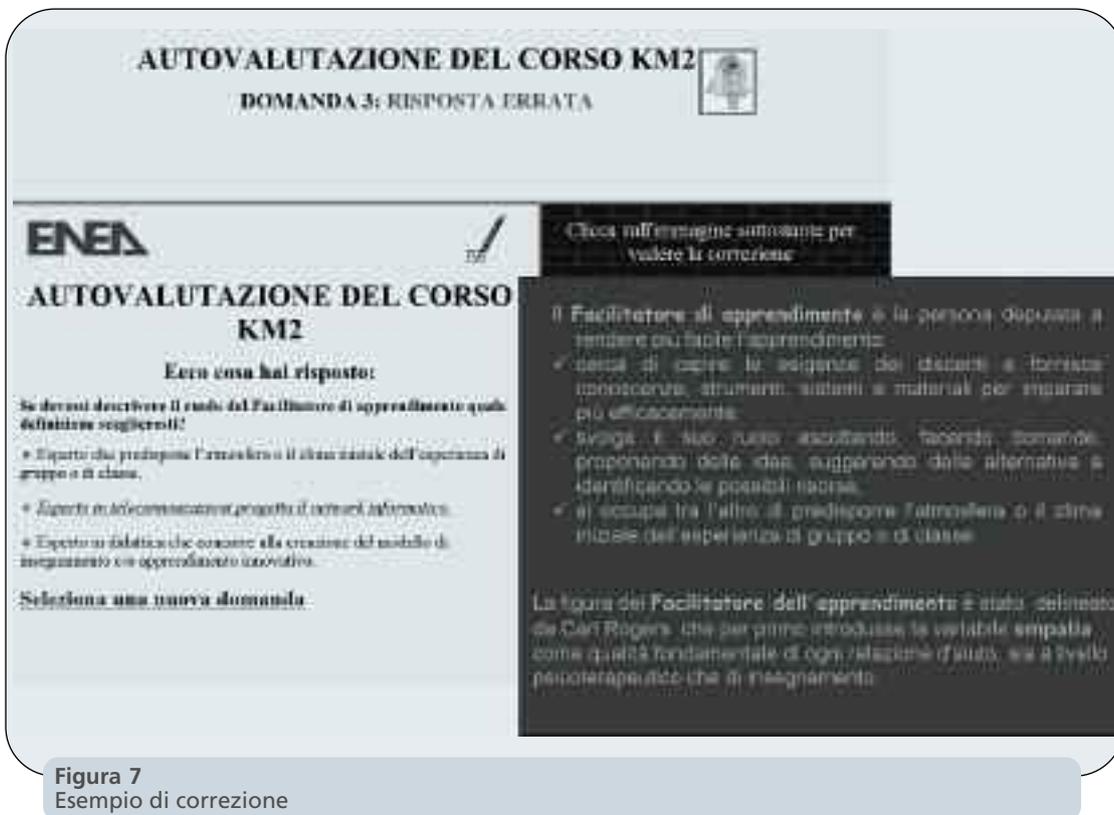


Figura 7
Esempio di correzione



Figura 8
Esempio di correzione

Inoltre la scelta del formato della correzione può dipendere da:

- tipo di domanda;
- valutazione della risposta;
- stile di studio dell'utente.

Le statistiche

Una intera area di S@S è riservata all'elaborazione statistica suddivisa in due livelli:

- singolo discente
- intera classe virtuale

Il discente può eseguire il suo test di autovalutazione in più riprese, il Sistema si preoccupa di mantenere, in area di lavoro, per ogni utente lo stato dell'ultima sessione di test. Ogni discente può conoscere dati relativi allo stato del suo test di autovalutazione: quanti e quali quesiti ha

eseguito per ogni modulo come riportato in figura 9; a quali ha risposto in maniera esatta; quanti tentativi ha fatto per raggiungere la risposta corretta. Una barra di stato indica la percentuale del test eseguita sia dal punto di vista generale, sia dal punto di vista del singolo modulo. A livello di classe si possono visualizzare i seguenti dati aggregati:

- numero degli studenti che hanno compilato il test;
- numero di domande a cui è stata data risposta esatta e percentuale relativa alla categoria ed al genere;
- numero di tentativi necessari per arrivare alla risposta corretta.

È importante sottolineare l'uso che il discente e il docente possono fare dei dati statistici.

Il discente prende coscienza dello stato del suo apprendimento, dei punti di forza e di debolezza del suo progresso co-

gnitivo. Il confronto con i dati generali della classe conforta e/o stimola il discente nel suo percorso di revisione.

Il docente, analizzando i dati generali, può verificare l'efficacia del corso e delle sue singole parti, verificando i punti di forza e di debolezza della presentazione dei contenuti. Analizzando i dati del singolo discente, il docente può essere sollecitato a introdurre parti di approfondimento o strumenti che facilitino il recupero di conoscenze date per acquisite. Questo rappresenta un arricchimento che può avere ricadute relative non solo al singolo discente, ma anche agli altri membri dell'intera classe presente e futura.

Lo studio dei dati da parte dell'amministratore e/o dei progettisti del corso può contribuire a delineare in maniera più aderente la tipologia dei profili utente.

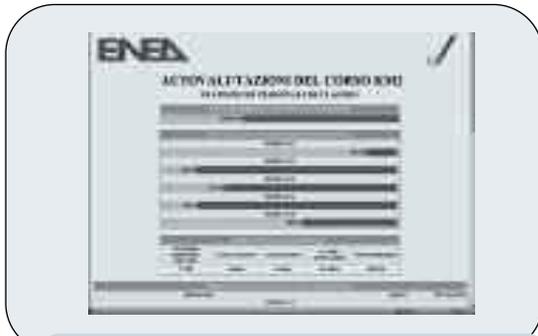


Figura 9
Statistiche sullo stato del test

Conclusioni

S@S offre al discente non solo l'opportunità di misurare modulo per modulo il livello di apprendimento raggiunto, ma anche quella di imparare attraverso gli errori commessi, comprendendone la natura. Nel momento della lettura dell'esito della risposta il discente è al massimo delle sue capacità di ricezione; è teso a capire dove e perché la sua risposta non è valutata in modo positivo ed è proprio in questo momento che il processo di autocorrezione è più efficace e può essere conside-

rato come rinforzo [7] nel percorso di apprendimento.

S@S rappresenta un valido strumento non solo per i discenti ma anche per i docenti, che possono realizzare il questionario di autovalutazione inserendo direttamente e con facilità domande e risposte; inoltre, basandosi su una tecnologia matura e quindi facilmente accessibile, permette a docenti e/o a discenti di utilizzarlo come e quando lo desiderano, superando così i vincoli spazio-temporali.

S@S ha ottenuto i diritti di autore grazie anche alla collaborazione del dott. Ezio Caproni, della Direzione Centrale Amministrazione, Pianificazione e Supporto Legale dell'ENEA.

ENEA
Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali

Per informazioni
marialaura.bargellini@casaccia.enea.it
gemma.casadei@casaccia.enea.it
puccia@frascati.enea.it

Bibliografia

[1] Consiglio Europeo di Lisbona: Conclusioni della Presidenza, Lisbona, 23-24 marzo 2000.

[2] <http://odl.casaccia.enea.it>

[3] M. Knowles, *The Adult Learner: A Neglected Species* (3rd ed.) Houston, TX Gulf.

[4] M. L. Bargellini, G. Casadei, S. Coletti, L. Puccia *KM², Knowledge Management Methodology Una metodologia per la progettazione di percorsi di apprendimento in rete orientati alla diffusione dell'informazione scientifica ed al trasferimento tecnologico*. ENEA, gennaio 2005.

[5] Luciano Mariani, www.progettolingue.net/convegnoinnovaz/Mariani%201.doc

[6] M.L. Bargellini, G. Casadei, L. Puccia, *Un software per l'autovalutazione S@S. Descrizione del Sistema e HoW to use ENEA*, in via di pubblicazione.

[7] D.F. Skinner, *The Science of Learning and the Art of Teaching*, Harvard Educational Review, Vol. 24, n. 2 1954.

Le specie vegetali a rischio di estinzione quali bioindicatori di fenomeni di cambiamento

Patrizia Menegoni

La presenza delle specie vegetali in un territorio rappresenta un indicatore importante di stato di salute dell'ambiente.

Il loro stato di conservazione, la loro rarefazione o scomparsa fornisce un quadro chiaro dello stato e dei cambiamenti ambientali e un rilevante segnale di rischio di perdita di biodiversità.

Nel presente studio sono state esaminate le liste rosse delle flora di 6 regioni meridionali italiane. L'analisi in termini ecologici, biologici e corologici ha permesso una valutazione complessiva dello stato di salute degli habitat di riferimento delle specie esaminate e dei principali fattori di impatto



La risposta scientifica alle sfide poste dal cambiamento climatico, dai processi di desertificazione e dalle dinamiche locali di disarticolazione dei sistemi naturali, si concentra in primo luogo sull'analisi e previsione dei trend, a partire da dati misurati in superficie, dall'analisi di immagini satellitari e da complessi modelli di simulazione del sistema terra: atmosfera-superficie-vegetazione-oceani-ghiacci.

L'analisi della flora, della vegetazione e del paesaggio di un territorio ci fornisce utili informazioni costituendo elemento fondamentale del sistema ambientale.

La presenza, l'abbondanza delle specie e la funzionalità dei sistemi di vegetazione sono infatti rigidamente regolate dall'ambiente dove essi si sviluppano.

Ogni specie vegetale presenta, nei confronti di ciascun fattore ecologico, un ambito di tolleranza entro il quale può svolgere le proprie funzioni vitali; l'ampiezza di tale ambito varia da specie a specie.

Endangered plant species as bioindicators of environmental change

The presence of plant species in a territory and their state of preservation, dwindling or disappearance is an important indicator of the health of the local environment.

This study examined the red lists of flora in six regions in southern Italy. The ecological, biological and chorological analysis enabled an overall assessment of the health of the reference plant habitats and of the main factors affecting them

L'utilizzo, come indicatori, di singole specie o di intere comunità vegetali assume un ruolo di primaria importanza in numerosi campi: dal monitoraggio ambientale alla valutazione dei cambiamenti climatici, dall'analisi del grado di naturalità o di antropizzazione alla gestione e pianificazione territoriale, dalla prevenzione degli incendi al ripristino ambientale e all'ingegneria naturalistica, dalla gestione dei pascoli e delle foreste alle reti ecologiche e così via.

La flora e la vegetazione di un territorio sono in equilibrio con i fattori ambientali che agiscono su di esso; fluttuazioni o variazioni dei parametri chimico-fisici dell'ambiente, indotti da cause naturali oppure antropiche, innescano risposte nella composizione floristica delle comunità vegetali. Tali modificazioni possono manifestarsi in modo drastico con l'alterazione più o meno spinta degli ecotopi, oppure possono avvenire in modo graduale, quando gradualmente e lenti sono i processi di trasformazione.

Nei sistemi mediterranei, i fenomeni locali e globali, determinano una inesorabile perdita di biodiversità e si pensa che questo processo influirà soprattutto sulle superfici più vulnerabili, quali piccole isole, coste, zone aride e semiaride, zone a bassa altitudine, che mostreranno un continuo e progressivo impoverimento.

Il bacino del Mediterraneo è uno dei 25 punti caldi "hotspot" per la biodiversità del nostro pianeta e un punto molto importante per la flora europea.

È dunque di grande interesse effettuare studi ed analisi dei processi di degrado delle risorse mediante metodologie integrate che permettono di effettuare valutazioni a scala spaziale e temporale diversa.

Le liste rosse

Le specie vegetali presenti in un sito rappresentano il massimo della potenzialità di espressione di un complesso di condizioni ecologiche derivanti dalla storia recente e passata di quel territorio.

La desertificazione

Con il termine desertificazione si indica un fenomeno ampio e complesso che comprende processi ambientali, sociali ed economici attraverso i quali le risorse naturali e il potenziale produttivo dei terreni subiscono un degrado irreversibile.

