

# ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE

ANNO 49 GENNAIO-FEBBRAIO 2003

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

Finito di stampare nel mese di Febbraio 2003

**Direttore responsabile** Sergio Ferrari

**Comitato di redazione** Maria Antonietta Biancifiori, Fausto Borrelli, Gilberto Busuoli, Marco Martini, Pietro Metalli, Emilio Santoro

**Redattore capo** Alida La Croce

**Redazione** Giuliano Ghisu

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

**Responsabile editoriale** Diana Savelli

**Redazione** ENEA

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

**Progetto grafico** Bruno Giovannetti (ENEA)  
Ada Cerrato, Nicoletta Troncon (Litografia Fabiano)

**In copertina** Riproduzione *L'eterno*, E. Guglielminetti

**Stampa** Litografia Fabiano, Reg. San Giovanni 2/b, 14053 Canelli (AT)

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

**Pubblicità** Fabiano srl

**Abbonamento annuale** Italia € 21,00, Estero € 26,00; una copia € 4,20  
CC/P n. 12439121 intestato a Fabiano srl  
Reg. San Giovanni 2/b, 14053 Canelli (AT), Tel. 0141-822557, Fax 0141-822669  
E-mail: nicole@fabianogroup.com

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

www.enea.it

4

**IL RAPPORTO ENERGIA AMBIENTE 2002: LA SITUAZIONE ENERGETICA NAZIONALE E REGIONALE****ITALY'S 2002 ENERGY/ENVIRONMENT REPORT: THE NATIONAL AND REGIONAL ENERGY SITUATIONS***Unità di Agenzia – Advisor*

L'innovazione tecnologica è una opportunità per il Paese e una sfida per dare risposta a uno sviluppo sostenibile. Ma l'Italia continua a destinare risorse insufficienti al settore della ricerca e sviluppo, collocandosi fra gli ultimi anche in Europa.

Pubblichiamo la sintesi del Rapporto 2002, l'annuale analisi della situazione energetico-ambientale nazionale

*Technological innovation is an opportunity for Italy and a challenge for securing sustainable development, but the nation continues to allocate inadequate resources to R&D and has one of the lowest percentages of R&D spending in Europe. We publish the summary of the 2002 Report, the annual analysis of Italy's energy and environment situation*

SPAZIO APERTO

14

**EVOLUZIONE DEL CLIMA ED IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA**  
**CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACT ON ITALY***Vincenzo Ferrara*

I cambiamenti climatici in corso avranno probabilmente effetti differenziati nelle varie aree del pianeta. Anche all'interno dell'Europa si prevedono conseguenze divaricanti tra nord e sud del Continente. Nel nostro Paese i cambiamenti climatici non tendono tanto a creare nuovi rischi quanto ad accentuare quelli esistenti

*Ongoing climate changes will probably affect the various parts of the planet in different ways. Even in Europe, their effects are expected to differ considerably between the northern and southern parts of the continent. In Italy, climate changes are tending more to sharpen existing risks than to create new ones*

STUDI &amp; RICERCHE

23

**L'APPROCCIO ECOSISTEMICO: UNA PROPOSTA INNOVATIVA PER LA GESTIONE DELLA BIODIVERSITÀ E DEL TERRITORIO****THE ECOSYSTEMIC APPROACH: AN INNOVATIVE PROPOSAL FOR MANAGING BIODIVERSITY AND LAND USE***Laura Padovani, Paola Carrabba, Francesco Mauro*

L'approccio ecosistemico è una strategia per la gestione integrata della terra, dell'acqua e delle risorse viventi che promuove la conservazione e l'uso sostenibile in modo giusto ed equo. Tale concetto, approvato a livello internazionale, consta di 12 principi generali, e di 5 operativi illustrati nell'articolo

*The ecosystemic approach is a strategy for integrated management of land, water and bio-resources that promotes conservation and sustainable use in a fair and proper way. The concept was approved at the Fifth Conference of the Parties to the Biological Diversity Convention, held in Nairobi in May of 2000. It consists of twelve general principles plus five operating principles to be used in applying the general ones at the local level. The article outlines the principles, explains their meaning and describes cases that illustrate their potential applications*

33

**VEICOLI A IDROGENO: STATO ATTUALE E PROSPETTIVE DI SVILUPPO****HYDROGEN-POWERED VEHICLES: STATE OF THE ART AND DEVELOPMENT PROSPECTS***M. Conte, F. Di Mario, A. Iacobazzi, R. Infusino, A. Mattucci, M. Ronchetti, E. Vellone*

Le tecnologie disponibili, i principali risultati ottenuti e le iniziative previste nell'ambito dei programmi pubblici e privati internazionali e nazionali. I vantaggi ambientali e le barriere che ostacolano la loro introduzione nel mercato. L'importanza di una presenza italiana significativa

*Twenty years of experience in Italy have shown that the major obstacles hindering wider use of small distributed-generation plants, including the most innovative types, are red tape, low power factors, and potential users' lack of technical knowledge*

71

**LA FORZA MISURABILE**  
**MEASURABLE FORCE**

Arianna Borrelli

Negli anni del Settecento e del primo Ottocento, il concetto di forza costituì un tramite fondamentale fra riflessione filosofica, ricerca scientifica e sviluppo tecnico. La sovrapposizione, l'interazione e, a volte, anche la confusione dei risultati di queste tre attività umane portarono a trasformazioni della cultura europea, fra cui la più importante fu con ogni probabilità la cosiddetta scoperta della legge di conservazione dell'energia

*In the 18<sup>th</sup> and early 19<sup>th</sup> centuries the concept of force was a fundamental connection between philosophical reflection, scientific research and technical development. Overlapping, interaction and (sometimes) even confusion among the results of these three human activities deeply altered European culture. The most important change was probably the so-called discovery of the law of conservation of energy*

## NOTE TECNICHE

79

**LA TECNOLOGIA HF-CVD PER LA SINTESI DI DIAMANTE E NANOTUBI DI CARBONIO**

HF-CVD TECHNOLOGY FOR SYNTHESIZING CARBON DIAMONDS AND NANOTUBES

Rossella Giorgi

**L'ENEA E LA ROBOTICA: TRE EVENTI PRESSO IL CENTRO RICERCHE DI FRASCATI**

ENEA AND ROBOTICS: THREE EVENTS AT THE FRASCATI RESEARCH CENTRE

Ramiro Dell'Erba, Claudio Moriconi

## CRONACHE

87

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

NEWS FROM THE WORLD, THE EUROPEAN UNION, ITALY AND ENEA. INFORMATION ABOUT MEETINGS AND RECENTLY PUBLISHED WORKS

- dal Mondo
  - Diminuisce il prezzo del gas **84**
  - Come cambia il clima **84**
  - Buco dell'ozono: sottostimate le emissioni di cloro **84**
  - I costi ambientali del traffico aereo **85**
- dall'Unione Europea
  - Le donne sono sottorappresentate nella ricerca industriale **86**
  - Obiettivi di Lisbona: investire in R&S **86**
- dall'Italia
  - La riforma degli enti di ricerca **87**
  - Esame in ambiente per l'Italia **87**
- dall'ENEA
  - Graduatorie di concorsi ENEA **88**
  - Rifinanziato il Progetto Solare Termodinamico **94**
  - Cambiamenti climatici. Quali costi per l'Italia? **94**
  - Progetto Anvimar **94**
- Incontri
  - Valutazione strategica di impatto ambientale **95**
  - Il fotovoltaico va in treno **95**
  - Regolazione dell'energia **95**
  - Coordinamento per l'energia fra Italia e Russia **95**
- Letture
  - ECO-ECONOMY: una nuova economia per la Terra **96**

# Il Rapporto Energia Ambiente 2002: la situazione energetica nazionale e regionale

ENEA,  
Unità di Agenzia – Advisor

primo piano

L'innovazione tecnologica è una opportunità per il Paese e una sfida per dare risposta a uno sviluppo sostenibile. Ma l'Italia continua a destinare risorse insufficienti al settore della ricerca e sviluppo, collocandosi fra gli ultimi anche in Europa. Pubblichiamo la sintesi del Rapporto 2002, l'annuale analisi della situazione energetico-ambientale nazionale

## *Italy's 2002 Energy/Environment Report*

The national and regional energy  
situations

*Technological innovation is an opportunity for Italy and a challenge for securing sustainable development, but the nation continues to allocate inadequate resources to R&D and has one of the lowest percentages of R&D spending in Europe. We publish the summary of the 2002 Report, the annual analysis of Italy's energy and environment situation*

## Il quadro di riferimento internazionale

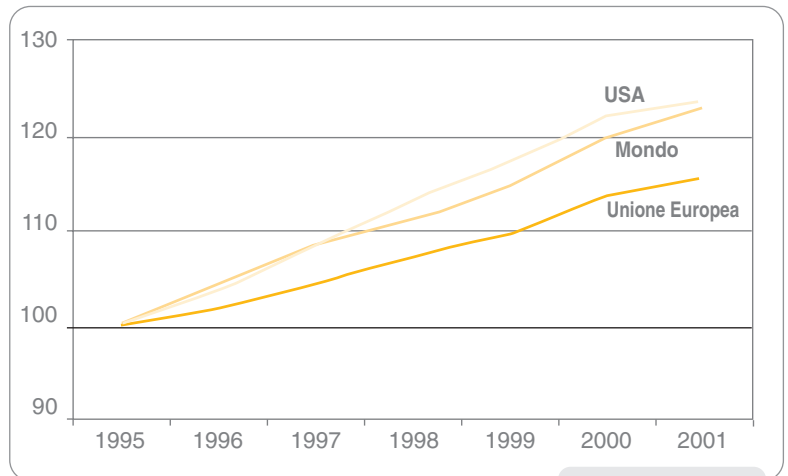
### Economia

La rottura del ciclo espansivo dell'economia americana ha determinato il rallentamento dell'economia mondiale, la cui crescita media annua si è attestata nel 2001 sul 2,2%, al di sotto della crescita media dell'ultimo ventennio. In questo quadro, gli eventi tragici dell'11 settembre hanno impresso una forte accelerazione alle dinamiche recessive (figura 1).

Le prospettive per il prossimo anno scontano lo scaricarsi degli effetti dell'ampia correzione dei titoli azionari sulle dinamiche dell'economia reale e contemplanò come rischio eventuale lo scoppio della guerra in Irak.

Per l'area euro si assisterà all'azione contrapposta di almeno due fattori. La fiducia delle famiglie dovrebbe migliorare in seguito al recupero dei mercati borsistici europei. Il ciclo espansivo guidato dalle esportazioni potrebbe attenuarsi alla luce del previsto indebolimento della domanda statunitense e asiatica e del rafforzamento dell'euro. Nel complesso i due effetti dovrebbero compensarsi.