Durante la Conferenza delle Nazioni Unite sulla Desertificazione, tenutasi a Nairobi nel 1977, si definì la desertificazione come la "riduzione o distruzione del potenziale biologico del terreno che può condurre a condizioni desertiche".

Questa definizione non presupponeva una ben definita posizione geografica delle aree colpite, né una particolare condizione climatica, né cause specifiche (naturali o antropiche) e tanto meno processi definiti all'origine del degrado del potenziale biologico del suolo.

Nel 1992, durante la Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo di Rio de Janeiro, si affinò la definizione, secondo la quale la desertificazione è il "degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali variazioni climatiche ed attività umane". Fenomeno dunque maggiormente circoscritto.

Questo fenomeno riguarda anche il nostro Paese e circa il 52% della superficie italiana è esposta al rischio di processi di degradazione del suolo.

Le aree maggiormente interessate sono alcune fasce costiere della Sicilia e della Sardegna, le isole minori e alcune porzioni di Puglia, Basilicata e Calabria.

L'ENEA e le attività di analisi dei processi di cambiamento e desertificazione

Un importante progetto che ha visto l'ENEA impegnato sul piano della ricerca per la desertificazione e dei fenomeni di cambiamento dei sistemi ambientali è il progetto RIA-DE (Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla Desertificazione) che ha come obiettivo generale lo sviluppo di un sistema informativo integrato per il monitoraggio dei processi di desertificazione nel meridione d'Italia, in grado di contribuire alla determinazione dei rapporti causa-effetto del fenomeno in esame e promuovere interventi di salvaguardia del territorio, recupero e mitigazione dei processi di desertificazione e dei fattori che li determinano.

Il progetto, complesso ed articolato, ha previsto lo studio del fenomeno da molti punti di vista e molti sono gli indicatori e le tecniche utilizzate riconducibili ai vari elementi del "sistema".

Un filone di attività ha riguardato in particolare l'utilizzo di metodologie integrate per l'analisi dei vari livelli di organizzazione della componente vegetale del sistema ambientale: le specie, la vegetazione, il paesaggio.

È infatti mediante l'integrazione di questi elementi conoscitivi che si può valutare su scala locale la manifestazione dei fenomeni e individuare i collegamenti a scale di lettura più elevate, riconducendo i fattori locali alle manifestazioni globali e viceversa.

La scomparsa delle specie e la rarefazione della biodiversità è determinata da un complesso di fattori tra loro correlati.

Un'analisi delle liste rosse della flora italiana per le regioni meridionali ha permesso di valutare su scala regionale, sia sul piano ecologico sia per l'appartenenza a determinati habitat, quali sono gli elementi nevralgici nei cambiamenti e quali le maggiori responsabilità dell'uomo nella scomparsa o rarefazione delle specie.

Questi elementi, insieme ad altri, quali lo studio delle modificazioni e dei trend della vegetazione su scala temporale significativa (50-80 anni mediante analisi di serie storiche di foto aeree, e immagini satellitari a varia risoluzione) hanno permesso di integrare le conoscenze e di utilizzare l'indicatore vegetazione (stato, composizione, funzionalità, dinamiche attuali e trend) al meglio delle sue potenzialità, tenendo conto del fatto che la vegetazione mantiene memoria dei cambiamenti e rappresenta la grande potenzialità per il riequilibrio dei sistemi naturali.

Ogni volta, infatti, che una pianta si trova a vegetare, in modo naturale, in un luogo, il segnale che ne deriva è che quell'ambito è espressione di un ben determinato spazio ecologico; pertanto, dalla presenza della pianta si ricavano informazioni circa un complesso di parametri ecologici. La presenza delle specie, l'abbondanza e la loro potenzialità di sviluppo e conservazione è legata a molteplici fattori interni ed esterni al sistema, intra- ed interspecifici. L'analisi della rarefazione di una specie in termini di presenza e potenzialità di sviluppo è uno strumento valido per conoscere fenomeni rilevabili a scale spaziali e tem-

porali diversi di cui la specie mantiene memoria con la sua presenza, abbondanza e livello di diffusione.

La conoscenza di set di specie minacciate di estinzione rappresenta un fondamentale punto di partenza per qualsiasi politica di conservazione della natura, una tematica questa, avviata già nel XIX secolo, che assume aspetti e dimensioni diverse nel tempo e a varie latitudini.

Da quando la problematica si è improntata sul concetto di specie, si è reso necessario individuare delle liste "rosse" di protezione (specie in evidenza).

Le liste rosse rappresentano un importante strumento per l'individuazione de-

gli aspetti di biodiversità maggiormente a rischio, e la premessa per elaborare idonei programmi di tutela del patrimonio naturale.

In Italia, il primo studio approfondito delle specie botaniche a rischio di estinzione è il "Libro Rosso delle piante d'Italia" (Conti et al., 1992), aggiornato poi a livello regionale (Conti et al., 1997). Successivamente, nel 2001 vengono pubblicate le "Liste rosse e blu della flora italiana" (Pignatti, Menegoni, Giacanelli) che riportano uno studio dettagliato delle specie botaniche considerate a rischio di estinzione per il territorio italiano dalla Direttiva *Flora-Fauna-Habitat* (92/43/CEE) e successivi aggiornamenti (97/62/CEE); tale direttiva costituisce il punto di riferimento per la conservazione della natura nell'Unione Europea. Nel 2005 la Società Botanica Italiana ha redatto una revisione di questo patrimonio di conoscenze, pubblicando una nuova edizione delle "Le liste rosse della flora italiana", base per l'analisi qui presentata (Scoppola e Caporali 2005, Scoppola e Spanpanato 2005, Scoppola et al., 2005).

Analisi delle liste regionali delle specie in via di estinzione

Complessivamente, le regioni meridionali peninsulari hanno un nume-

ro di specie descritte nelle liste rosse che va dalle 64 della Campania alle 94 della Calabria, mentre per le isole i valori sono nettamente superiori: 181 per la Sardegna e 357 per la Sicilia, due isole che racchiudono numerosissimi endemismi, ovvero specie esclusive, spesso limitate in aree ristrette e quindi ancora più vulnerabili (figura 1).

Questa netta diversità nel numero di specie sottoposte a rischio di estinzione è funzione di molteplici fattori tra cui la diversità in termini di habitat per regione, il livello di degrado, le politiche regionali differenti, le diverse tipologie di sviluppo economico locale.

Se analizziamo poi nello specifico il contingente di specie estinte si può notare come i rapporti numerici tra le regioni siano relativamente simili, con l'esclusione della Sardegna (tabella 1).

Rispetto al totale delle specie descritte nelle liste rosse, il contingente delle specie estinte è molto rappresentato per Puglia e Campania, estremamente poco rilevante per la Sardegna. La Basilicata, invece, presenta un basso livello di specie estinte ma un alto livello di specie non ritrovate che potrebbero rappresentare un fattore di allarme fra qualche anno con analisi più approfondite.

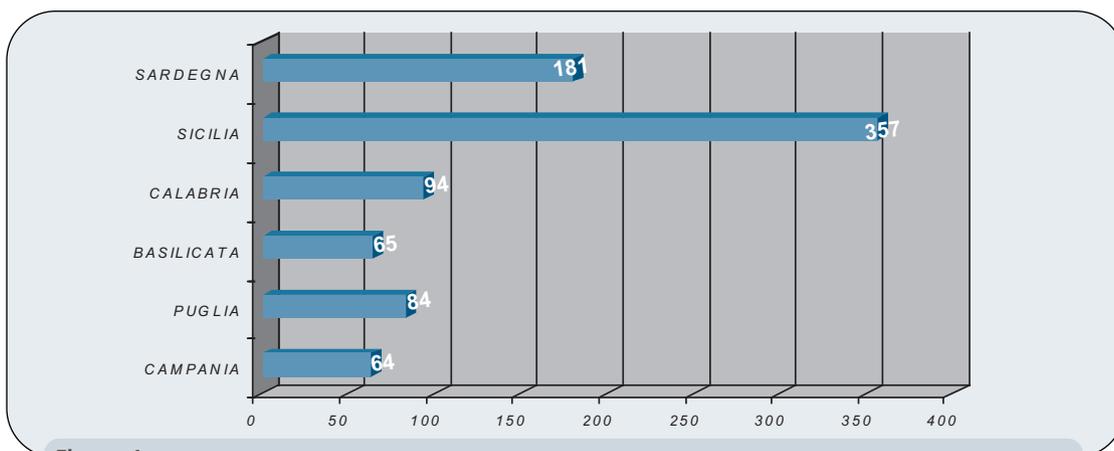


Figura 1
Numero di specie per regione presenti nelle liste rosse

Tabella 1 - Numero di specie per Regione presenti nella lista rossa della flora d'Italia

	Totali	Minacciate	Estinte	Dubbie	Non ritrovate
Campania	64	44	14	3	3
Puglia	84	61	18	2	3
Basilicata	65	43	7	4	11
Calabria	94	75	11	5	3
Sicilia	357	308	30	10	9
Sardegna	181	172	2	6	1

Analisi ecologica mediante indici di Ellenberg

È interessante effettuare alcune considerazioni di carattere ecologico sui contingenti di specie che sono minacciati di estinzione o che si sono estinti nelle varie regioni meridionali.

A tal scopo si utilizzano le specie per la loro qualità di bioindicazione, idea certamente non nuova, visto che Iversen nel 1936 aveva già proposto questo con-

cetto, sicuramente molto efficace.

Tra le varie possibilità, gli indici di Ellenberg, modificati per l'Italia da Pignatti et al. (2005), rispondono in modo decisamente esaustivo al tipo di analisi che si intende effettuare in questa sede.

Questi indici permettono di individuare lo spazio ecologico che ogni specie occupa. Si tratta di un set di sette valori rappresentativi di: radiazione luminosa (L), calore (T), continentalità del clima (C), umidità o disponibilità di acqua (U), pH (R), nutrienti (N), salinità (S). I valori di bioindicazione sono espressi mediante una scala 1-3, 1-9 o 1-12, a seconda dell'esigenza, più o meno spiccata, di descrivere situazioni ecologicamente ben individuabili e *range* più o meno ampi. Di seguito vengono rappresentati gli "ecogrammi" (figura 2), espressione grafica di questo set di informazioni che rappresentano un vero e proprio fingerprint (Pignatti et al. 1996).

L'analisi delle espressioni ecologiche per regione è stata effettuata prima sul complesso delle specie della lista regionale e poi, specificatamente, per il contingente delle specie estinte, volendo analizzare quei fattori che probabilmente sono mutati in modo talmente radicale sul territorio da determinare la scomparsa delle specie ad essi compatibili maggiormente correlati.

L - radiazione luminosa: i valori nel contingente complessivo delle specie delle liste rosse variano da un massimo di 9,1 della Puglia ad un minimo di 8,2 della Calabria e si riferiscono a specie che vivo-

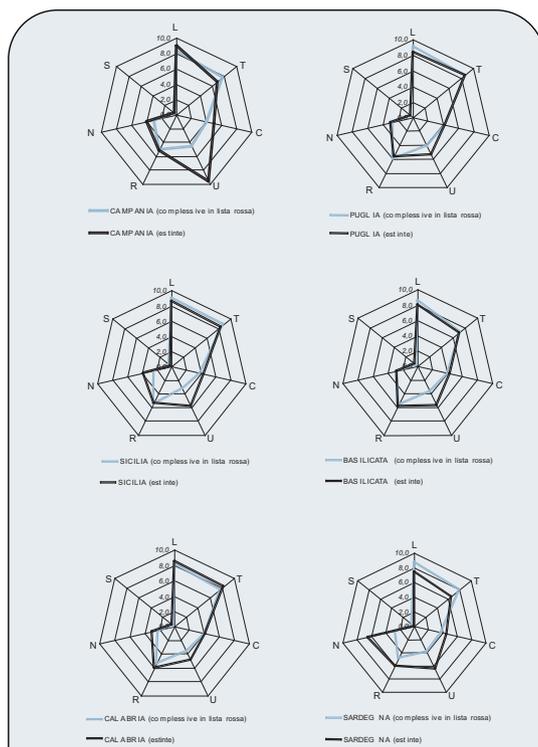


Figura 2
Ecogrammi regionali per il complesso delle specie appartenenti a tutte le categorie e per la categoria delle estinte
radiazione luminosa (L), calore (T), continentalità del clima (C), umidità o disponibilità di acqua (U), pH (R), nutrienti (N), salinità (S)

no in pieno sole, con clima temperato, spesso nebuloso. Il contingente delle specie estinte rispecchia essenzialmente questo dato ma con un minimo di 7,5 relativo alla Sardegna che dà una indicazione nella direzione di specie che vivono anche in luminosità ridotta.

T - calore: i valori nel contingente complessivo delle specie variano da un massimo di 8,8 della Sicilia ad un minimo di 7,1 della Basilicata e si riferiscono a specie che vivono in ambienti mediterranei montani aridi (Eurimediterranee) sino agli ambienti del bosco sempreverde e della macchia mediterranea (Stenomediterranee). Il contingente delle estinte presenta valori mediamente di ambienti più freschi.

C - continentalità del clima: i valori nel contingente complessivo delle specie variano da un massimo di 4,2 della Puglia ad un minimo di 3,7 della Sardegna e si riferiscono a specie insulari o costiere e specie occidentali o che vivono in distretti con elevata piovosità.

Il contingente delle estinte presenta valori mediamente più elevati che comprendono specie occidentali di ambienti piovosi e anche specie di clima temperato.

U - umidità o disponibilità di acqua: i valori nel contingente complessivo delle specie variano da un massimo di 4,5 della Campania a un minimo di 3,2 della Sicilia e si riferiscono a specie di ambienti secchi o con falda molto superficiale. Il contingente delle estinte presenta valori decisamente più elevati con un massimo di 9,6 per la Campania, che rispecchia condizioni palustri, e un minimo di 5,3 della Puglia, optimum delle specie che vivono su suoli ben provvisti di acqua.

R - reazione del suolo: i valori nel contingente complessivo delle specie variano da un massimo di 5,9 della Puglia a un minimo di 4,9 della Sardegna e si riferiscono a specie mesofite che mancano su suoli decisamente acidi o basici. Il con-

tingente delle estinte non presenta differenze degne di nota.

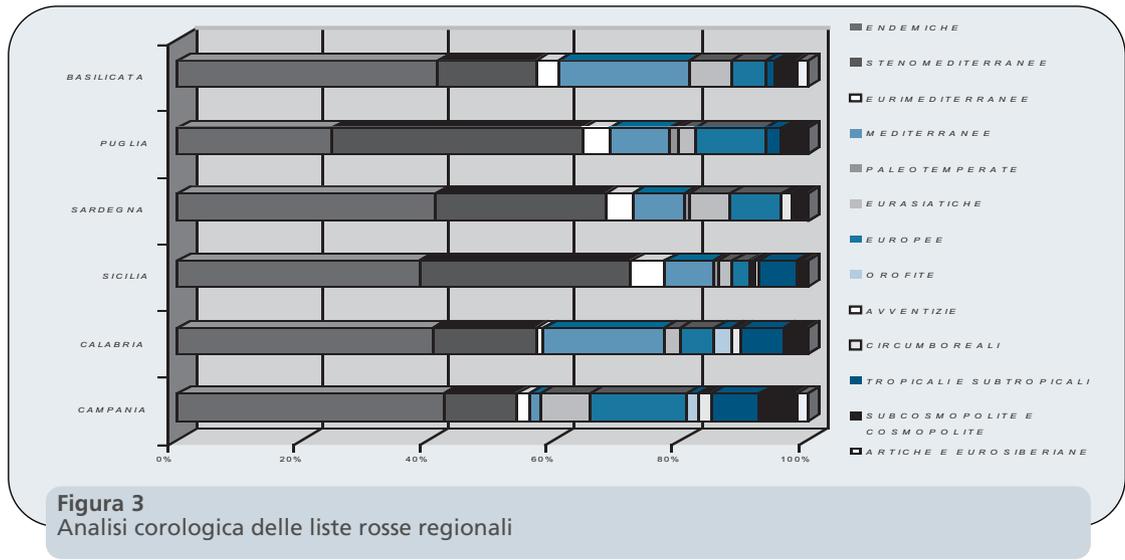
N - nutrienti: i valori nel contingente complessivo delle specie variano da un massimo di 3 della Campania a un minimo di 2,2 della Calabria e si riferiscono a specie di ambienti poveri di nutrienti. Il contingente delle estinte presenta valori molto diversificati che vanno dai suoli poveri a quelli mediamente ben umificati.

S - salinità: i valori di salinità sono complessivamente molto bassi sia per le estinte che per le totali, attestandosi sotto il valore 1 che corrisponde alle specie che tollerano basse concentrazioni saline.

Analizzando le differenze generali riscontrabili come tendenza in tutte le regioni tra il complesso delle specie riportate in liste rosse e quelle estinte si può affermare che tali differenze si riscontrano principalmente per due indici relativi alla componente suolo: l'umidità e i nutrienti che sembrano essere fattori importanti nel fenomeno di estinzione nelle regioni del mezzogiorno. *Si sono estinte specie di ambienti decisamente più umidi delle attuali specie a rischio e che vivevano in condizioni di maggiori nutrienti nel suolo.* Meno marcata, ma comunque significativa, risulta la differenza media nel valore di luminosità che denota la scomparsa di specie con esigenze di minore luminosità.

Analisi corologica

Dall'analisi corologica, riportata in figura 3, delle liste regionali emerge che il contingente più significativo delle specie esposte a rischio ed estinte è rappresentato dalle specie endemiche che in genere si attestano dal 20 al 40% del totale. Esse sono depositarie di patrimoni genetici risultato di processi evolutivi molto lunghi e complessi e dunque decisamente rilevanti ai fini della conservazione. Si tratta di entità specializzate

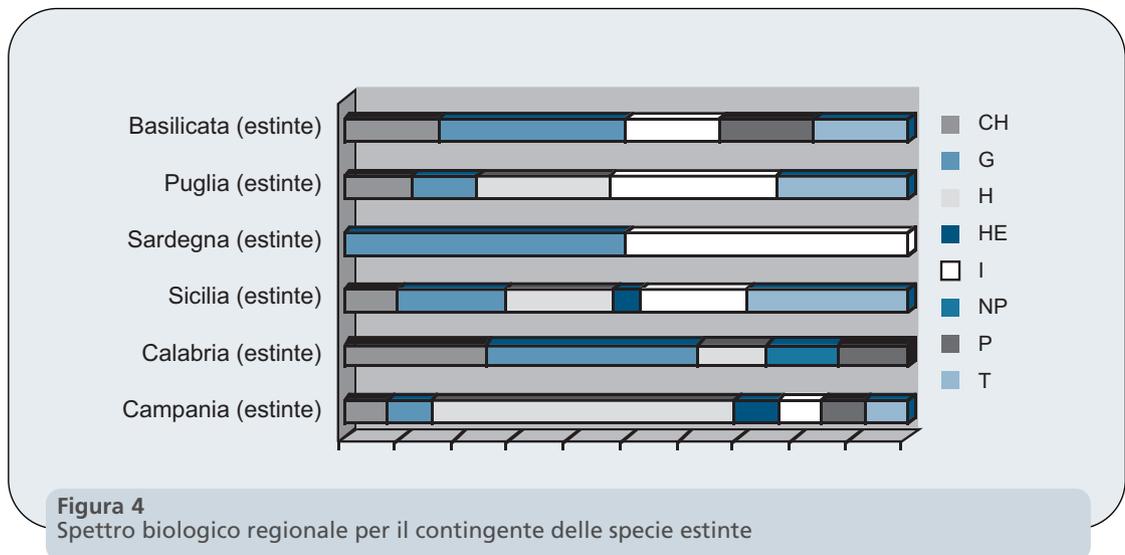


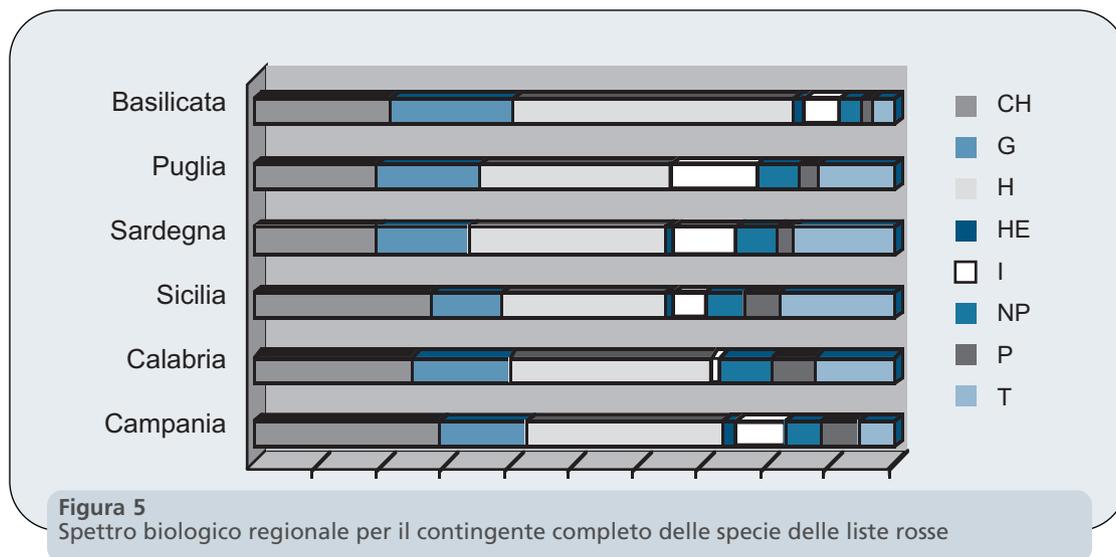
a vivere in ambienti estremi, inaccessibili ed in condizioni ecologiche restrittive. Proprio in relazione a ciò, le specie endemiche risultano degli ottimi indicatori in quanto la loro presenza o scomparsa è legata anche a debolissime variazioni degli equilibri ecologici loro propri. Un ulteriore importante contingente è rappresentato dal complesso delle mediterranee che sono molto rappresentate negli ambienti maggiormente sottoposti a stress e interessati da fenomeni di depauperamento della diversità.

Analisi spettro biologico

Dall'analisi dello spettro biologico effettuata sul complesso delle specie delle liste regionali (figura 5) e in modo specifico sulle specie estinte (figura 4) emerge quanto segue:

- in media, nel complesso delle specie per regione, le forme prevalenti sono *camefite* ed *emicriptofite*, seguono *geofite* e *terofite*;
- nel contingente delle specie estinte, in media le forme prevalenti sono





idrofite, emicriptofite, geofite e terofite.

Le camefite, cespugli nani perenni con apparati aerei e con gemme situate sul fusto a 2-3 cm dal suolo, sono caratteristiche di stazioni aride, costituite da pietraie, costoni collinari e rupi.

Le emicriptofite, erbe perenni o bienni con gemme poste alla superficie del suolo, sono caratteristiche di ambienti collinari o montani freschi.

Le geofite, erbe perenni che svernano con organi ipogei (bulbi o rizomi) sui quali si trovano le gemme, sono legati ad ambienti boschivi di caducifoglie oltre che praterie.

Le terofite, piante annuali, sono indicatori di zone fortemente rimaneggiate, tipiche di aree agricole, caratteristiche di zone a forte deficit idrico estivo.

Le idrofite sono piante totalmente o parzialmente sommerse con gemme sotto il pelo dell'acqua.

Analisi degli habitat

Dall'analisi degli habitat di pertinenza delle specie delle liste rosse regionali delle regioni in esame (Basilicata, Campania, Calabria, Puglia, Sicilia e Sardegna)

emerge che tra gli habitat maggiormente interessati da fenomeni di degrado e scomparsa o rarefazione di specie vi sono in primo luogo le coste (dune, falesie, ambienti salsi e umidi), le praterie (prevalentemente le praterie aride ma anche umide o pascoli), le rupi, gli ambienti umidi.