Se il ciclo economico è stato fortemente e negativamente influenzato dall'economia americana, non sembra viceversa aver avuto un forte impatto la risalita del prezzo del petrolio che, dai minimi del gennaio, ha sfiorato a settembre 2002 i 30 dollari a barile.



Fonte: ENERDATA

**Figura 1**  
PIL a prezzi costanti e parità di potere di acquisto (1995 = 100)

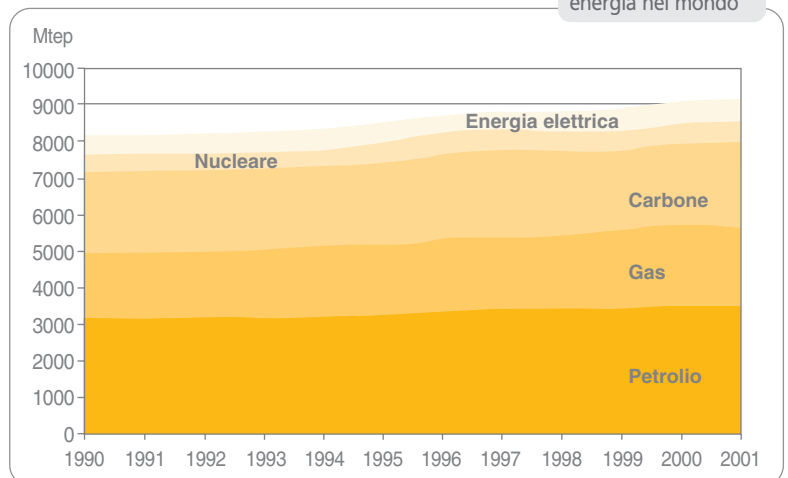
### Energia

La bassa crescita dei consumi mondiali di energia primaria registrata nel 2001 si spiega soprattutto con il rallentamento del ciclo economico. La caduta dei consumi energetici è principalmente da ascrivere alla domanda USA, dove i consumi si sono nettamente contratti. Al netto della domanda USA, la domanda energetica mondiale ha registrato di fatto un incremento sostanzialmente allineato alla tendenza del decennio (figura 2).

A livello mondiale, il *trend* assunto dal fabbisogno di energia per unità di prodotto è stato decrescente lungo tutto l'arco del decennio.

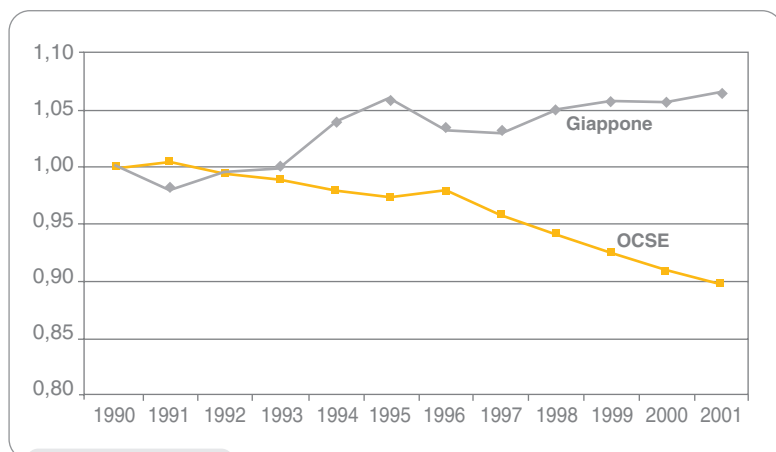
Il più alto reddito delle economie avanzate, infatti, ha permesso l'adozione di tecnologie di utilizzo migliori, con l'unica significativa eccezione del Giappone (figura 3).

Anche se il rallentamento della crescita della domanda riguarda tutte le fonti considerate, dinamiche abbastanza differenziate si riscontrano tra petrolio da un lato (domanda in stagnazione) e gas naturale e carbone dall'altro (in moderato aumento) (figura 4). Se si esclude la domanda statunitense, il tasso d'incremento del gas s'innalza al 2,1%, un valore in linea con quello medio del decennio. La domanda di carbone registra, per



Fonte: BP

**Figura 2**  
Domanda totale di energia nel mondo



**Figura 3**  
Intensità energetica  
(1990 = 100)

Fonte: REF da dati ENERDATA

riduce la quota del Medio Oriente, che tuttavia aumenta la produzione di gas.

Il petrolio continua a soddisfare più del 38% del fabbisogno energetico mondiale e resta pertanto la principale fonte energetica utilizzata al mondo. Il gas rimane la terza fonte per livello di utilizzo, di poco inferiore al carbone. Nell'ultimo decennio si è assistito quasi ovunque ad una parziale sostituzione del petrolio con il gas, con la sola eccezione dell'America del Nord, dove il rapporto tra gas e greggio è rimasto costante.

Dopo aver registrato nel 2000 un tasso di crescita superiore al 3,8%, la domanda mondiale di energia elettrica è cresciuta solo del 2,1% nel 2001, e questo è anche dovuto alla riduzione dell'intensità elettrica.

Le prospettive di incremento della domanda previste per i prossimi anni hanno rinnovato l'attenzione, particolarmente a livello europeo, sul problema della sicurezza degli approvvigionamenti energetici. Più del 65% delle riserve mondiali di petrolio e il 36% di quelle di gas naturale si trovano infatti nel Medio Oriente, a fronte di un contributo alla produzione, rispettivamente, solo del 30% e del 9% nel 2001.

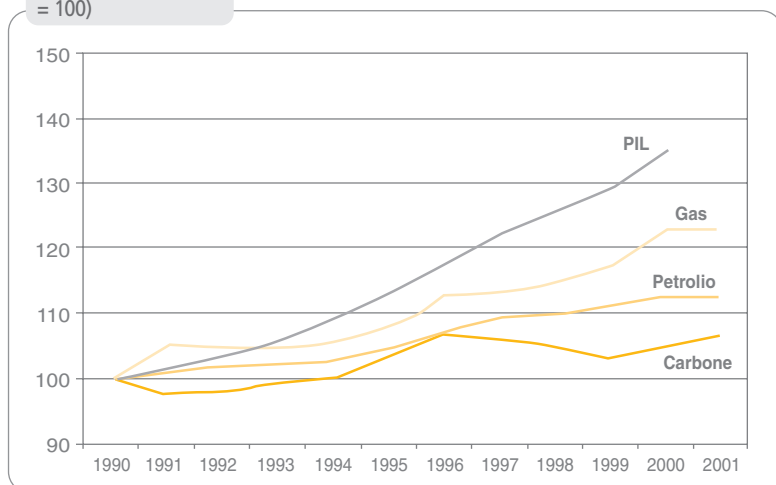
Una politica finalizzata a garantire una maggiore sicurezza degli approvvigionamenti energetici non deve necessariamente essere volta ad una riduzione della propria dipendenza dall'estero quanto alla riduzione dei rischi connessi con quest'ultima.

Diversificazione delle fonti di approvvigionamento, sviluppo delle fonti rinnovabili e sostegno

all'efficienza energetica costituiscono i pilastri di una strategia per migliorare la sicurezza degli approvvigionamenti in un contesto ambientalmente sostenibile.

La costituzione di una Task Force ad hoc, voluta dal gruppo dei sette paesi più ricchi del mondo più la Federazione Russa (G8), è la riprova ulteriore del rilievo crescente assunto dalle fonti energetiche rinnovabili nel dibattito internazionale. La Task Force ha presentato il proprio rapporto conclusivo al summit di Genova del luglio 2001, riconoscendo i positivi effetti delle energie rinnovabili sull'ambiente e la loro idoneità ad assicurare l'approvvigionamento energetico a

**Figura 4**  
PIL e domanda mondiale di carbone, petrolio e gas naturale nel 1990-2001 (1990 = 100)



Fonte: REF da dati ENERDATA

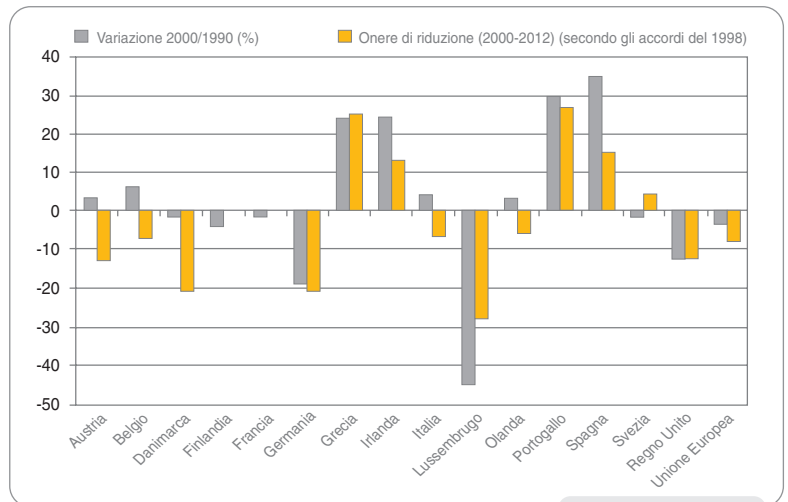
costi competitivi nelle aree non servite da reti di distribuzione e ad integrare la fornitura energetica nei sistemi caratterizzati da alti consumi e rischi di *black-out*. La Task Force ha anche esortato i paesi industrializzati a sostenere la ricerca e lo sviluppo nell'industria delle energie rinnovabili e ad espanderne il mercato.

## Ambiente

Le principali caratteristiche delle politiche ambientali legate all'uso delle risorse energetiche possono essere ascritte a due gruppi di azioni. Il primo è legato allo sforzo di giungere ad accordi comuni volti alla riduzione delle emissioni derivanti dalla combustione di fonti fossili (Kyoto sulla riduzione dei gas serra e Göteborg sulla riduzione delle emissioni acide). Il secondo è volto allo sviluppo delle fonti rinnovabili e all'uso razionale dell'energia. In questo ambito rientra, ad esempio, il lavoro citato della Task Force del G8 sulle fonti rinnovabili.

L'Unione Europea appare nel suo complesso in grado di rispettare gli impegni presi con la ratifica del Protocollo di Kyoto; tra il 1990 ed il 2000 le emissioni di gas serra sono infatti diminuite di circa il 3,5% (figura 5). L'andamento delle emissioni nei diversi Stati membri non appare tuttavia omogeneo. Germania e Regno Unito, i maggiori responsabili delle emissioni complessive dell'UE, sono i paesi che hanno ottenuto i migliori risultati (grazie soprattutto alla sostituzione del carbone con il gas) mentre l'Italia, le cui emissioni presentano un *trend* crescente dal 1990 ad oggi, appare lontana dall'obiettivo di riduzione assunto formalmente.

Per quanto riguarda l'andamento settoriale a livello europeo, si osserva che le emissioni di CO<sub>2</sub> provenienti dal settore di produzione dell'energia mostrano un *trend* decrescente nello scorso decennio (figura 6). Il maggior contributo a tale riduzione viene dalla generazione elettrica ed è dovuto alla sostituzione di carbone e lignite con gas naturale. Al contrario, il settore dei trasporti presenta una netta tendenza alla crescita nelle emissioni di anidride carbonica.



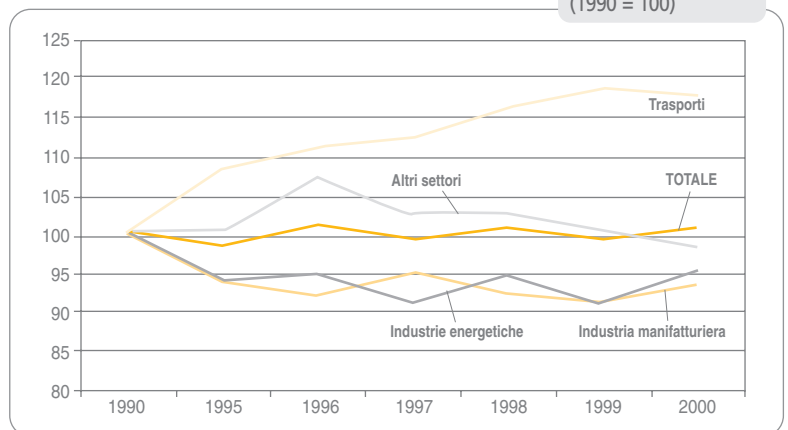
Fonte: ENEA su dati EEA

**Figura 5**

Riduzione delle emissioni di gas serra e target di Kyoto nell'Unione Europea

**Figura 6**

Emissioni di CO<sub>2</sub> per settore in Europa (1990 = 100)



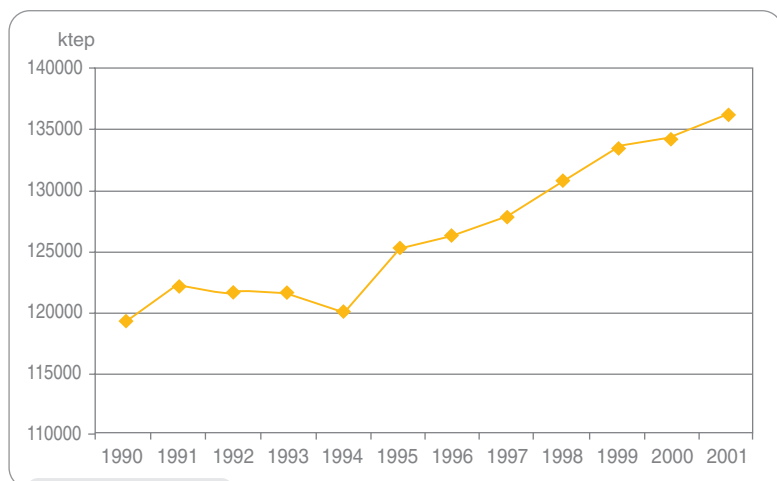
Fonte: REF da dati EEA

## Italia

### Domanda di energia

Il percorso dell'economia italiana durante gli anni 2001 e 2002 ha risentito delle tendenze del quadro macroeconomico internazionale. I settori che hanno fatto registrare una crescita più marcata sono l'industria (1,2% in termini reali) e il settore terziario (2,5%), mentre il settore primario ha fatto registrare, per il secondo anno consecutivo, un calo (-1%).





**Figura 7**  
Consumi finali in Italia

Fonte: ENEA da dati MAP

diminuzione per usi produttivi (-3%). La richiesta totale di energia elettrica si è incrementata del 2,3% rispetto al 2000. L'intensità elettrica ha confermato la tendenza alla crescita registrata negli anni precedenti. Sempre nel 2001, la quota di energia elettrica venduta nel mercato libero è aumentata del 41% rispetto al 2000.

Per quanto riguarda la ripartizione degli usi finali tra i vari settori, il contributo prevalente proviene dai settori industriale, trasporti e residenziale e terziario (figura 9).

### Offerta di energia

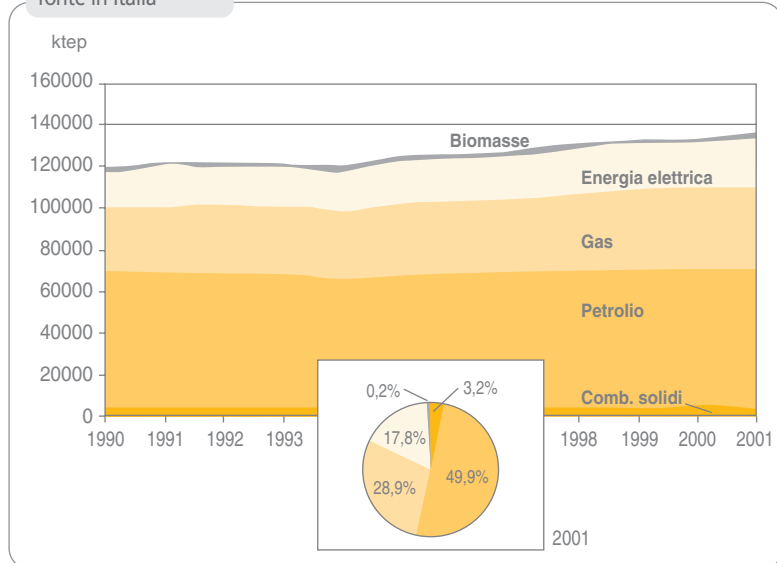
La flessione del prezzo del greggio e l'apprezzamento della divisa comune europea sul dollaro hanno concorso ad alleggerire la consistenza della fattura energetica nazionale. La fattura petrolifera è infatti passata da 18.651 milioni di euro nel 2000 a 16.087 milioni nel 2001. La spesa energetica (spesa complessiva per l'approvvigionamento di energia da altri paesi al netto delle esportazioni) si è fermata al 2,2% del PIL, in leggero calo rispetto al 2000.

La produzione di petrolio si è ridotta dell'11% nel 2000, passando da 4,5 a 4 milioni tonnellate/anno, per i ritardi nello sviluppo produttivo dei giacimenti della Basilicata e le notevoli riduzioni delle produzioni *off-shore*.

Nel settore del gas naturale, si conferma il progressivo declino della produzione nazionale, accentuato nelle aree estrattive in terraferma (-20%) rispetto alla produzione *off-shore* (-4%). D'altra parte, come è stato più volte osservato negli ultimi anni, le prospettive di sviluppo della produzione di gas si confermano assai scarse, non solo a causa delle poche e modeste scoperte di nuovi giacimenti, ma anche a causa degli ostacoli di natura autorizzativa incontrati nel portare in produzione giacimenti già scoperti.

L'Italia importa circa il 99% del totale del proprio fabbisogno di carbone. Le importa-

**Figura 8**  
Consumi finali per fonte in Italia



Fonte: ENEA da dati MAP



zioni totali di combustibili solidi fossili sono aumentate del 3%.

La richiesta di energia elettrica ha toccato nel 2001 il valore di 305,4 miliardi di kWh, con un aumento di circa il 2,3% rispetto all'anno precedente, di poco superiore alla crescita del PIL. Nello stesso anno la produzione lorda di energia elettrica è stata di 279,6 miliardi di kWh, l'1,1% in più del 2000. L'elettricità da produzione termoelettrica convenzionale ha subito nel corso del 2001 significative modifiche nella composizione delle fonti usate, per effetto degli aumenti dei costi degli idrocarburi liquidi e gassosi, e per l'avvenuta "ambientalizzazione" di alcuni impianti a carbone.

Il contributo delle fonti energetiche rinnovabili al bilancio energetico nazionale (figura 10) è cresciuto dai circa 14 Mtep del 1995 ai 17,6 Mtep del 2001, con un aumento del 25% circa nell'intero periodo (+4,1% medio per anno). Nello stesso periodo, l'energia prodotta dalle fonti energetiche rinnovabili non tradizionali (figura 11) è fortemente aumentata, in particolare nella generazione elettrica.

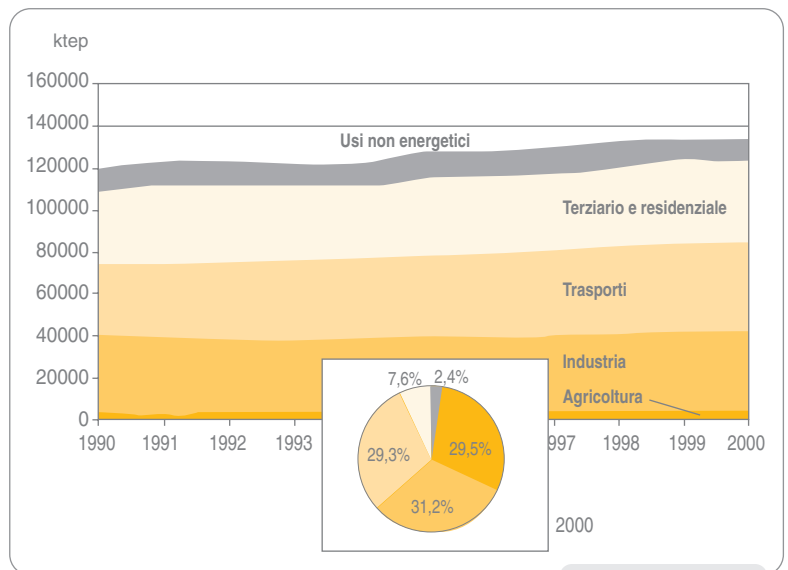
Come è noto l'Italia, più di altre economie europee, presenta un'elevata dipendenza dall'estero per i propri fabbisogni energetici; maggiore, inoltre, è la quota di fabbisogno derivante da prodotti petroliferi e gas naturale (figura 12).

La quota di importazioni nette di petrolio e derivati è scesa sotto il 50%, dal 67% dell'inizio degli anni ottanta. È cresciuta invece la dipendenza dal gas naturale (in 20 anni il fabbisogno è raddoppiato). La sostituzione del petrolio con il gas naturale è essenzialmente un fenomeno da ascrivere sia alla penetrazione del gas nel domestico che alla domanda del settore produttore di energia elettrica.

Complessivamente, nel 2001 il gas naturale utilizzato per la generazione di energia elettrica rappresenta il 45% dei combustibili utilizzati dal settore, contro una quota del 21% dell'inizio degli anni novanta. L'aumento della dipendenza dal gas naturale e l'incremento della dipendenza dalle importazioni di energia elettrica sono poi stati causati anche dai processi di liberalizzazione dei mercati dell'energia in Europa.