I rapporti percentuali sono abbastanza simili in tutte le regioni e rispecchiano una situazione di degrado omogeneo.

Le coste, a causa dell'urbanizzazione incontrollata e della richiesta di natura non regolamentata, sono fortemente interessate da fenomeni di degrado diffuso. La diffusione di infrastrutture legate al turismo (aree residenziali, strade di accesso al mare, strutture ricettive sulla spiaggia ecc.) ha in molti casi condotto a forti manomissioni del patrimonio naturalistico, già per sua natura sottoposto a forti stress, essendo posizionato in un ambiente di transizione ad alta energia.

Le praterie, ambienti fortemente collegati allo sviluppo agricolo del territorio, risentono in modo considerevole della politica agricola del nostro Paese che, utilizzando tecniche produttive spesso ad elevato impatto, provoca un impor-

tante depauperamento di questi habitat e della elevata biodiversità di cui essi sono depositari.

Questo fenomeno, rilevato in tutta Europa, mette in rilievo un vistoso declino della flora dei terreni coltivati. Tuttavia, il terreno agricolo gestito in modo meno intensivo, spesso con l'uso di pratiche tradizionali, risulta di valore conservativo intrinseco.

La Politica Agricola Comunitaria (PAC) è uno strumento estremamente importante col quale operare per integrare una gestione positiva per la conservazione delle specie naturali in gran parte del territorio nazionale. La grande sfida sarà nel passaggio da una politica di aiuti alla produzione al sostegno di pratiche agricole rispettose dell'ambiente.

Altro fattore determinante per la scomparsa delle specie prative è il sovrapposco, che in molti territori sta provocando fenomeni di degrado che si manifestano non solo sulle specie vegetali, ma anche sull'organizzazione e la funzionalità dei sistemi prativi, con una riduzione della cotica erbosa, una frammentazione delle coperture che determina l'innescarsi di fenomeni di erosione e degrado dei suoli.

Le *rupi* sono per loro origine ambienti limitanti per la vita. Le condizioni estreme di alta insolazione, la bassa umidità, la salinità da aerosol (per quelle litoranee), l'alta ventosità, determinano la organizzazione di specie altamente specializzate che vivono al limite delle loro possibilità. L'impatto antropico diretto è un fattore secondario dato che si tratta spesso di zone inaccessibili. Risultano invece di maggior rilievo i fenomeni locali e globali di cambiamento climatico che possono influire in modo sostanziale sulla scomparsa di specie o sulla loro rarefazione.

Gli *ambienti umidi*, nel loro complesso, da molti anni sottoposti ad un avanza-

to stato di degrado a causa della gestione poco oculata di questo patrimonio, occupano una posizione di grande rilevanza in questa analisi.

Qui il degrado delle specie è particolarmente legato a fenomeni di inquinamento e di regimazione delle acque che, modificando il deflusso superficiale, trasformano l'equilibrio ecologico di questi sistemi sia nel complesso della rete idrografica che nelle attigue aree umide, prati, torbiere, stagni, aree temporaneamente inondate. Le specie vegetali (ed animali) risentono spesso in modo irreparabile del variare dei sottili equilibri che determinano la loro possibilità di esistere.

Conclusioni

I principali fattori che hanno portato alla perdita di specie vegetali o alla loro rarefazione nelle sei regioni prese in esame (Basilicata, Campania, Calabria, Puglia, Sicilia e Sardegna) possono essere così riassunti:

- distruzione degli habitat;
- errata gestione delle emergenze naturalistiche;
- cambiamenti nell'uso del suolo in agricoltura e selvicoltura;
- cambiamenti locali e globali del clima;
- impatto diretto di attività economiche;
- introduzione di specie invasive non native.

La conoscenza delle liste di specie rare, risultato di grande lavoro di acquisizione di dati di campagna e di monitoraggio di specifiche popolazioni, deve servire per trarre il massimo delle informazioni nella lettura di fenomeni collegabili a specifiche politiche gestionali.

Il loro monitoraggio nel tempo rappresenta un utilissimo indicatore dei trend collegabili a specifiche problematiche in atto, ma anche strumenti per la definizione di politiche volte alla rettifica di tendenze negative.

Molteplici sono, infatti, le azioni che si dovrebbero realizzare per contrastare il fenomeno e invertire la tendenza, ma fondamentale risulta la modalità di approccio al "sistema ambientale", che deve riguardare sia l'aspetto normativo che gli strumenti di gestione nazionale e locale del territorio, nonché la sostenibilità dei processi economico-produttivi. La distruzione di specifici habitat per impatto diretto di attività antropiche è un fatto gravissimo, ma altrettanto grave e senza dubbio meno percettibile risulta il cambiamento sempre più importante di parametri ambientali che modificano l'ecologia di un territorio.

Il complesso delle attività antropiche risulta talmente ramificato e organizzato da interessare la quasi totalità degli ambienti presenti sul territorio nazionale, l'analisi delle relazioni dei singoli comparti con i sistemi naturali spesso sfugge ai gestori del territorio e viene generalmente del tutto sottovalutata. Ne consegue che i fenomeni di degrado sono individuabili in territori molto vasti e distanti dall'area di impatto e su complesse reti ambientali.

La coscienza di questi fenomeni può derivare dalla profonda conoscenza dei sistemi, della loro complessità nonché dei meccanismi che regolano gli equilibri e le dinamiche a scale diverse.

ENEA

Dipartimento Biotecnologie, Agroindustria e Protezione della Salute

Per informazioni

patrizia.menegoni@casaccia.enea.it

Bibliografia

[1] Conti F., Manzi, A., Pedrotti, F., 1992, *Libro rosso delle piante d'Italia*, TIPAR, Roma.

[2] Conti, F., Manzi, A., Pedrotti, F., 1997, *Liste rosse regionali delle piante d'Italia*. TIPAR, Roma.

[3] Iversen J., 1936 *Biologische Planzentypenals Hilfsmittel in der vegetations-forschung*. Copenhagen, Levin & Munksgaard 224 pagine.

[4] Pignatti S., Ellenberg H., Pietrosanti S., 1996, *Ecograms for phytosociological tabled based on Ellenberg's Zeigerwerte*, Ann. Bot., 54: 5-14.

[5] Pignatti S., Menegoni P., Giacanelli V. 2001, *Liste rosse e blu della flora italiana*, ANPA Roma, 326 pagine.

[6] Pignatti S., Menegoni P., Giacanelli V., 2001, *Liste rosse e blu della flora italiana*, ANPA Atlante multimediale.

[7] Pignatti S., Menegoni P., Pietrosanti S., 2005, *Bioindicazione attraverso le piante vascolari. Valori di indicazione secondo Ellenberg per le piante della flora d'Italia*, Braun Blanquetia 2005.

[8] Scoppola A. e Caporali C., 2005, Le specie vulnerabili, endemiche e rare della flora vascolare italiana, in: Blasi C., Boitani L., La Posta S., Manes F., Marchetti M. (eds.), *Stato della biodiversità in Italia. Contributo alla strategia nazionale per la biodiversità*, Palombi Editori, Roma.

[9] Scoppola A., Spampinato G., 2005, Atlante delle specie a rischio di estinzione. Versione 1.0. CD-Rom, in: Scoppola A., Blasi C. (eds.), *Stato delle conoscenze sulla flora vascolare d'Italia*. Palombi Editori, Roma.

[10] Scoppola A., Spampinato G., Giovi E., Cameriere P. e Magrini S., 2005, Le entità a rischio di estinzione in Italia: un nuovo Atlante multimediale, in: Scoppola A., Blasi C., *Stato delle conoscenze sulla flora vascolare d'Italia*. Palombi Editori, Roma + CD-Rom.

Gli scenari energetici e ambientali

A cura di Francesco Gracceva

Uno scenario *non* è una previsione, ma una rappresentazione di *un* possibile futuro (una "traiettoria nello spazio degli eventi possibili"), la cui funzione primaria è quella di aiutare i decisori politici ad agire in modo *informato*. L'utilità delle analisi di scenario sta in primo luogo nella possibilità di esplorare i diversi futuri possibili, a partire da un insieme di scenari diversi e contrastanti, che permettono di ricavare un *quadro* delle molteplici evoluzioni possibili del sistema oggetto di studio. Ciò grazie al fatto che uno scenario consiste in una descrizione *internamente coerente* dell'evoluzione del sistema analizzato (l'evoluzione di ogni componente è coerente con l'evoluzione delle altre), per cui permette anche una maggiore comprensione di come il sistema si comporta, si evolve ed interagisce con altri sistemi.

Da qui, tra l'altro, la conseguenza che ogni attività di analisi di un sistema complesso come quello energetico imponga l'uso di scenari che permettano di "tenere insieme" tutte le sue componenti, caratteristica necessaria perché siano possibili valutazioni quantitative circa la questione fondamentale di ogni politica energetica: la compatibilità tra obiettivi diversi. Gli obiettivi della politica energetica sono infatti generalmente condivisi, e le politiche da perseguire relativamente immediate. Tuttavia, molto spesso una misura volta a raggiungere un obiettivo confligge con le misure volte a raggiungerne altri.

L'uso di scenari può dunque fornire agli analisti e ai decisori politici gli strumenti per analizzare/prendere decisioni in modo informato, potendo stimare le conseguenze *di lungo periodo* che, date certe condizioni e certe ipotesi, possono avere le scelte *di breve periodo*. Ad esempio, per valutare con sufficiente anticipo l'adozione delle misure necessarie per eliminare o mitigare le conseguenze negative di una possibile evoluzione non auspicabile del sistema.

Orizzonte temporale degli scenari

Tanto per l'elaborazione che per l'analisi, un fattore di primaria importanza di uno scenario è l'orizzonte temporale a cui esso si riferisce. Una distinzione fondamentale è quella tra *breve/medio* periodo e *lungo* periodo, alla cui base c'è un vincolo strutturale di ogni sistema energetico/economico: il tempo necessario per il *turnover dello stock di capitale*, legato alla durata di vita delle diverse tipologie di beni capitali ed al costo della loro sostituzione prima della fine del naturale ciclo di vita.

Negli scenari di *breve termine* (3-10 anni) il grado di sostituzione dello *stock* di capitale è pressoché nullo. Si tratta di semplici *proiezioni* ottenute mediante estrapolazione delle tendenze in atto, a partire da elasticità di breve periodo.

Negli scenari di *medio termine* (20-30 anni) è invece possibile una parziale sostituzione dello *stock* di capitale, per cui all'estrapolazione delle tendenze in atto (a partire da elasticità di lungo periodo) si sovrappongono alcune variazioni di tipo strutturale.

Infine, negli scenari di *lungo termine* (oltre i 30 anni) il grado di sostituzione dello *stock* di capitale è molto rilevante (fino a comprendere anche le infrastrutture). Essi sono pertanto costruiti come immagini *consistenti* (internamente coerenti) di possibili evoluzioni future del sistema, contenenti anche ipotesi di cambiamenti strutturali e radicali di cui è difficile valutare a priori la probabilità. Ne consegue che quando l'ottica diventa di lungo periodo risulta praticamente impossibile, oltre che metodologicamente scorretto, individuare degli scenari *tendenziali*.

Nel caso specifico degli scenari energetici, infatti, data l'elevata complessità del sistema oggetto di studio, *previsioni* di lungo periodo sono praticamente impossibili.

Che tipo di scenari

L'attività di elaborazione degli scenari è talmente peculiare che è stata definita come una "forma d'arte" rivolta a selezionare e combinare i possibili sviluppi futuri di un sistema. Per quanto possa essere definita una "forma d'arte", l'elaborazione di uno scenario richiede l'adozione di alcuni criteri scientifici: tra questi, la *coerenza interna* (i valori delle diverse variabili devono essere coerenti fra loro) e la *trasparenza* (che implica la riproducibilità di ogni scenario).