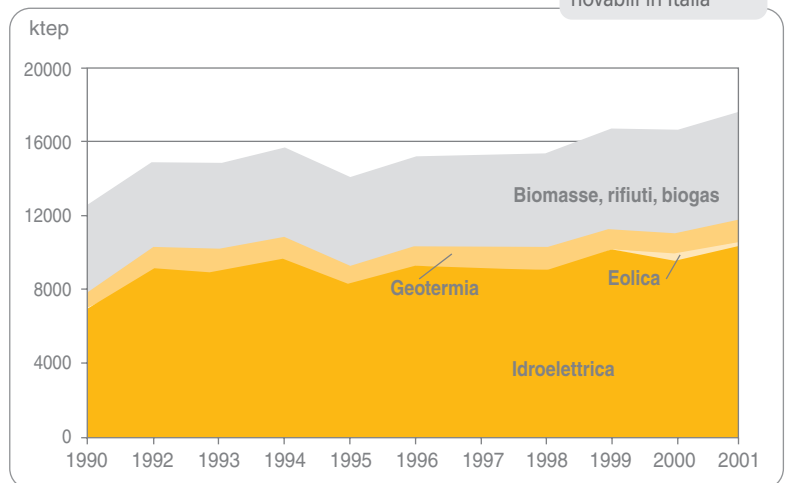
Nel corso dell'ultimo decennio la Libia si conferma principale fornitore dell'Italia per il petrolio greggio; si è poi andato affermando il ruolo della Norvegia, da cui nel 2001 l'Italia ha acquistato circa il 3% del greggio importato.

La domanda italiana di gas naturale si rivolge invece alla Russia, all'Algeria e, in misura minore, all'Olanda. Nel 2001 si è affacciata come nuovo fornitore la Norvegia, il cui ruolo è destinato a crescere con la liberaliz-



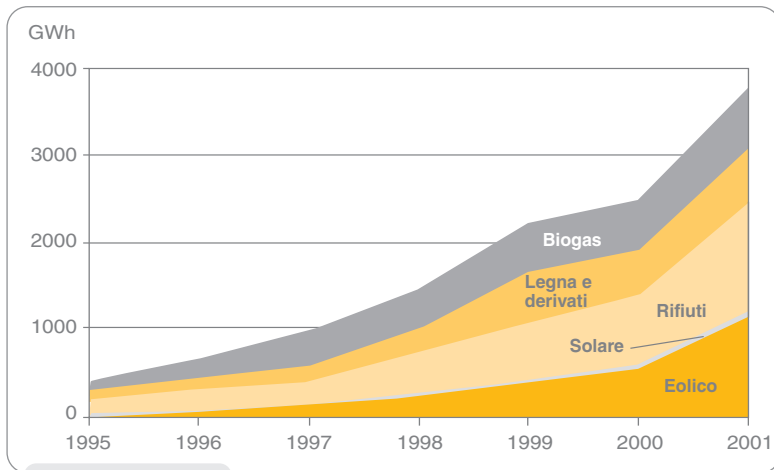
Fonte: ENEA da dati MAP

**Figura 9**  
Consumi finali di energia per settore in Italia



Fonte: ENEA

**Figura 10**  
Energia da fonti rinnovabili in Italia



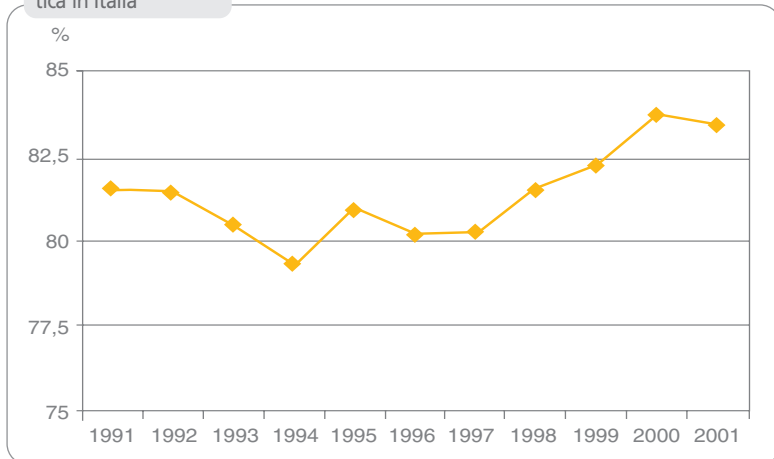
**Figura 11**  
Produzione di energia elettrica da rinnovabili non tradizionali in Italia

Fonte: ENEA da dati ENEL, GRTN

eventi che stanno caratterizzando il nuovo assetto del sistema energetico nazionale e delle sue naturali correlazioni con i sistemi ambientale ed economico.

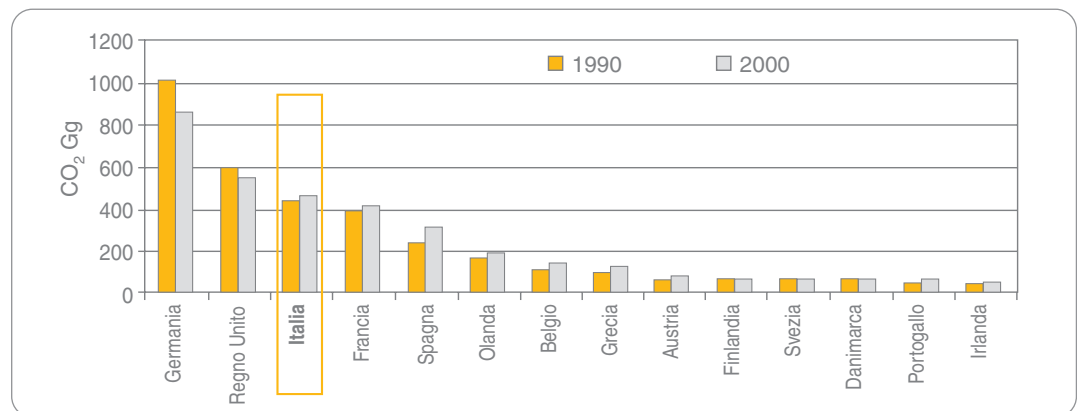
La necessità di trovare un punto di equilibrio tra poteri centrali e locali e di formulare i principi fondamentali cui il legislatore dovrà attenersi è dettata dalla riforma del Titolo V della Costituzione. Questa ha posto le materie energetiche tra quelle a legislazione concorrente tra Stato e Regioni. Allo Stato spetta

**Figura 12**  
Dipendenza energetica in Italia



Fonte: ENEA da dati MAP

**Figura 13**  
Emissioni di CO<sub>2</sub> (Gg) nei paesi dell'Unione Europea



Fonte: EEA

zazione del settore in Europa. Dall'Europa occidentale proviene la gran parte delle importazioni di carbone, mentre per i prodotti di cokeria il principale fornitore italiano, dalla seconda metà degli anni novanta, è la Cina.

La "geografia" delle fonti di approvvigionamento energetico dell'Italia si sta quindi lentamente modificando rispetto al passato decennio per i prodotti che sembrano pesare di più sul fabbisogno energetico nazionale.

### Evoluzione legislativa

I processi di decentramento e di liberalizzazione del mercato dell'energia, sono i due eventi che stanno caratterizzando il nuovo assetto del sistema energetico nazionale e delle sue naturali correlazioni con i sistemi ambientale ed economico. La necessità di trovare un punto di equilibrio tra poteri centrali e locali e di formulare i principi fondamentali cui il legislatore dovrà attenersi è dettata dalla riforma del Titolo V della Costituzione. Questa ha posto le materie energetiche tra quelle a legislazione concorrente tra Stato e Regioni. Allo Stato spetta fissare i principi generali, mentre è compito delle Regioni la definizione delle norme di dettaglio. I principi fondamentali sono volti a garantire la leale collaborazione tra Stato, Regioni ed Enti locali, la sicurezza degli approvvigionamenti, il funzionamento unitario dei mercati dell'energia, l'adeguatezza delle condizioni per l'equilibrio territoriale delle infrastrutture energetiche.

### Ambiente

Nell'Unione Europea il settore della trasformazione di energia è stato responsabile di circa il 37% delle emissioni di CO<sub>2</sub> per l'an-

no 1990 e di circa il 35% per l'anno 2000. Il settore delle industrie manifatturiere è passato dal 21% al 19%, il settore residenziale e commerciale è rimasto stabile al 20%, mentre è stato il settore dei trasporti a mostrare una crescita maggiore, passando dal 22% al 26% del totale. L'Italia è responsabile di circa il 14% delle emissioni di CO<sub>2</sub> del sistema energetico europeo (figura 13).

L'andamento delle emissioni totali di CO<sub>2</sub> del sistema energetico italiano mostra nel 2000 un valore superiore di circa il 6% rispetto al 1990 (figura 14).

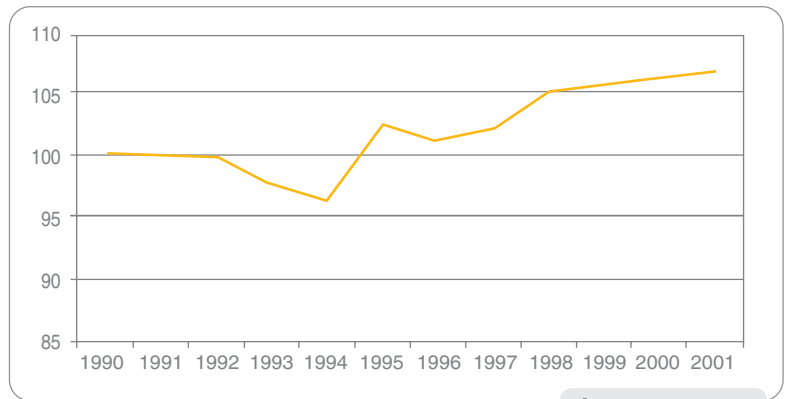
Il settore percentualmente più rilevante è quello della trasformazione energetica, che è responsabile del 35% delle emissioni totali sia per il 1990 sia per il 2000 (figura 15). Il settore trasporti risulta essere responsabile del 25% delle emissioni totali nel 1990 e del 28% nel 2000. Va rilevato che il settore a più alta crescita di emissioni è stato il settore trasporti, che dal 1990 al 2000 ha aumentato il suo contributo del 19,1% (figura 16).

Il contributo del settore dell'industria energetica è aumentato del 6,6%, quello del settore terziario e residenziale dello 0,4%, mentre quello del settore dell'industria manifatturiera è diminuito del 5,5%.

L'Italia ha ratificato il Protocollo di Kyoto con la legge n. 120 del 1° giugno 2002. Il testo della legge prevede che si arrivi alla definizione di un piano di azione per la riduzione dei livelli di emissione dei gas ad effetto serra. Si apre a questo punto un momento di riflessione per trovare gli strumenti più efficienti ed efficaci per ottemperare agli obiettivi di riduzione indicati nel Protocollo.