La garanzia del rispetto di questi criteri costituisce la principale caratteristica e utilità delle analisi di scenario elaborate mediante l'uso di *modelli formali* del sistema. Tali modelli garantiscono infatti che gli scenari tengano conto della suddetta natura *complessa* del sistema energetico, cioè del fatto che esso è costituito da un insieme di componenti legate tra loro da nessi di interdipendenza e di azione e retroazione, per cui non è possibile descrivere l'evoluzione di una componente del sistema senza tener conto delle altre.

Affinché la "rappresentazione" della realtà sia soddisfacente, la metodologia utilizzata dovrebbe poi possedere almeno due ulteriori caratteristiche che conducono alla convenzionale definizione di modelli *4E* (*energy, environment, economy, engineering*).

In primo luogo, essa dovrebbe contenere una rappresentazione dettagliata sia della domanda che dell'offerta di energia, con particolare riferimento ad una componente chiave dell'evoluzione di ogni sistema energetico, cioè la *tecnologia*, che costituisce un elemento chiave di ogni sistema energetico, in quanto è decisiva nel determinare tipo e ammontare di energia utilizzata, e permette di rappresentare il fatto che la doman-

da di energia non è richiesta *per sé*, ma è una domanda "derivata", deriva cioè dal desiderio di *servizi* energetici. La rappresentazione delle tecnologie energetiche è inoltre importante perché esse sono alla base di una delle caratteristiche principali dei sistemi energetici, la loro *inerzia*, dovuta all'intensità di capitale, alla lunga durata e alla specificità di utilizzo degli investimenti energetici. Ne deriva, per un verso, che i cambiamenti del sistema sono lenti e possibili solo in un orizzonte temporale medio-lungo, per cui anche le analisi devono inevitabilmente coprire lo stesso orizzonte temporale, per un altro verso, che ogni investimento in tecnologie energetiche determina un vincolo per il sistema per un lungo periodo di tempo.

In secondo luogo, è auspicabile che la metodologia per l'elaborazione di scenari energetici permetta di tenere conto delle interrelazioni tra sistema energetico, sistema economico e ambiente, per rappresentare i nessi causali esistenti tra i cambiamenti che avvengono nel sistema energetico, le conseguenti variazioni dei prezzi dell'energia, la risposta della domanda di energia ai prezzi, la riallocazione delle risorse nel sistema economico e gli effetti su crescita economica, energia ed emissioni.

Il generatore di modelli MARKAL

Uno strumento di elaborazione di scenari energetici che possiede le caratteristiche suddette è il generatore di modelli MARKAL¹, sviluppato nei primi anni ottanta nell'ambito del progetto *Energy Technology Systems Analysis Project* dell'International Energy Agency (IEA) ed ormai utilizzato per la valutazione delle politiche energetiche e ambientali in più di 100 istituti di circa 60 Paesi. 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. Per ogni sistema energetico il MARKAL genera infatti un modello matematico di equilibrio economico (parziale o generale), che determina lo sviluppo di quantità e prezzi che mantengono ogni mercato in equilibrio. 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.

In particolare, riguardo all'aspetto tecnologico del sistema, modelli di questo genere permettono di:

- analizzare e valutare stato e prospettive delle principali tecnologie energetiche, nei diversi settori della generazione elettrica, dei trasporti, degli usi finali nell'industria, nei servizi e nel residenziale;
- esaminare, mediante analisi di scenario, il contributo potenziale che le diverse tecnologie energetiche possono dare per incrementare la sicurezza energetica del sistema e ridurre l'impatto ambientale dell'uso dell'energia;
- discutere le possibili strategie per aiutare le diverse tecnologie a fornire il loro contributo al sistema.

Scenari internazionali

Le principali istituzioni internazionali che si occupano di energia elaborano periodicamente scenari energetici globali di medio periodo:

- l'International Energy Agency (IEA), nel *World Energy Outlook*, produce ogni due anni uno scenario di riferimento ed uno scenario alternativo, con un orizzonte temporale che arriva al 2030;
- la Commissione Europea elabora periodicamente scenari relativi a ciascuno dei paesi membri (l'ultimo aggiornamento è del 2005: "European energy and transport: Trends to 2030");
- l'Energy Information Administration dell'US Department of Energy pubblica ogni anno l'*International Energy Outlook*, che descrive diversi scenari differenziati in base alle ipotesi sulla crescita economica e ai prezzi dell'energia, anche in questo caso con orizzonte temporale che arriva al 2030.

A questi scenari di medio periodo si affiancano a cadenza variabile analisi relative al lungo periodo, volte principalmente alla valutazione di fenomeni intrinsecamente di lungo periodo, come in primo luogo i cambiamenti climatici.

Tra queste si possono citare:

- l'*Energy Technologies Perspectives 2006. Scenarios and Strategies to 2050* dell'IEA, nel quale, utilizzando un modello MARKAL del sistema energetico globale, uno scenario di riferimento viene confrontato con cinque diversi Accelerated Technology Scenarios;
- il lavoro dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) del 2000, *Emission Scenarios 2000*, contenente circa 40 scenari costruiti a partire da 4 *storylines*, con orizzonte temporale 1990-2100;
- il *Global Energy Perspectives 1998*, preparato congiuntamente dal World Energy Council e dall'Institute for Applied System Analysis, contenente sei scenari suddivisi in tre gruppi, "high growth", "middle course" ed "ecologically driven", sempre con orizzonte temporale 1990-2100.

ENEA – Ufficio di Presidenza

Per informazioni
francesco.gracceva@casaccia.enea.it

1. Le analisi di scenario contenute nel *Rapporto Energia e Ambiente 2006* sono state elaborate mediante un modello del sistema energetico italiano costruito con il generatore di modelli MARKAL.

IEA per l'efficienza energetica

Nella riunione di Parigi del 24 e 25 Aprile, il gruppo di lavoro EEWP (Energy Efficiency Working Party) dell'IEA (International Energy Agency) ha fatto il punto sui risultati dei più recenti eventi e studi sull'efficienza energetica che, a livello mondiale, l'Agenzia ha promosso.

Uno dei paesi più studiati per le dimensioni degli interventi che possono essere realizzati è la Cina.

Relativamente all'efficienza energetica nei nuovi edifici, il Workshop, che si è tenuto a

Pechino il 28-29 marzo 2007, ha enfatizzato l'importanza che tale argomento può rivestire in un paese dove si costruisce il 40% degli edifici che annualmente si realizzano nel mondo. Pertanto i principali temi hanno riguardato la possibilità di costruire nuovi edifici con consumi energetici bassi o nulli e l'individuazione dei requisiti tecnici di supporto alla stesura di una normativa a carattere nazionale.

Il contributo che i "building code" e "standard" di progettazione possono fornire per incrementare l'efficienza energetica dei nuovi edifici è ben evidenziato nel rapporto IEA *"Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings"*. Il rapporto vede auspicabile una politica attiva da parte dei governi finalizzata a:

- aggiornare regolarmente le caratteristiche termiche che i nuovi edifici devono possedere includendole nei "regolamenti/codici di progettazione";
- promuovere e supportare la penetrazione nei mercati delle migliori pratiche, delle "case passive" e di edifici a "zero energia";
- definire la domanda di energia negli edifici esistenti;
- rendere visibile sul mercato dell'edilizia, attraverso la certificazione e l'etichettatura l'efficienza energetica dell'edificio;
- costruire la nuova edilizia pubblica sulla base del minimo costo di vita;
- promuovere l'utilizzo di tecnologie efficienti dal punto di vista energetico nei paesi in via di sviluppo dove il mercato delle nuo-

ve costruzioni è in espansione (es. Cina e India);

- intraprendere ulteriori azioni di R&S nella progettazione e costruzione di nuovi edifici.

Sul tema, strettamente correlato al precedente, e relativo all'efficienza energetica nei condizionatori d'aria, è stato presentato uno studio, che, partendo dall'analisi di alcuni progetti realizzati nell'ambito del programma GEF (Global Environment Facility), ha valutato la possibilità di realizzare progetti CDM (Clean Development Mechanism) finalizzati alla diffusione di apparecchiature a più alta efficienza energetica in due paesi, la Cina e il Ghana. La scelta dei paesi è stata dettata, rispettivamente, dalla presenza o meno di industrie per la costruzione di apparecchi per il condizionamento dell'aria. I principali risultati dello studio evidenziano: un risparmio energetico dell'8% sui consumi per il condizionamento dell'aria in Ghana, ottenibile attraverso un miglioramento delle performance delle apparecchiature; un risparmio energetico del 38% in Cina, ottenibile con l'introduzione di condizionatori a più alta efficienza energetica, già disponibili nei paesi più sviluppati; l'insufficienza dei fondi allocati nei progetti GEF e la possibilità di integrarli facendo ricorso ai progetti CDM.

Altri temi sono stati discussi riguardanti, in particolare, l'incremento dell'efficienza energetica delle apparecchiature elettriche e strumenti di policy per ridurre i consumi di combustibile nei veicoli.

dal Mondo

IEA per l'efficienza energetica

La BEI per le fonti rinnovabili

Nel Meeting annuale tenuto a giugno in Lussemburgo, il Consiglio dei Governatori della Banca Europea degli Investimenti ha proposto di rinforzare il proprio contributo alla politica energetica e climatica dell'UE.

I finanziamenti dei progetti per l'energia sostenibile, competitiva e sicura saliranno nel 2007 a 4 miliardi di euro (erano 3 nel 2006); di essi almeno 600-800 milioni saranno destinati alle fonti rinnovabili (erano 456 nel 2006). I finanziamenti saliranno fino al 75%

del costo complessivo nei progetti riguardanti le tecnologie energetiche rinnovabili emergenti e l'efficienza energetica.

Particolari strumenti finanziari saranno sviluppati per la realizzazione di investimenti a piccola scala; saranno inoltre aggiornati i criteri di selezione per le tecnologie energetiche rinnovabili e saranno valutati con attenzione gli aspetti di efficienza energetica.

Valutazione dei piani nazionali di emissione

La Commissione Europea ha concluso la valutazione del piano nazionale dell'Italia per l'assegnazione delle quote di emissione di CO₂ relative al periodo 2008-2012 del sistema UE di scambio delle quote di emissione (EU-ETS). Quello italiano è il ventunesimo piano nazionale ad essere valutato dalla Commissione.

I piani nazionali di assegnazione fissano per ciascuno Stato membro il limite dei quantitativi totali di anidride carbonica che possono essere emessi dagli impianti che rientrano nel sistema EU-ETS e specificano il numero di quote di emissione di CO₂ spettanti a ciascun impianto. La Commissione valuta i piani nazionali sulla base di 12 criteri di assegnazione indicati nella direttiva sullo scambio di quote di emissioni. La Commissione può accettare un piano parzialmente o integralmente. I criteri di valutazione sono finalizzati a garantire, tra l'altro, che i piani siano coerenti: a) con il rispetto da parte dell'UE e degli Stati membri de-

gli obiettivi del Protocollo di Kyoto, b) con il livello reale delle emissioni accertate indicato dalla Commissione nelle relazioni annuali sullo stato di avanzamento e c) con le potenzialità tecnologiche di riduzione delle emissioni.

Il sistema di scambio delle quote di emissione garantisce una riduzione delle emissioni di gas serra prodotte dai settori energetico e industriale con costi ridotti al minimo per l'economia e aiuta quindi l'UE e i suoi Stati membri a rispettare gli impegni assunti nell'ambito del Protocollo di Kyoto.

La Commissione ha accolto il piano nazionale dell'Italia a condizione che vi siano apportati cambiamenti, tra i quali la riduzione del 6,3% del quantitativo totale di quote di emissione proposto. Altri criteri di valutazione riguardano aspetti, quali la non discriminazione, la concorrenza all'interno dell'UE e le norme sugli aiuti di Stato, oltreché aspetti tecnici. In questo senso la Commissione invita l'Italia ad apportare altri cambiamenti al piano: fornendo maggiori informazioni sul trattamento che riserverà ai nuovi soggetti che entreranno nel sistema di scambio delle quote di emissione, inserendo nel piano gli impianti di combustione (ad esempio quelli di cracking), come fatto da tutti gli altri Stati membri; non superando il valore del 15% circa del quantitativo totale dei crediti di emissione concessi a titolo di progetti eseguiti in paesi terzi. che rientrano nel Protocollo di Kyoto.

L'approvazione della Commissione diverrà automatica una volta che l'Italia abbia apportato gli opportuni cambiamenti.

dall'Unione
Europea

La BEI
per le fonti rinnovabili

Valutazione
dei piani nazionali
di emissione

La sfida delle Biotecnologie Primavera Italiana in Giappone 2007

Dal 15 al 16 Maggio 2007 si è svolto, presso l'Icho Kaikan di Osaka - University Suita Campus il Workshop internazionale "The challenge of Biotechnologies", importante evento di confronto scientifico, tecnologico ed economico-finanziario dedicato alle Biotecnologie. L'iniziativa è stata uno degli eventi previsti dalla manifestazione promozionale "Primavera Italiana in Giappone 2007", organizzata dal Ministero degli Affari Esteri

e dall'Ambasciata d'Italia a Tokyo, rivolta a promuovere la cultura, la scienza e la tecnologia italiana in Giappone (<http://sedi.esteri.it/PrimaveraItaliana2007/>).

L'organizzazione del Workshop è stata affidata all'E-NEA, Dipartimento Biotecnologie, Agroindustria e protezione della Salute, co-organizzatori del programma sono stati il Consolato Italiano a Osaka e l'Istituto Commercio Estero - ICE.

Significativo è stato anche il coinvolgimento della rete Alta Tecnologia dell'Emilia Romagna ASTER e della Promos, Azienda Speciale della Camera di commercio per le attività internazionali di Milano, in sinergia con il Dipartimento Innovazione della Regione Lombardia, che ha organizzato dall'Italia un articolato programma di incontri collaterali (ben 21 a Osaka e 15 a Tokyo) al simposio tra imprese lombarde e giapponesi.

Il Seminario, suddiviso in tre aree tematiche ("Agro-food", "Health" and "Industrial and Environmental Biotechnology"), individuate sulla base della rilevanza scientifica a livello internazionale e dell'interesse alla condivisione di attività programmatiche con partner giapponesi, ha visto la partecipazione di enti di ricerca e università italiane, del Comitato Nazionale per la Biosicurezza, le Biotecnologie e le Scienze della Vita della Presidenza del Consiglio dei ministri, del CNR con alcuni dei suoi Istituti, dei Coordinatori della Piattaforma Tecnologica Italiana per la Chimica Sostenibile (IT-SusChem), del Cluster di Biomedicina Molecolare dell'Area Science Park e l'ICGEB di Trieste, del Parco Scientifico dell'Università di Tor Vergata, della

Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa e dell'Istituto Superiore di Sanità.

L'articolata sessione convegnistica ha ospitato numerosi interventi di rilievo internazionale, suddivisi come già detto nelle tre specifiche aree tematiche. Inoltre sono state presentate una panoramica generale sul settore biotecnologico in Italia, le esperienze e il modello di sviluppo del distretto tecnologico del Friuli Venezia Giulia e dell'Emilia-Romagna per l'Italia e del Biocluster in Osaka per il Giappone.

Agro-food Biotechnology

La sessione riguardante le biotecnologie in ambito agro-alimentare ha evidenziato le innovazioni sul monitoraggio per la sicurezza e il controllo di qualità, in particolare sono stati illustrati nuovi biosensori per la rilevazione di tossine nelle derrate alimentari e di metalli pesanti nelle acque. Sempre per quanto riguarda la qualità alimentare sono stati presentati studi di genomica rivolti alla comprensione delle vie metaboliche che regolano la maturazione e le caratteristiche organolettiche del frutto. Nell'ambito dell'impiego delle biotecnologie in agricoltura sono stati presentati risultati promettenti mediante l'impiego di nuovi bioinsetticidi, da organismi ricombinanti e attraverso l'uso di piante transgeniche che esprimono particolari enzimi (chitinasi) che inducono la resistenza all'attacco dei patogeni vegetali.

È stato inoltre dimostrato come l'impiego di nuovi materiali polimerici biodegradabili possa dare un contributo notevole sia alla qualità e conservazione di alimenti sia all'abbattimento degli inquinanti nelle pratiche colturali. Infine sono state illustrate le nuove



dall'Italia

La sfida delle Biotecnologie Primavera Italiana in Giappone 2007

frontiere delle biotecnologie vegetali che riguardano anche il possibile impiego delle piante come "biofabbriche" per la produzione di farmaci.

Health Biotechnology - Regenerative medicine

In questa sessione sono stati messi in evidenza i risultati ottenuti nell'ambito dell'impiego delle cellule staminali per la terapia rigenerativa e tissutale, in particolare sono stati presentati dati sull'impiego delle cellule staminali nelle patologie cardiache e sull'impiego di nuovi materiali a base di polimeri sintetici per la crescita cellulare. Di notevole interesse è stata la presentazione dei dati sull'impiego di nuovi vettori virali nella terapia genica di malattie cardiovascolari. Nel caso di patologie pancreatiche, sono state evidenziate strategie alternative al trapianto che consistono nella costruzione di un pancreas bioartificiale mediante l'impiego di particolari membrane semipermeabili, mentre è stata dimostrata la possibilità di ripristinare l'acuità visiva di pazienti con opacizzazioni corneali mediante trapianti di cheratinociti limbici autologhi messi in coltura. Infine, i più recenti sviluppi nell'innovazione delle tecnologie *high-throughput* per l'analisi genomica e trascrittomiche sono stati messi in evidenza.

Health Biotechnology - New Drug Development

Nell'ambito dello sviluppo di nuovi farmaci, sono state illustrate le nuove strategie per la preparazione di vaccini più sicuri sia contro l'agente della pertosse sia contro la varicella (Herpes virus). In quest'ultimo caso si sta lavorando sulla creazione di un vaccino ricombinante basato sul prodotto di espressione del gene HN per ovviare i possibili rischi di meningite associati alla vaccinazione con il vaccino attuale. È stata presentata, una panoramica del-

le ricerche, effettuate presso l'Istituto Superiore di Sanità, nei settori della terapia cellulare, dello sviluppo di nuovi farmaci antimicrobici basati su peptidi e nella preparazione di un vaccino contro il virus HIV. Per quanto riguarda l'individuazione di nuove sostanze farmacologicamente attive con attività antitumorale, è stato presentato un interessante studio sulla possibilità di determinare l'interazione di sostanze di origine vegetale, in particolare l'olio dell'albero del tè, con la componente lipidica delle membrane cellulari.

Industrial and Environmental Biotechnology

La presentazione della situazione delle biotecnologie industriali in Europa ed in Italia e dell'esperienza della Piattaforma 'Italian Suschem Technology' per la nuova Chimica Sostenibile ha aperto la sessione. È seguito l'intervento sui recenti progressi delle Biotecnologie Industriali in Giappone. Sono stati individuati numerosi punti di convergenza tra l'approccio italiano e giapponese nel settore, che verranno approfonditi in occasione di un prossimo incontro internazionale. Gli interventi successivi hanno riguardato lo sviluppo di nuovi enzimi ricombinanti impiegati nella biocatalisi e nuove metodologie di immobilizzazione su supporti solidi. Argomento di grande interesse nell'ambito delle Biotecnologie ambientali è il possibile futuro impiego di microrganismi per la produzione di idrogeno da rifiuti organici. Inoltre l'importanza dello studio degli ecosistemi marini ed in particolare l'effetto dell'inquinamento sugli organismi che vivono nel mare sono oggetto di una indagine che da anni vede la stretta collaborazione tra diver-

si gruppi di ricerca italiani e giapponesi operanti in questo settore. Infine è stato presentato il Consorzio "Italian Biocatalysis Center", come esempio di collaborazione pubblico-privato per lo sviluppo di attività nel settore della biocatalisi e delle biotecnologie industriali.

Conclusioni

Il settore delle Biotecnologie è considerato di vitale importanza per il governo giapponese che ha presentato un progetto strategico dal titolo "*Grande rete strategica della biotecnologia*" elaborato in tre settori strategici. Analogamente in Italia le Biotecnologie sono uno dei settori fondamentali su cui puntare in termini di ricerca ed innovazione.

Questo Seminario può considerarsi quindi un buon punto di riferimento e di inizio di una più ampia collaborazione tra il Giappone e l'Italia in questo settore. Non solo sono state rinforzate preesistenti attività scientifiche congiunte ma, soprattutto, si è cercato di instaurare nuovi possibili rapporti di cooperazione, che potranno essere consolidati e ampliati, in un'ottica di opportunità di sviluppo e necessità strategica per la competitività del sistema economico di entrambi i Paesi. Gli sviluppi di tutta l'iniziativa saranno monitorati dal Ministero degli Affari Esteri e dall'ENEA. I risultati emersi dal Workshop sono stati presentati nell'ambito della XIX Assemblea plenaria dell'Italy Japan Business Group, che si è svolta a Tokyo dal 12 al 14 giugno 2007.

Donatella Tirindelli, Ombretta Presenti, Marcello Donini

ENEA - Dipartimento Biotecnologie Agroindustria e Protezione della salute

ombretta.presenti@casaccia.enea.it

Comunicare la desertificazione

Il 22 maggio si è svolta presso il CR ENEA della Casaccia una manifestazione incentrata su una singolare mostra e due giorni di incontri sui temi della desertificazione, per educare e formare il mondo studentesco su queste tematiche attraverso un percorso di sensibilizzazione innovativo, capace di avvicinare i giovani alle problematiche globali facendo leva sia sull'aspetto scientifico che umanistico-antropologico del fenomeno. L'iniziativa si è svolta nell'ambito delle celebrazioni per il decennale dell'*United Nations Conven-*

tion to Combat Desertification (UNCCD) e della costituzione del Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione CNLSD. *"Come, dove e perché l'uomo fronteggia la desertificazione?"*: sono queste le domande a cui la manifestazione ha inteso fornire delle risposte grazie a illustrazioni con le soluzioni più significative escogitate dall'uomo per convivere in ambienti ostili e con l'intervento di autorità ed esperti italiani e stranieri, tra i quali Pietro Laureano, consulente UNESCO per le zone aride, la civiltà islamica e gli ecosistemi in pericolo, e Marcia Teophilo, la poetessa candidata Premio Nobel per la letteratura che *"Canta l'Amazzonia"*.

Sono stati promossi scambi culturali tra studenti italiani e studenti esponenti della società civile di Paesi in via di sviluppo particolarmente colpiti da tale fenomeno, quali Burkina Faso, Mali, Burundi, Niger, Cameroun, Iran. La sensibilizzazione a questi temi è stata impostata dando voce a coloro che vivono giorno dopo giorno in terre aride o semiaride a rischio di desertificazione, privilegiando la testimonianza dei poeti e degli artisti in generale. L'azione formativa è stata quindi completata con lezioni su argomenti scientifici, quali i cambiamenti climatici, l'equilibrio degli ecosistemi, l'agricoltura e la zootecnia sostenibile, la fitodepurazione, l'energia fotovoltaica, il ruolo delle foreste.

Frumisis: genetica per il grano duro

Il CR ENEA della Casaccia ha svolto un ruolo rilevante nello sviluppo di nuove metodolo-

gie per il miglioramento genetico e nella costituzione di moderne varietà di grano duro. In Italia, la filiera del grano duro ha un valore di circa 2,2 miliardi di euro con una superficie coltivata prossima a 1,6 milioni di ettari. Questi valori la pongono tra le principali risorse agro-alimentari nazionali, la tendenza nazionale e internazionale ad un incremento dei consumi di pasta e prodotti da forno è un indice da non sottovalutare, a sottolineare il valore che il frumento duro ha, e avrà, per il Paese.