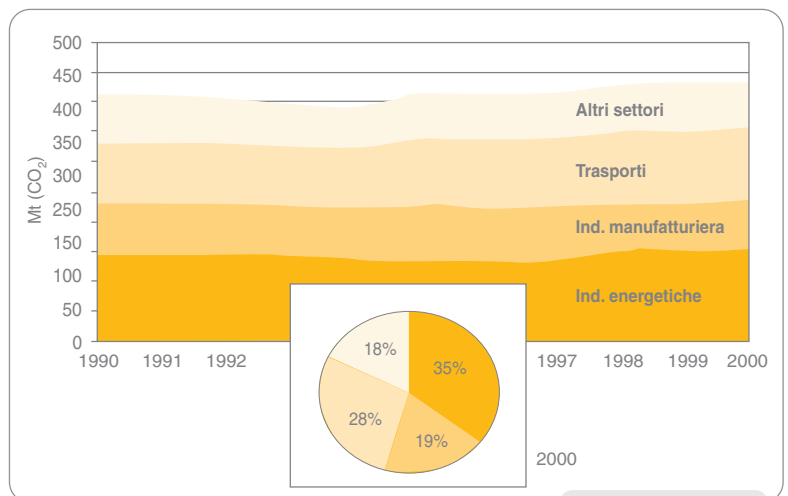
In tal senso la recente delibera CIPE (2 agosto 2002) ha aggiornato le linee guida per le politiche e le misure nazionali di riduzione di gas ad effetto serra. Il nuovo provvedimento, che prende atto del diverso andamento rispetto agli obiettivi di riduzione delle emissioni, dimezza e in qualche caso annulla gli obiettivi settoriali e compensa la differenza rispetto all'obiettivo complessivo nazionale attraverso i cosiddetti "meccanismi di flessibilità". Il ricorso illimitato a questi meccanismi è stato infatti riconosciuto nell'ambito della settima Conferenza delle Parti firmatarie del Protocollo di Kyoto.

Va comunque rilevato che non tutti gli aspetti



Fonte: APAT

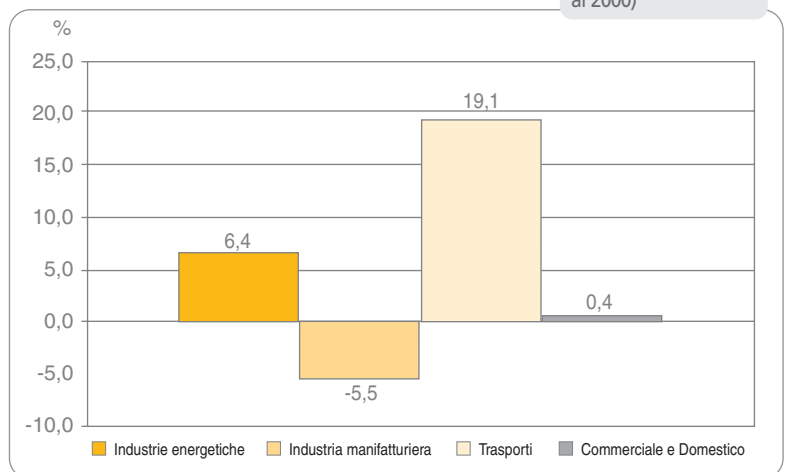
**Figura 14**  
Emissioni di CO<sub>2</sub> in Italia (1990 = 100)



Fonte: EEA

**Figura 15**  
Emissioni di CO<sub>2</sub> in Italia per settore

**Figura 16**  
Variazioni percentuali delle emissioni di CO<sub>2</sub> nei vari settori produttivi in Italia (dal 1990 al 2000)



Fonte: ENEA su dati EEA



**Figura 17**  
Situazione dei Piani Energetico-Ambientali Regionali al 2002

Fonte: elaborazione ENEA

dei meccanismi flessibili sono stati ad oggi completamente definiti. Le implicazioni delle diverse modalità di applicazione degli stessi sono complesse e hanno ripercussioni a livello nazionale, europeo e internazionale.

Il maggior ricorso ai meccanismi di flessibilità non limita però le azioni di riduzione delle emissioni di gas serra da avviare a livello nazionale.

## Regioni

Il "Protocollo d'intesa della Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome per il coordinamento delle politiche finalizzate alla riduzione delle emissioni di gas-serra nell'atmosfera" (noto come Protocollo di Torino), costituisce 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, nell'ambito degli indirizzi nazionali e comunitari.

Il Protocollo si prefigge lo scopo di "pervenire alla riduzione dei gas serra, così contribuendo all'impegno assunto dallo Stato italiano nell'ambito degli obblighi della UE stabiliti dagli accordi internazionali".

A tal fine, nel Protocollo è indicata una serie di impegni diretti ad assicurare lo sviluppo sostenibile. Fra questi vi è l'impegno all'elaborazione dei Piani energetico-ambientali come strumenti quadro flessibili, dove sono previste azioni per lo sviluppo delle fonti rinnovabili, la razionalizzazione della produzione energetica ed elettrica in particolare, la razionalizzazione dei consumi energetici: in sostanza tutte quelle azioni di ottimizzazione delle prestazioni tecniche dal lato dell'offerta e dal lato della domanda.

**Figura 18**  
Consumi energetici procapite al 1999



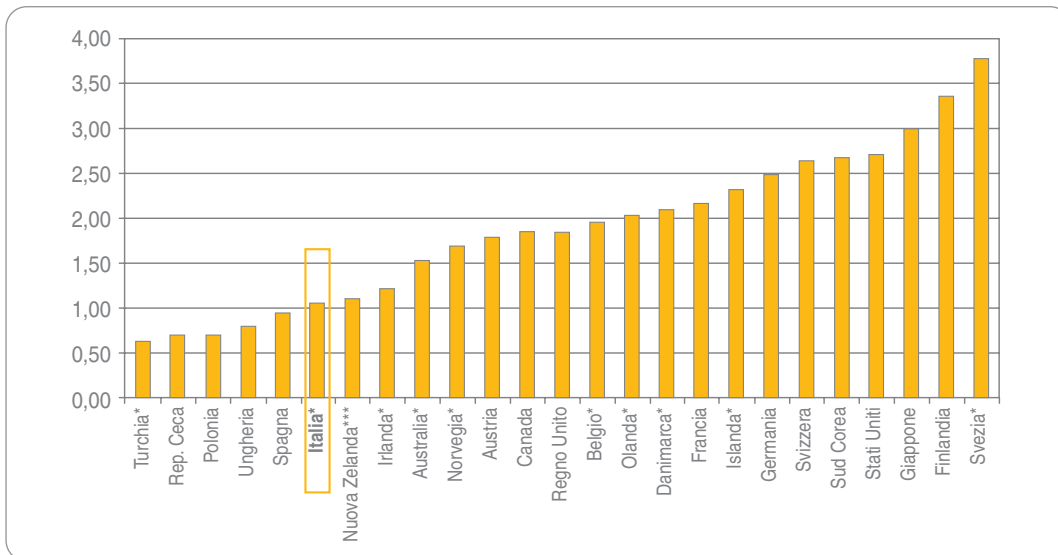
Fonte: elaborazione ENEA

I Piani Energetico-Ambientali Regionali (PEAR), anche se in diverse fasi di attuazione, sono presenti in tutte le Regioni (figure 17 e 18).

Fondamentale appare anche nei Piani il richiamo al ruolo dell'innovazione tecnologica.

## Ricerca tecnologica

Lo sviluppo tecnologico rappresenta infatti una importante opportunità per il Paese nel quadro delle azioni per lo sviluppo sostenibile, oltre che per la sicurezza degli approvvigionamenti. Nel settore energetico quindi, per garantire salvaguardia ambientale, competitività economica e sicurezza di approvvigionamento, gli interventi di politiche e misure e i negoziati per la riduzione delle emissioni devono essere affiancati da un vigoroso sforzo di ricerca e sviluppo (R&S) di nuove tecnologie energetiche, che rimangono il punto focale per fornire risposte di lungo termine ai problemi sul tappeto. In tale prospettiva nessuna opzione energetica può essere trascurata od omessa. Il miglioramento delle prestazioni del sistema elettrico nazionale, lo sviluppo delle fonti rinnovabili e in particolare dei grandi impianti di conversione (solare termodinamico), e più in gene-



**Figura 19**  
Spesa per Ricerca e Sviluppo in percentuale del PIL nei paesi OCSE nel 2000

Fonte: Ispri-CNR da dati OCSE

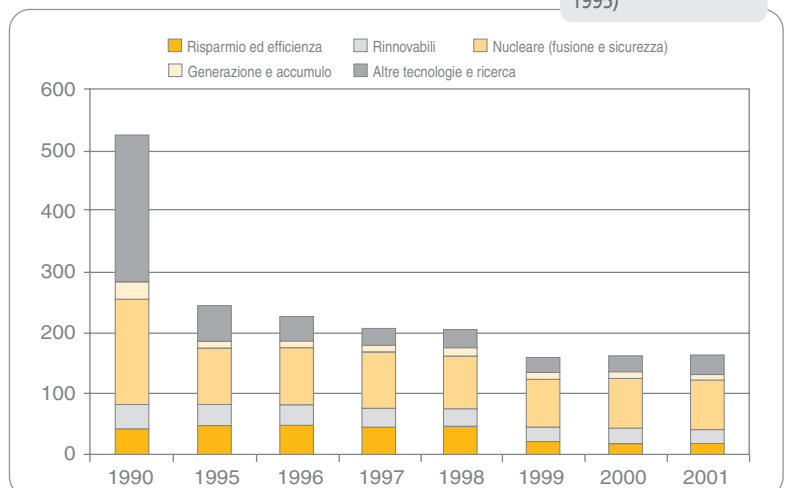
rale il sostegno delle grandi linee di ricerca tecnologica (ad esempio sulle celle a combustibile e sull'idrogeno) rappresentano alcune importanti linee in questo senso. Su queste linee l'ENEA sta focalizzando la propria azione per partecipare alla sfida tecnologica in atto su scala mondiale.

L'Italia, nel confronto delle spese per ricerca e sviluppo in ambito europeo, risulta negli ultimi posti. Con appena l'1% di spesa per R&S sul PIL, l'Italia ha un rapporto pari a poco più di un terzo di quello degli Stati Uniti e del Giappone e ben inferiore alla metà di quelli registrati da altre nazioni direttamente concorrenti sul piano economico-commerciale, quali la Francia e la Germania (figura 19). Coerente con questo quadro è l'andamento delle spese governative per ricerca e sviluppo nel settore energetico, che vede dal 1990 ad oggi una riduzione pari a circa il 70% (figura 20).

La situazione italiana è ancora più grave se si tiene conto che la riduzione degli stanziamenti del periodo 1995-2000 non è corretta dalla Legge finanziaria 2002, in forte contrasto con il trend degli USA (+1,6%/anno), del Giappone (+6,25%/anno) e dell'Unione Europea nel suo insieme; aumenti considerevoli sono stati introdotti anche da paesi come la Spagna (+12,72%/anno) e il Portogallo (+10,85%/anno).