L'ENEA e l'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura, hanno organizzato, il 20 giugno in Casaccia, il Convegno conclusivo del Progetto Frumisis (Analisi del genoma del frumento duro per l'identificazione di geni utili al miglioramento della tolleranza a carenze idriche e alla salinità). Il Progetto, finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, è stato indirizzato ad accrescere le caratteristiche di stabilità produttiva del frumento duro, a innalzarne gli standard commerciali, per tutelare e qualificare i prodotti tipici locali, secondo le indicazioni della politica comunitaria. Le metodologie utilizzate si sono avvalse di approcci innovativi per identificare e caratterizzare fattori genetici che controllano la risposta agli stimoli ambientali; ciò al fine di migliorare e potenziare la pianta nell'uso dell'acqua e a tollerare carenze idriche. Le nuove risorse genetiche sviluppate dal Progetto e mirate a rispondere alle esigenze di un clima in evoluzione dovranno ora essere rese disponibili per rispondere alle mutate necessità dell'agricoltura e rilanciare la filiera del grano duro, uno degli emblemi del *made in Italy*.

dall'ENEA

Comunicare la desertificazione

Frumisis: genetica per il grano duro

Apriamo la mente

Il via alla prima edizione della Festa delle Scienze "Apriamo la mente. Lazio. Terra di scienza" è stato dato il 18 maggio con due ospiti d'eccezione, Rita Levi Montalcini e Piero Angela. Gli obiettivi della manifestazione, nata sotto l'Alto Patronato del Presidente della Repubblica Italiana con il Patrocinio del Ministero dell'Università e della Ricerca, sono stati quelli di fornire un'occasione di dialogo e confronto fra ricercatori e grande pubblico, offrire un'occasione di scoperta, di divertimento e di incontro, mettendo in luce l'enorme valore dell'eccellenza scientifica presente nella nostra Regione.

Il programma della rassegna ha offerto un'ampia scelta di attività per ogni tipo di pubblico e per tutte le età, dalle visite ai Laboratori di Ricerca, alla scoperta dei Musei Scientifici sparsi in tutta la Regione; dai caffè della scienza, alle conferenze; dalle mostre interattive alle osservazioni del cielo, alle gite scientifiche all'aria aperta.

L'evento è stato organizzato grazie alla partecipazione delle più importanti realtà scientifiche italiane che operano nel Lazio, tra le quali l'ENEA.

Pirelli International Award 2006

Si è svolta l'11 maggio a Roma la consegna dei premi dell'undicesima edizione della Pirelli International Award (www.pirelliaward.com), il primo concorso internazionale dedicato alla comunicazione scientifica e tecnologica gestito interamente su Internet. Dopo aver valutato più di mille candidature, provenienti da tutto il mondo, la giuria internazionale ha premiato la *start-up* norvegese "New Index" (www.newindex.no), per la realizzazione di un video che illustra l'ultima loro invenzione, la "lavagna mobile interattiva": una speciale penna in grado di scrivere, disegnare, colorare e cancellare su una lavagna, dotata di un sensore che dialoga con un videoproiettore e un personal computer. Ai vincitori, come miglior prodotto per la comunicazione multimediale nel campo ICT, è andato anche il Top Pirelli Prize di 25.000 euro, il princi-

pale premio scelto fra i primi di ogni categoria.

Oltre ai Pirelli Award per le categorie Fisica, Chimica, Matematica, Scienze della Vita e ICT, è stato assegnato il Premio Pirelli Italia alla casa editrice Motta con il prodotto multimediale "La Bussola della conoscenza" (<http://www.mottaeditore.it/home.php?idno=837>), di introduzione alla teoria evolutivista di Charles Darwin.

Infine, per la sua alta valenza sociale, è stata assegnata una menzione d'onore dalla Giuria a "PIPS - Personalized Information Platform for Life and Health Services" dell'Istituto San Raffaele di Milano, per la presentazione multimediale di un progetto nel campo delle scienze della vita, che consente ai pazienti di avere una costante assistenza medica attraverso le nuove tecnologie. Per informazioni: www.pirelliaward.com

Femmes pour l'Europe

In occasione dell'Anno Europeo delle Pari Opportunità, il Cirsde (Centro Interdipartimentale di Ricerche e Studi delle Donne dell'Università di Torino) con l'appoggio della Rappresentanza in Italia della Commissione Europea ha promosso l'istituzione di una lezione annuale intitolata "Femmes pour l'Europe", con l'intento di invitare una studiosa/o di respiro internazionale a riflettere sul contributo diretto di donne a immaginare l'Europa.

"Femmes pour l'Europe" fu il nome del gruppo creato da Ursula Hirschmann moglie del

Incontri

Apriamo la mente

Pirelli International
Award 2006

Femmes pour l'Europe

Rapporto annuale
sull'innovazione

Commissario europeo Altiero Spinelli a Bruxelles nel 1975 nella convinzione che le donne hanno un forte interesse per un'Europa unita e possono contribuire a costruire una federazione ispirata agli ideali di libertà e giustizia sociale.

Uno degli stimoli principali alla formazione del gruppo "Femmes pour l'Europe" fu la percezione di una tensione tra la sfera pubblica e la sfera privata; approfittando della lingua francese nella quale *femmes* significa sia donne sia mogli, le donne vollero far riconoscere se stesse e le altre sulla base della propria condizione di genere, che considerarono il punto di partenza per l'azione e la riflessione.

"Femmes pour l'Europe" può essere di ispirazione oggi proprio perché mosse i primi passi nelle difficoltà e nell'isolamento, e la sua voce è ancora di grande valore se si vuole condividere, e nello stesso tempo aprire alla pluralità, l'autodefinizione di europee. Ancor oggi il contributo delle donne all'Europa unita, sia quello già dato sia quello possibile, è insufficientemente riconosciuto e valutato, e l'istituzione delle Lezioni annuali può essere uno stimolo per il riconoscimento e la valutazione di un'Europa di genere.

La prima Lezione, dal titolo "Penser une Europe habitable par toute femme" è stata tenuta a Torino l'8 giugno, presso il Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, da Eleni Varikas, docente presso l'Università Paris VIII e studiosa internazionale di scienza politica che ha dato importanti contributi al pensiero di genere.

La lezione è stata preceduta da un seminario di studio interdisciplinare che ha presentato direzioni di ricerca ed esperienze

volte a indagare e restituire visibilità al ruolo individuale e collettivo delle donne nella costruzione europea. Tra le studiose intervenute in rappresentanza di campi diversi del sapere, l'avvocato Fernanda Conti, ministro per gli Affari sociali nel Governo Ciampi e successivamente vicepresidente della Corte Costituzionale.

Rapporto annuale sull'innovazione

Alla Prima Conferenza Permanente sull'Innovazione organizzata dalla Fondazione COTEC il 24 maggio a Roma, è stato presentato il Rapporto annuale sull'innovazione. Il lavoro, una indagine a 360 gradi sul sistema dell'innovazione in Italia, integra per la prima volta i dati di diverse fonti su tutti gli aspetti del settore, dall'istruzione primaria fino agli investimenti delle imprese, dall'apporto della Pubblica Amministrazione alla *performance* brevettuale.

Dal Rapporto, analizzando i dati sulle spese in R&S o quelli sulle attività brevettuali, emerge l'esistenza di un divario in termini di capacità di innovare tra Italia e i principali Paesi avanzati. Il nostro Paese investe poco in R&S e la spesa in questo settore è rimasta immutata in termini assoluti dal 1990 al 2000. Anzi, l'intensità di investimenti rapportata al Pil in questi ultimi anni si è rivelata tra le più basse in Europa, circa la metà rispetto a Francia e Germania. Se si considera il 2005 la quota di fatturato investita in R&S dalle prime dieci impre-

se del nostro Paese è ferma al 2,2%, mentre raggiunge il 5,5% per la Germania e addirittura l'8,8% in Danimarca.

Ma l'analisi evidenzia anche alcuni punti di forza nel nostro sistema innovativo come, ad esempio, l'elevata produttività scientifica delle università e dei centri di ricerca pubblici, la costante crescita del numero di laureati in rapporto alla popolazione e il crescente numero di iniziative volte a favorire lo sviluppo di conoscenza localizzata, come le iniziative relative alla promozione di distretti tecnologici.

Da quanto delineato nel Rapporto, e in linea con il rilancio della strategia europea di Lisbona, si possono identificare queste priorità significative per l'Italia: il miglioramento della cooperazione tra università, ricerca e industria; lo sviluppo dell'innovazione a livello regionale; il miglioramento della disponibilità di capitale di rischio e l'avvio di iniziative tecnologiche congiunte in settori di punta ad alta tecnologia; la promozione di nuovi mercati di prodotti innovativi.

In questo contesto, ha sostenuto il ministro e presidente della COTEC Luigi Nicolais, risulta essenziale il ruolo della Pubblica Amministrazione nel sostegno alla competitività del Paese. Al fine di creare un ambiente più favorevole alla crescita del sistema produttivo è necessaria una Pubblica Amministrazione più moderna che agisca da traino per la nascita di nuove iniziative e spinga le nostre imprese a ragionare in una logica di crescita oltre i confini nazionali.

Una scomoda verità Come salvare la Terra dal riscaldamento globale

Al Gore, Rizzoli, 2006,
pagine 336, € 30,00

L'autore del libro, che può essere meglio definito come un album fotografico del nostro pianeta durante l'era del cambiamento climatico, è Al Gore, ex vicepresidente degli Stati Uniti con l'amministrazione Clinton e candidato democratico sconfitto per una manciata di voti dall'attuale presidente George W. Bush.

Il libro, *best seller* negli Stati Uniti durante lo scorso autunno, in-

sieme al film-documentario dallo stesso titolo, vincitore del premio Oscar 2007, è il risultato di un vero e proprio show ecologista che l'autore ha portato in giro per il mondo con lo scopo di informare e sensibilizzare l'opinione pubblica sull'emergenza determinata dai cambiamenti climatici.

Non è questo il primo libro in cui Al Gore si occupa della questione ambientale: in *Earth in the balance*, pubblicato nel 1992, proponeva addirittura un "Piano Marshall globale" per contrastare la catastrofe ecologica. Ed anche il suo impegno politico è stato fortemente caratterizzato da interventi volti alla soluzione dei problemi ambientali: fu Gore infatti a battersi in prima persona per l'introduzione della "carbon tax", misura adottata anche se parzialmente nel 2003, ed a schierarsi con fermezza e convinzione a favore del Protocollo di Kyoto, mai ratificato dagli Stati Uniti.

Dopo due pagine di introduzione, il libro si apre con le più note immagini della terra riprese dallo spazio, la prima scattata nel 1968 dall'Apollo 8 in orbita intorno alla luna, la seconda nel 1972 dall'Apollo 17, nel momento in cui terra, sole e luna erano perfettamente in linea, così da consentire che la terra potesse apparire completamente illuminata. E proprio con quel primo scatto, circa due anni dopo, era nato il movimento ambientalista. Sono immagini suggestive, che rendono chiaramente al lettore l'affascinante bellezza del pianeta, l'idea delle sue minime dimensioni nello spazio, l'imperscrutabilità delle sue origini e del suo futuro.

Un pianeta "perfetto", ma con una atmosfera troppo sottile, così sottile che l'uomo può

"drasticamente alterare la concentrazione di alcune sue componenti molecolari di base". E dopo questa premessa si entra nel vivo.

Ecco dunque i professori Roger Revelle e Charles Keeling, con gli anni di misurazioni sulla CO₂ a Mauna Loa, nella Hawaii. "Perfino allo stadio iniziale del loro esperimento, era evidente che la concentrazione di CO₂ in atmosfera stava salendo a un ritmo significativo". Tutto ciò a causa dell'uomo, che con le proprie attività sta da lungo tempo drammaticamente alterando il rapporto fra lui e il pianeta.