In tale quadro la posizione dell'Italia si contraddistingue, non solo per una perdurante insufficienza nelle risorse destinate alla spesa in ricerca e sviluppo e per una conferma della debole competitività nei settori ad alta tecnologia, ma anche per il delinearci di una divergenza significativa dai positivi percorsi tecnologici che si presentano nell'area dell'euro.

**Figura 20**  
Spese governative di R&S energetica in Italia (milioni di euro lire 1995)



Fonte: ENEA

# Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia

VINCENZO FERRARA

ENEA,

Progetto Speciale Clima Globale

spazio aperto

I cambiamenti climatici in corso avranno probabilmente effetti differenziati nelle varie aree del pianeta. Anche all'interno dell'Europa si prevedono conseguenze divergenti tra nord e sud del Continente. Nel nostro Paese i cambiamenti climatici non tendono tanto a creare nuovi rischi quanto ad accentuare quelli esistenti

## *Climate change* and its impact on Italy

*Ongoing climate changes will probably affect the various parts of the planet in different ways. Even in Europe, their effects are expected to differ considerably between the northern and southern parts of the continent.*

*In Italy, climate changes are tending more to sharpen existing risks than to create new ones*



## Le tendenze climatiche in atto in Italia

L'Italia dispone di un rilevante patrimonio di documentazione storica sulle caratteristiche meteorologiche di molte località italiane. Dati ed informazioni, opportunamente interpretate ed elaborate, hanno permesso di realizzare un quadro dell'evoluzione del clima e valutare i cambiamenti in atto in una prospettiva di lungo periodo. Le serie secolari più lunghe ed affidabili (1865-2000) provengono dalle stazioni UCEA e dai Servizi Idrografici, mentre quelle decennali (1951-2000) rilevate secondo gli "standards" internazionali della World Meteorological Organization sono dell'Aeronautica Militare.

### Variazioni di temperatura in Italia

Le analisi delle serie storiche italiane, che sono circa 40, relative al periodo 1865-1996 indicano che:

- le temperature massime e minime mensili sono aumentate in modo diverso nelle diverse regioni, ma soprattutto fra Italia settentrionale ed Italia centro-meridionale;
- la temperatura massima è aumentata nel periodo di osservazione (1865-2000) di circa 0,6 °C nelle regioni del nord Italia e di 0,8 °C nelle regioni del centro-sud;
- la temperatura minima è aumentata di circa 0,4°C nelle regioni del nord e 0,7° nel centro-sud;
- l'inverno è la stagione nella quale le temperature massime e minime sono aumentate maggiormente in tutte le regioni italiane.
- per le regioni dell'Italia centro-meridionale, a partire dal 1930, si riscontra inoltre una tendenza al progressivo aumento della evapotraspirazione e, di conseguenza, dei processi di aridità, a causa della concomitanza sia dell'incremento delle temperature, sia della progressiva riduzione delle precipitazioni, anche se le informazioni sulle precipitazioni sono da ritenersi meno affidabili nel periodo compreso fra il 1930 ed il 1950.

Il quadro generale degli andamenti delle temperature osservate in Italia mostra caratteristiche analoghe a quelle medie osservate a livello globale, ma con accentuazione dei fenomeni di riscaldamento e dei processi di aridità per le regioni centro-meridionali.

*accentuazione di riscaldamento e aridità per le regioni centro-meridionali*

### Variazioni di precipitazioni in Italia

Le serie storiche italiane più affidabili in questo campo non risalgono al secolo scorso, come nel caso della temperatura, ma sono più recenti e riguardano settantacinque serie di precipitazioni giornaliere relative al periodo dal 1951-1996, dalle quali si evidenzia che in questi ultimi 50 anni circa:

- le precipitazioni totali sono diminuite in tutto il territorio nazionale con maggiori riduzioni nelle regioni centro-meridionali, rispetto a quelle settentrionali;
- il numero complessivo dei giorni di pioggia in tutto il territorio nazionale è diminuito di circa 14% senza significative variazioni fra regioni settentrionali e regioni centro-meridionali;
- a livello stagionale si riscontra, in generale e per tutte le regioni, che la riduzione dei giorni di pioggia è molto più elevata nella stagione invernale rispetto alle altre stagioni;
- a livello stagionale si riscontra, inoltre, una tendenza generale e per tutte le regioni, all'aumento dell'intensità delle precipitazioni e ad una diminuzione della loro durata;
- l'aumento dei fenomeni siccitosi riguarda tutte le regioni italiane, ma la persistenza dei periodi di siccità è diversamente distribuita: nelle regioni settentrionali la persistenza è maggiore in inverno, mentre nelle regioni meridionali la persistenza è maggiore in estate.



Gli andamenti osservati in Italia sono solo parzialmente analoghi con gli andamenti osservati a livello globale. Ciò è dovuto alla particolare climatologia della regione mediterranea e all'evoluzione a più grande scala che sta subendo tale climatologia. Infatti, gli studi in corso mostrano una variazione della frequenza e della persistenza dei cicloni extratropicali sul bacino del Mediterraneo ed una accelerazione della velocità e della intensità del ciclo idrologico complessivo mediterraneo.

### Variazione del livello del mare

Quantunque a livello globale, a partire dal 1900, il livello medio del mare è andato progressivamente aumentando (circa 0,2 mm/anno) con una accentuazione della crescita in questi ultimi anni (circa 0,7 mm/anno), tuttavia il mare Mediterraneo (e quindi anche i mari italiani), presenta comportamenti anomali rispetto agli oceani. Dopo una fase iniziale di innalzamento progressivo del livello, analogo a quello osservato a livello globale, sono apparse anomalie nei tassi di crescita particolarmente evidenti negli ultimi 30 anni, ma soprattutto in questi ultimi 15 anni durante i quali il livello marino è rimasto stazionario o ha mostrato addirittura sintomi di diminuzione. Questo andamento recente, se paragonato con quello della media degli oceani implicherebbe necessariamente la formazione in atto di una sorta di "scalino" che dovrebbe formarsi presso lo stretto di Gibilterra e che gli studi in corso stanno cercando di verificare e spiegare. Attualmente le ipotesi in esame sono le seguenti:

### *variazione in frequenza e persistenza dei cicloni sul bacino del Mediterraneo*

- il livello del mare Mediterraneo non cresce come quello degli oceani a causa delle anomalie nella dinamica dell'atmosfera, che hanno colpito in modo particolare il Mediterraneo: infatti, poiché è variata la frequenza e l'intensità dei cicloni extratropicali e sono aumentate in numero ed intensità le situazioni anticicloniche sul Mediterraneo (alte pressioni), la pressione atmosferica sulla superficie del mare è mediamente più alta, e questo comporterebbe, per un mare chiuso come il Mediterraneo, uno "schiacciamento" non trascurabile verso il basso della superficie marina stessa;
- il livello del mare Mediterraneo non cresce come quello degli oceani a causa delle anomalie del ciclo idrologico complessivo del bacino mediterraneo: infatti, da una parte è aumentata l'evaporazione delle acque mediterranee (a causa della riscaldamento globale) e dall'altra è diminuito l'apporto idrico dei fiumi e delle acque interne (a causa della riduzione delle precipitazioni): tutto ciò porta sia ad una crescita della salinità del Mediterraneo sia ad una diminuzione del livello marino. Gli apporti di acqua atlantica attraverso lo stretto di Gibilterra non riescono a compensare le perdite per evaporazione e minor apporto fluviale, perché la maggior acqua salata presente nel Mediterraneo, e che dal Mediterraneo tende a riversarsi nell'Atlantico (acqua più pesante), impedirebbe all'acqua atlantica meno salata (e più leggera) di penetrare attraverso la sezione, alquanto angusta, dello stretto di Gibilterra nel Mediterraneo a flussi sufficienti per compensare le perdite.

### Risorse idriche

Le stime più recenti (campagne di studio della Conferenza Nazionale delle Acque) valutano che l'apporto complessivo delle piogge sul territorio nazionale è di circa 300 miliardi di metri cubi per anno e si distribuisce in modo disomogeneo fra nord (41%), centro (26%), sud (20%) ed isole (6%). L'evapotraspirazione riduce drasticamente questo apporto tanto che la risorsa netta effettivamente disponibile viene stimata essere di poco superiore ai 50 miliardi di metri cubi per anno, suddivisa in acque sotterranee (per circa 10-25%) e acque superficiali (75-90%). Un quarto circa delle acque superficiali viene raccolta in invasi naturali ed artificiali. Gli utilizzatori delle risorse idriche disponibili sono fonda-

mentalmente le regioni settentrionali (per il 65%), mentre le regioni centrali e meridionali ne hanno a disposizione molto meno (il 35%) Il principale consumatore di acqua in tutte le regioni è il settore agricolo, le cui esigenze vengono soddisfatte al nord utilizzando direttamente le acque superficiali, mentre al sud e nelle isole utilizzando soprattutto gli invasi artificiali. L'uso potabile ai fini civili viene soddisfatto utilizzando prevalentemente acque sotterranee ma al sud acquista importanza fondamentale l'uso delle acque di invasi artificiali. Questo bilancio idrologico, tracciato a grandi linee, sta subendo delle modifiche perché gli apporti complessivi che vengono dalle precipitazioni meteoriche mostrano la tendenza alla diminuzione, che è più accentuata nell'Italia meridionale rispetto al nord Italia, mentre gli utilizzi dell'acqua da parte delle attività umane sono in costante aumento, con una situazione di crescente criticità nelle regioni meridionali e nelle isole. La situazione recente più critica (gennaio 2002) si è verificata in Sardegna, dove la disponibilità d'acqua nei 31 invasi sardi era appena sufficiente per i soli usi potabili.

### Variazione qualità dei suoli e rischio desertificazione

Le analisi complessive sui suoli della regione mediterranea mostrano che molte delle aree più meridionali dell'Europa e gran parte di quelle del nord Africa sono, già da tempo, soggette ad una crescente pressione antropica sulle risorse naturali, alla quale si aggiungono ora anche i cambiamenti del clima: tutto ciò sta determinando una riduzione della produttività biologica ed agricola e ad una progressiva perdita di biodiversità degli ecosistemi naturali. In Italia, il fenomeno è particolarmente evidente nelle regioni meridionali ed insulari, dove l'aridità dei suoli è aumentata a partire dal 1900, ma soprattutto in questi ultimi decenni, sia in termini di estensione delle aree interessate, sia in termini di intensità. Le aree aride, semi-aride e sub-umide secche, che si trasformano poi in aree degradate, interessano attualmente il 47% della Sicilia, il 31,2% della Sardegna, il 60% della Puglia, ed il 54% della Basilicata. Tuttavia, al degrado del suolo hanno contribuito anche le modalità di uso del suolo ed i cambiamenti di uso del suolo, come ad esempio politiche a sostegno dell'agricoltura non sempre adatte alle specificità territoriali, l'impiego irriguo di risorse idriche non sempre idonee, il disboscamento e la crescita degli incendi boschivi, la concentrazione dell'urbanizzazione nelle aree costiere. Fattori derivanti da cambiamento del clima e fattori di origine antropica hanno complessivamente innescato alcuni processi che sono stati identificati come principale causa del degrado del suolo italiano, e di rischio di desertificazione nell'Italia meridionale, e che sono: l'erosione, la salinizzazione, la perdita di sostanza organica e l'impermeabilizzazione.