A ritmo incalzante comincia allora l'elencazione dei cambiamenti dovuti all'innalzamento della temperatura a causa dell'effetto serra, attraverso immagini di grande impatto: i ghiacciai si ritirano, le calotte polari si assottigliano, le stagioni vedono alterati i loro cicli con conseguenze devastanti sull'equilibrio naturale; il livello del mare si innalza, le coste vengono sommerse, uragani sempre più devastanti si susseguono. Al contempo, continua l'esplosione demografica nei paesi in via di sviluppo, dove maggiore è la povertà, ed aumenta globalmente la domanda di risorse. E dunque foreste distrutte, corsi dei fiumi deviati, laghi prosciugati.

Le immagini sono le vere protagoniste di questo libro, in quanto, come lo stesso Gore asserisce, "puoi leggere tutti gli studi sull'argomento, parlare con gli scienziati, analizzare minuziosamente i grafici, ma la cosa migliore è vedere le cose con i tuoi occhi". Il testo è costituito in gran parte da lunghe didascalie esplicative di queste immagini, ma anche da ricordi di studi giovanili e di incontri significativi.

Letture

Una scomoda verità
Come salvare la Terra
dal riscaldamento globale

Deep Economy
The wealth of Communities
and the durable future

Economia
dei contenuti

L'Europa nel mondo

Gore, che non è uno scienziato, esamina a fondo la posizione degli scienziati, analizzando le conseguenze ambientali, sociali ed economiche di questa catastrofe prodotta dall'uomo. Da grande comunicatore quale egli è, Gore denuncia inoltre le continue campagne di disinformazione che si producono intorno a questo tema, condotte in particolare "dalla Casa Bianca di Bush-Cheney", nonostante "un consenso forte quanto quello che si è creato intorno alla questione è davvero raro nel mondo scientifico" (da una citazione di Donald Kennedy, direttore della rivista Science).

Un inganno dovuto ad enormi interessi politico-economici che Gore ritiene inaccettabile. In chiusura, le immagini tornano ad essere rassicuranti e il libro si chiude con un veemente appello agli abitanti del pianeta a mettere in atto una cooperazione globale e una lunga serie di comportamenti individuali che possano scongiurare questa terribile minaccia. "La terra è la nostra sola casa. E questa è la posta in gioco. Se saremo in grado di continuare a vivere sul pianeta Terra, se avremo un futuro come civiltà. Io credo che questo sia un imperativo morale."

Deep Economy The wealth of Communities and the durable future

Bill McKibben
Times Books, marzo 2007, pagine 232, dollari USA 25

L'autore, ambientalista statunitense, scrittore nonché editorialista di quotidiani e periodici, nello scegliere il titolo "Deep Economy" si è rifatto alla *Deep Ecology*, corrente ecologista che

più di vent'anni fa si interrogava circa le scelte quotidiane di ognuno di noi. Per McKibben l'economia dovrebbe avere come fine non tanto la crescita incontrollata di beni di consumo, quanto la felicità degli esseri umani.

Nella storia umana i due termini "più" e "meglio" hanno rappresentato la faccia della stessa medaglia. Da Adam Smith in poi il dogma è stato quello del perseguimento della massima produzione economica possibile, nella convinzione, confermata dai fatti, che la crescita generava benefici per tutti. Oggi non è più così. La crescita genera ineguaglianze e insicurezza e va a cozzare contro limiti fisici profondi, quali ad esempio il cambiamento climatico o l'esaurimento delle riserve di petrolio.

Sono queste le premesse da cui parte McKibben in questo volume, che segue a distanza di quasi trent'anni il suo primo libro, *The End of Nature*, pubblicato in più di venti lingue, in cui per la prima volta la tematica dei cambiamenti climatici veniva trattata per un pubblico di non addetti ai lavori. In "Deep Economy" l'autore auspica che ognuno di noi adotti dei nuovi criteri di scelta in fatto di beni da acquistare, cibo di cui nutrirsi, energia da utilizzare; la prosperità va ricercata in una dimensione locale, con le città e le regioni impegnate a produrre localmente il cibo e l'energia per il proprio fabbisogno, così come anche la cultura. Questo spostamento verso l'economia locale non è di destra né di sinistra, ma semplicemente differente dal modo in cui la nostra società è andata avanti finora. La domanda da porsi oggi è se una maggiore quantità di merci aiuta a costruire e a fare evolvere una

comunità locale, o se ne rappresenta invece una minaccia: è la comunità locale, infatti, che l'autore considera cruciale per la salvaguardia dei problemi ambientali, ma anche per la "soddisfazione" umana. McKibben sviluppa questo tema analizzando le economie emergenti della Cina e dell'India, così come le società mature dell'Europa e del New England, attraverso confronti interessanti che passano dagli stili di vita, al mondo del lavoro, agli aspetti culturali che caratterizzano i vari paesi. E l'obiettivo di offrire una visione ottimistica per la soluzione dei problemi globali viene rispettato: l'autore individua strade che consentano uno sviluppo dell'economia senza sprechi di energia, attraverso modelli che in embrione si possono trovare in numerose situazioni locali. Secondo McKibben si tratta di soluzioni che possono essere replicate, ma quanto più rapidamente possibile. Nelle conclusioni del suo libro egli afferma che è sicuramente molto difficile immaginare un mondo diverso da quello attuale, ma dal momento che questo sistema economico sta progressivamente distruggendo la terra, la sfida più importante per l'uomo deve essere quella di trasformarlo, "di capire se effettivamente si possa riuscire a muovere la ricchezza delle comunità locali per rendere la transizione tollerabile, addirittura gradevole, anziché tragica."

Economia dei contenuti L'industria dei media e la rivoluzione digitale

Augusto Preta
V&P, 2007, pagine 156, € 16

Il ruolo pervasivo dei media ha effetti sociali notevoli e noti, come la capacità di orientare l'opinione pubblica, di produrre e trasmettere cultura, di condizionare i comportamenti e gli stili di vita delle persone. Ecco allora lo spunto, la necessità, l'urgenza, quasi, di analizzare il rapporto tra industria dei media e la rivoluzione digitale ormai in pieno sviluppo. Scrive nella Prefazione l'autore - docente di Economia dei media all'Università di Sassari e fondatore di IT-Media Consulting, società specializzata nella ricerca e consulenza sui media e contenuti digitali - che il libro nasce con l'intento di raccontare "in una prospettiva economica e dal punto di vista del consumatore, un fenomeno eversivo quale quello rappresentato dalla digitalizzazione dei media e dei loro prodotti, i contenuti".

L'idea di fondo è che il digitale modifichi la tradizionale relazione tra contenitore (media) e contenuto, spostando su quest'ultimo il centro dell'attenzione. La prospettiva, allora, si rovescia: liberato dalle costrizioni del supporto fisico e grazie alla trasformazione del processo produttivo in ambiente digitale, il contenuto acquisisce una propria autonomia e diventa il vero motore della diffusione di nuove reti e piattaforme distributive, e acceleratore del passaggio all'economia digitale. È il contenuto, insomma, a determinare l'atteggiamento del consumatore, a consentire l'ingresso di nuovi attori, ad aumentare le possibilità di scelta e, in ultima analisi, a migliorare il benessere sociale. Il contenuto rimane comunque un'espressione della creatività di chi lo produce e, in varia misura, anche di chi ne fruisce.

Questo saggio, destinato ai corsi di economia dei media e del-

le comunicazioni, si rivolge anche agli studiosi e operatori del settore, con l'intento di fornire chiavi d'interpretazione e di lettura adeguati alla complessità e alla velocità dei mutamenti in atto. A tale scopo analizza i diversi mercati che compongono l'industria dei contenuti: il mercato a monte ai prodotti premium del film e dello sport, ma anche, nel mercato a valle, l'evoluzione della radio, della televisione, in chiaro e a pagamento, e di internet. Vengono inoltre individuati i mercati rilevanti, la struttura economica dei diritti, l'industria dei talenti, i mercati a due versanti e la *creative industry*. La conclusione è che, in questo processo epocale, i contenuti non rappresentano più i fattori costitutivi di un'industria, i media, ma del "mercato della convergenza" in tutte le sue variegate componenti.

L'Europa nel mondo Scelte politiche per la sicurezza e il benessere

Tom Burke e Nick Mabey
Third Generation Environmentalism Ltd (E3G), aprile 2007, pagine 64
www.europeintheworld.eu

Secondo gli autori, due ambientalisti inglesi, in questo nuovo mondo in continua trasformazione, l'Europa deve svolgere un ruolo preventivo nell'ideare e attuare le scelte politiche necessarie per assicurare il benessere e la sicurezza dei suoi cittadini.

L'Unione Europea e il mondo hanno bisogno di un flusso con-

tinuo di energia che sia affidabile, a prezzo equo e sostenibile. Ma c'è un evidente legame tra sicurezza dell'approvvigionamento energetico, sostenibilità ambientale e concorrenzialità, elementi chiave per lo sviluppo economico e il raggiungimento dei traguardi di Lisbona.

La capacità dell'Europa di gestire le potenziali contraddizioni tra sicurezza energetica e climatica saranno d'importanza vitale non solo per il Vecchio Continente, ma anche per gli altri paesi.

Per porsi all'altezza delle sfide degli anni a venire, l'Europa deve però maturare un rinnovato senso della propria missione anche perché i maggiori problemi che domineranno il XXI secolo, dal terrorismo al cambiamento climatico, dalle migrazioni di massa alla criminalità organizzata, non possono essere risolti autonomamente dai singoli Stati. L'Europa ha le risorse economiche, la coesione sociale e l'allineamento politico per poter agire in questo senso, ma deve offrire ai suoi cittadini una nuova prospettiva, costruita attorno a una chiara visione del proprio ruolo nel mondo. In questo modo potrà infondere una rinnovata fiducia ai cittadini dell'Europa e attingere allo straordinario patrimonio europeo per affrontare la sfida dell'interdipendenza. Le decisioni politiche che dobbiamo compiere oggi determineranno il futuro dell'Europa, i suoi scopi e la sua identità.

Gli autori, dunque, individuano cinque scelte decisive: il significato del successo; costruire una collaborazione intergenerazionale; conseguire la sicurezza energetica e climatica; investire in una Cina in ascesa; definire il bilancio europeo per il futuro.

SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEI SISTEMI ENERGETICI

Tecnologie e normative

Luigi Bruzzi, Valentina Boragno, Simona Verità
€ 20,00
21 x 29,7, pagine 240
ISBN: 88-8286-184-8



Oggi non è più possibile tenere separati i problemi relativi all'utilizzo dell'energia dalle norme legate alla tutela dell'ambiente; l'impatto ambientale dei sistemi energetici ha dato infatti luogo a leggi, normative ambientali e protocolli internazionali come quello di Kyoto. L'Energy Manager deve considerare tutto ciò non come una restrizione, ma come una grande opportunità per promuovere interventi sull'uso efficiente dell'energia e sull'impiego delle fonti energetiche rinnovabili. L'ENEA, nell'ambito dei suoi compiti istituzionali, deve curare l'aggiornamento professionale dei Responsabili per la conservazione e l'uso razionale dell'energia (Energy Manager) secondo le indicazioni della legge 10/91 – art. 19. Questo lavoro, realizzato in collaborazione con il CIRSA (Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali dell'Università di Bologna – sede di Ravenna) affronta il tema della sostenibilità ambientale dei sistemi energetici, sia dal punto di vista delle tecnologie che delle normative. Nella prima parte del testo sono trattate le tecnologie delle fonti energetiche rinnovabili, le tecnologie innovative ad elevata efficienza ambientale e le tecnologie nel settore dei trasporti. Ogni tecnologia viene trattata in relazione al principio di funzionamento, ai rendimenti, agli utilizzi, al mercato, agli eventuali incentivi ed alla sostenibilità ambientale. Nella seconda parte viene fornito il quadro legislativo ambientale connesso ai sistemi energetici di interesse per l'Energy Manager.

Per acquistare il volume rivolgersi a:
Primaprint - Dr. Andrea Zamparini
Tel. 0761 - 353637 - Fax 0761 - 270097
E-mail: amministrazione@primaprint.it