*crescente  
criticità nelle  
regioni  
meridionali e  
nelle isole  
negli utilizzi  
delle acque*

### Gli scenari futuri per l'Europa ed il Mediterraneo

Le valutazioni degli scenari di cambiamento climatico e di conseguenze dei cambiamenti climatici in Europa, ed in particolare nell'area mediterranea, non sono, allo stato attuale delle conoscenze, abbastanza dettagliate da renderle sicuramente affidabili, essendo affette da errori che dipendono sia dai modelli e dalle metodologie utilizzate, sia dagli scenari di evoluzione dello sviluppo socio economico e delle emissioni antropiche di gas di serra. Tenendo conto delle incertezze, vengono di seguito riportate le tendenze future più probabili in relazione alla sensibilità dei sistemi ambientali e socioeconomici europei ed alle capacità di adattamento di tali sistemi alle variazioni climatiche.

L'Europa ed in particolare l'area mediterranea sia a causa della complessità del sistemi ambientali, umani, sociali ed infrastrutturali, sia a causa della peculiarità delle caratteristiche degli ecosistemi naturali e del patrimonio storico, artistico e culturale, possiede già at-

tualmente una vulnerabilità accentuata verso gli eventi estremi non solo di tipo meteorologico (alluvioni, inondazioni, siccità ecc.), ma anche di tipo naturale (terremoti, stabilità geologica ed idrogeologica ecc.). I futuri cambiamenti climatici prevedibili modificheranno tale vulnerabilità e porteranno conseguenze che, rispetto alla situazione attuale, in alcuni casi si aggraveranno, in altri si attenueranno.

I problemi prioritari che dovranno affrontare i paesi dell'Europa meridionale, ed in particolare i Paesi del Mediterraneo, sono così sintetizzabili:

- a) gli eventi meteorologici ed idrologici estremi ed in particolare la differenza fra abbondanza e scarsità d'acqua fra nord e sud Europa e, per l'Italia, fra nord e sud Italia. Questo problema non è semplicemente una questione di bilancio idrologico, ma ha profonde implicazioni sull'agricoltura, la produzione industriale, l'urbanizzazione, il turismo, la salute e non ultimo il settore assicurativo;
- b) lo spostamento verso nord di tutti i sistemi ecologici ed ambientali naturali che potrebbe portare a profonde modifiche, anche del paesaggio, in tutta Europa con effetti positivi nel nord Europa ed effetti negativi nel sud Europa ed in Italia, soprattutto nei settori dell'agricoltura, del turismo e tempo libero, nel settore residenziale;
- c) le ripercussioni secondarie connesse con le conseguenze dei cambiamenti climatici, quali la perdita della biodiversità e i rischi di desertificazione che interesserebbero soprattutto il sud Europa e l'area mediterranea. Ripercussioni secondarie non trascurabili si avrebbero anche nel campo economico a causa delle modifiche delle opportunità di sviluppo per i vari paesi europei, ma anche fra le varie regioni italiane, soprattutto per quanto riguarda le iniziative economiche, l'occupazione e la distribuzione della ricchezza, opportunità che, a loro volta, coinvolgerebbero anche problemi di equità fra le popolazioni europee.

Per quanto riguarda i possibili cambiamenti, la situazione che si prospetterebbe viene qui di seguito sintetizzata in dettaglio in relazione ai vari fattori climatici ed ai principali impatti prevedibili.

### Temperatura

La temperatura media annuale tenderà a crescere ad un ritmo compreso fra 0,1° e 0,4°C per decennio e tale crescita risulterà più marcata sull'Europa nord orientale (in particolare la penisola scandinava e la Russia occidentale) e sul Mediterraneo (in particolare Spagna, Italia e Grecia), ma meno marcata nell'Europa nord occidentale (in particolare: Isole Britanniche e Francia). A livello stagionale, invece, il riscaldamento invernale sarà più accentuato lungo una direzione ovest-est che va dall'Europa centrale a quella orientale (dalla Francia alla Russia), mentre il riscaldamento estivo sarà più marcato lungo una direzione nord sud che va dalla Scandinavia all'Italia. Inoltre tenderà a diminuire sia la lunghezza della stagione invernale, sia la frequenza degli estremi di freddo in inverno. Viceversa, tenderà ad aumentare sia la lunghezza della stagione estiva, sia la frequenza degli estremi di caldo in estate.

### Precipitazioni

L'andamento generale previsto per le precipitazioni annue future mostra:

- un aumento delle precipitazioni ad un ritmo compreso fra 1 e 2% per decennio per quanto riguarda il nord Europa;
- una diminuzione delle precipitazioni ad un ritmo pari a circa 1% per decennio per quanto riguarda il sud Europa ed in particolare l'area mediterranea;
- un carattere ambiguo per quanto riguarda il centro Europa ed in particolare l'area compresa fra Francia ed Ungheria.

*vulnerabilità  
accentuata  
verso gli  
eventi estremi  
sia  
meteorologici  
che naturali*

L'andamento stagionale delle precipitazioni mostra una differenziazione ancor più marcata nelle varie regioni europee. In particolare:

- la maggior parte dell'Europa diventerà più piovosa in inverno (ad eccezione dei Balcani e della Turchia che viceversa diventano più secchi) e più secca in estate (ad eccezione della Scandinavia che viceversa diventa più piovosa);
- in inverno la maggiore piovosità si concentrerà soprattutto lungo le zone prospicienti l'asse centrale europeo che va da ovest ad est (dalla Francia alla Russia);
- in estate invece si manifesterà un forte gradiente lungo un asse nord-sud (dalla Scandinavia all'Italia) con forte aumento della siccità nell'area mediterranea (diminuzione delle piogge estive del 5% per decennio), e con un discreto aumento delle precipitazioni nel nord Europa (aumento delle piogge del 2% per decennio).

### Eventi estremi

La previsione della intensità e della frequenza futura degli eventi meteorologici estremi è molto difficile ed i risultati vanno considerati come indicativi. È quindi molto probabile che aumenti sia la frequenza che l'intensità di molti fenomeni estremi ed in particolare:

- delle onde di calore in estate su tutta l'Europa;
- delle precipitazioni estreme (alluvioni) su tutta l'Europa e soprattutto d'inverno;
- della mancanza prolungata di precipitazioni (siccità) sull'Europa meridionale e soprattutto d'estate.

Il probabile aumento della frequenza e della intensità degli eventi meteorologici estremi porterà ad un aumento dei danni economici e sociali sulle strutture e infrastrutture residenziali e produttive, la cui entità dipende sia dalla vulnerabilità delle singole strutture e infrastrutture, sia dalla vulnerabilità ambientale e territoriale complessivamente esistente. La crescita di eventi estremi potrebbe incidere anche direttamente sulle attività produttive modificando le opportunità di alcuni mercati e la domanda di alcuni prodotti.

*aumento  
dei danni  
economici e  
sociali sulle  
strutture e  
infrastrutture*

### Risorse idriche

La attuale, ed ancor più la futura, pressione antropica sulle risorse idriche ed in particolare sul loro uso e sulla loro gestione, tenderà a diventare più acuta con i cambiamenti climatici. I rischi da alluvioni e da inondazioni tenderanno ad aumentare ed aumenteranno anche i rischi di disponibilità di adeguate risorse idriche, in particolare sul sud Europa e nell'area mediterranea. I cambiamenti climatici tenderanno ad aumentare le differenze tra nord e sud Europa (eccesso di acqua nel nord Europa, mancanza d'acqua nel sud Europa).

### La qualità dei suoli

La qualità dei suoli tenderà a deteriorarsi in tutta l'Europa. In particolare, nel nord Europa il deterioramento potrà essere provocato principalmente dal maggior dilavamento dei suoli ad opera della crescita delle precipitazioni e dei maggiori rischi di alluvione, mentre nel sud Europa, al contrario, il deterioramento potrà essere provocato dalla degrado dei suoli da erosione e perdita di nutrienti a causa dalla diminuzione delle precipitazioni e dai maggiori rischi di siccità. Il degrado a sua volta accrescerà il rischio di desertificazione.

### Ecosistemi

L'aumento della temperatura media e la crescita delle concentrazioni di anidride carbonica in atmosfera sono in grado di cambiare gli equilibri degli ecosistemi naturali con modifiche anche nel paesaggio. Pertanto, la vegetazione e gli ecosistemi naturali più tipici dell'area mediterranea tenderanno a spostarsi verso il centro Europa, così come le foreste di

conifere e quelle tipiche boreali delle medie latitudini potrebbero prendere il posto della tundra presente attualmente alle più alte latitudini dell'Europa. Nell'area mediterranea, invece, tenderanno sia ad aumentare gli incendi boschivi, sia a crescere i rischi di perdita degli ecosistemi e della biodiversità attuale. Le conseguenze si ripercuoteranno anche sulla fauna e soprattutto su quella migratoria. Si valuta che complessivamente la produttività primaria tenderà a crescere (maggiore presenza di biomassa), ma, salvo una fase transiente (espansione verso nord delle foreste), non cresceranno le riserve complessive di carbonio ("carbon sinks and carbon stocks").

### Agricoltura

L'aumento di anidride carbonica in atmosfera tenderà ad aumentare la produttività agricola soprattutto nel nord e nel centro Europa. Nel sud Europa, invece, la riduzione della disponibilità d'acqua e l'aumento della temperatura tenderanno a portare a un effetto opposto. Complessivamente, l'Europa non subirebbe modifiche significative nella produttività agricola totale, ma solo una diversa distribuzione. Infatti, il nord Europa, con i cambiamenti climatici riceverebbe degli effetti positivi, mentre il sud Europa, al contrario, degli effetti negativi che tenderebbero complessivamente a bilanciarsi.

### Foreste

La risposta delle foreste ai cambiamenti climatici presenterà due tendenze opposte, una di diminuzione del patrimonio forestale causata dalla riduzione della disponibilità idrica nelle aree del sud Europa e del Mediterraneo, e l'altra di espansione della flora arborea e di allungamento del periodo vegetativo nel nord Europa, dove ci saranno più favorevoli condizioni di temperatura ed umidità dei suoli, oltre alla maggiore disponibilità di anidride carbonica per la fotosintesi. In area mediterranea e in particolare nel sud Italia, e gran parte della Spagna, Grecia e Turchia, l'aumento previsto dell'aridità renderà le foreste più vulnerabili ai fattori di disturbo biotici (attacchi batterici, parassitari ecc.) ed abiotici (siccità, incendi ecc.) riducendone la resistenza e soprattutto compromettendone la resilienza. Ciò comporterà, in tali aree, anche una perdita di habitat e quindi di biodiversità.

### Benessere umano

L'aumento della temperatura tenderà a modificare anche l'uso del tempo libero della popolazione ed in particolare tenderà a stimolare maggiori attività turistiche e ricreative all'aria aperta nel nord Europa ed a ridurle, invece, nel sud Europa. Nell'area mediterranea in particolare, le più frequenti ondate di calore e di siccità, insieme alla minore disponibilità di acqua potrebbero modificare le attuali abitudini turistiche concentrate soprattutto in estate, così come il minor innevamento e la progressiva ritirata dei ghiacciai potrebbe modificare e ridurre l'abituale turismo invernale alpino.

### Ambiente marino-costiero

L'aumento del livello del mare comporterà maggiori rischi per le zone costiere europee del Mediterraneo. In particolare, si valuta che i maggiori problemi siano nella perdita di zone umide alla foce dei fiumi, nell'invasione di acqua salata nelle falde costiere di acqua dolce, con conseguenze sull'agricoltura e sulla disponibilità di acqua dolce, e infine, nella maggiore e più rapida erosione delle spiagge basse e delle spiagge ottenute con opere di difesa idraulica delle coste o di zone bonificate. Nell'Europa settentrionale, le zone costiere più esposte a rischio di inondazione sarebbero quelle del mar Baltico ed in particolare della Polonia.

*maggiori  
rischi per le  
zone costiere  
europee del  
Mediterraneo*

## Problemi di maggiore criticità per l'Italia

Gli scenari futuri di cambiamento climatico per l'Europa ed il Mediterraneo, sopra descritti, contengono le indicazioni sui possibili impatti che riguardano anche l'Italia nel contesto dell'area mediterranea e del sud Europa. Tuttavia, sono da evidenziare alcuni problemi critici che si porranno in Italia a seguito dei prevedibili cambiamenti climatici, problemi che riguardano soprattutto le conseguenze sull'ambiente marino costiero in relazione all'innalzamento del livello del mare, le conseguenze sul suolo, sugli ecosistemi e l'agricoltura in relazione alle variazioni di temperatura, precipitazioni e umidità e gli eventuali potenziali rischi aggiuntivi in relazione all'acutizzarsi di eventi estremi.

### Innalzamento del livello del mare

All'innalzamento del livello del mare contribuiscono diverse cause, ma l'espansione termica degli oceani sarà la fondamentale causa di innalzamento del livello marino globale. Tuttavia, a livello regionale l'innalzamento del livello del mare sarà diverso a seconda delle diverse regioni del globo. Nel Mediterraneo tale innalzamento dovrebbe essere contenuto, secondo IPCC, tra i 18 cm ed i 30 cm al 2090, senza ovviamente considerare i fattori di subsidenza naturale che sono diversi per le diverse zone costiere italiane.

Assumendo come riferimento le valutazioni IPCC e senza tener conto dei movimenti verticali del suolo a cui è soggetto per sua natura geologica il territorio italiano, risulterebbero a rischio inondazione (secondo uno studio della NASA-GISS) circa 4500 chilometri quadrati di aree costiere e pianure distribuite nel modo seguente:

- 25,4% nel nord dell'Italia (soprattutto alto Adriatico);
- 5,4% nell'Italia centrale (soprattutto medio Adriatico ed alcune zone del medio Tirreno);
- 62,6% nell'Italia meridionale (soprattutto Golfo di Manfredonia e zone del Golfo di Taranto);
- 6,6% in Sardegna (soprattutto zone della parte occidentale e meridionale).

Anche se l'area mediterranea per il momento non appare tra le più critiche per problemi di popolazioni a rischio di inondazione, è comunque fra quelle mondiali a più alta vulnerabilità in termini di perdita di zone umide ed in particolare degli ecosistemi e della biodiversità marino-costiera. Inoltre, l'invasione marina delle aree costiere basse e delle paludi costiere, accompagnata dalle minori capacità di ripascimento delle spiagge da parte dei detriti solidi dai fiumi (fiumi con portate medie più ridotte a causa della riduzione delle precipitazioni), accelera l'erosione delle coste, aumenta la salinità negli estuari e nei delta a causa dell'ingresso del cuneo salino, produce una maggiore infiltrazione di acqua salata negli acquiferi della fascia litorale. Le coste basse sarebbero in ogni caso maggiormente esposte alle inondazioni in caso di eventi meteorologici estremi accompagnati da forti mareggiate, che, tra l'altro, impediscono il deflusso dei fiumi nel mare, causando maggiori probabilità di straripamenti e di alluvioni.

Va osservato, comunque, che i maggiori rischi valutati per l'Italia sono in realtà rischi aggiuntivi di quelli già esistenti a causa della attuale pressione antropica e dell'uso dei territori costieri. Infatti, almeno per quanto riguarda l'Italia, i cambiamenti climatici non tendono a creare nuovi rischi, ma tendono ad accentuare ed amplificare (con effetti talvolta non prevedibili) i rischi già esistenti derivanti dalla urbanizzazione, la produzione industriale, la pesca, il turismo, i trasporti marittimi ecc.

Secondo uno studio dell'ENEA sono a possibile rischio di inondazione e/o erosione costiera non solo l'area veneziana e tutta la costa dell'alto Adriatico compresa grosso modo tra Monfalcone e Rimini, ma anche altre aree costiere quali quelle alla foce dei fiumi (Magra, Arno, Ombrone, Tevere, Volturno, Sele), quelle a carattere lagunare (Orbetello, laghi costieri

*in Italia i cambiamenti climatici tendono ad accentuare e amplificare i rischi già esistenti*



di Lesina e Varano, stagno di Cagliari), coste particolarmente basse o già soggette ad erosione (costa prospiciente Piombino, tratti della costa Pontina e del Tavoliere delle Puglie ecc.). L'entità del rischio non è, comunque, lo stesso per tutte le coste sopra menzionate, ma è maggiore là dove esistono già problemi di subsidenza e problemi di erosione e di instabilità dei litorali, problemi che riguardano soprattutto l'alto Adriatico e l'alto Tirreno.

### Suolo e agricoltura

Nell'Italia meridionale, già attualmente afflitta da scarsità di acqua e da problemi di degrado dei suoli a causa di molteplici fattori derivanti dalle attività antropiche e dall'uso del territorio, i cambiamenti climatici prevedibili indurranno ulteriori fattori di rischio inclusi i rischi di desertificazione, per i quali sono in corso opportuni studi nell'ambito dell'Annesso IV della Convenzione per la lotta contro la desertificazione.

La possibilità di ulteriore degrado a causa dei cambiamenti climatici è legata alla concomitanza di due fattori che gli attuali scenari di cambiamento climatico non stimano con certezza ma indicano come probabili, e cioè: la diminuzione delle precipitazioni totali annue al di sotto della soglia di circa 600 mm/anno che con temperature medie crescenti implica un rischio permanente di aridificazione; la estensione dei periodi di siccità per periodi prolungati di molti mesi, soprattutto se questo periodo coincide con il semestre caldo (evapotraspirazione molto alta e aridificazione acuta). Anche se irrigati, i suoli possono ugualmente degradare se le attività umane sul territorio (ed in primo luogo l'agricoltura) sono tali da indurre cambiamenti insostenibili nei terreni, ridurre la biodiversità e rendere non permanente qualsiasi tipo di equilibrio ecosistemico. Nell'Italia settentrionale, dove invece, gli equilibri idrologici potrebbero essere cambiati per la maggiore disponibilità d'acqua; il problema del degrado è legato alle condizioni di maggior ruscellamento (o "run-off") a cui sono sottoposti i suoli, ma soprattutto i pendii e le zone collinari.

Secondo le più recenti stime condotte da ENEA, l'incremento di temperatura media prevista da IPCC alle nostre latitudini potrà influenzare sia la vegetazione naturale che le coltivazioni. In particolare, ci si aspetta che in Italia meridionale, si potrebbe avere un effetto particolarmente negativo sui sistemi locali, poiché sia vegetazione che terreni si trovano già in un regime di disponibilità idrica marginale. Le regioni italiane settentrionali potrebbero avere invece maggiori problemi di franosità e di erosione da "run-off", ma meno problemi sulla vegetazione complessiva. Ciò nonostante, terreni bassi nella zona del delta del Po potrebbero essere colpiti in maniera significativa da fenomeni di innalzamento del livello del mare e di intrusioni di acque salmastre. In ogni caso, i previsti aumenti di temperatura e di variazione delle precipitazioni e gli effetti sul ciclo idrologico richiederanno cambiamenti di gestione in molte regioni.

### Eventi estremi

Le tendenze previste da IPCC a livello globale avranno ripercussioni anche a livello nazionale. In particolare è possibile che aumenti la frequenza, ma soprattutto la intensità di fenomeni estremi quali siccità, alluvioni ed di altri fenomeni meteorologici particolarmente violenti (come le trombe d'aria, le burrasche, i groppi ecc.). Tuttavia alcuni di questi fenomeni estremi, quali le alluvioni, interesseranno maggiormente l'Italia settentrionale, mentre altri, quali la siccità, soprattutto il meridione d'Italia.

La recrudescenza soprattutto dell'intensità dei fenomeni estremi porterà come conseguenza ad una variazione, probabilmente significativa, degli esistenti rischi di catastrofi naturali e della vulnerabilità del territorio nazionale, la cui valutazione di dettaglio è attualmente soggetta ad attente analisi da parte dell'ENEA.

*gli effetti  
sul ciclo  
idrologico  
richiederanno  
cambiamenti  
di gestione in  
molte regioni*



# L'approccio ecosistemico: una proposta innovativa per la gestione della biodiversità e del territorio

**LAURA PADOVANI\***  
**PAOLA CARRABBA\***  
**FRANCESCO MAURO\*\***

**ENEA,**  
\*UTS Biotecnologie,  
Protezione della Salute e degli  
Ecosistemi  
\*\*Senior Board

Una strategia per la gestione integrata della terra, dell'acqua e delle risorse viventi che promuove la conservazione e l'uso sostenibile in modo giusto ed equo. Tale concetto, approvato a livello internazionale, consta di 12 principi generali e di 5 operativi illustrati nell'articolo

studi & ricerche

## *The ecosystemic approach*

An innovative proposal  
for managing biodiversity  
and land use

### **Abstract**

*A strategy for integrated management of land, water and bio-resources that promotes conservation and sustainable use in a fair and proper way. The concept was approved at the Fifth Conference of the Parties to the Biological Diversity Convention, held in Nairobi in May of 2000. It consists of twelve general principles plus five operating principles to be used in applying the general ones at the local level. The article outlines the principles, explains their meaning and describes cases that illustrate their potential applications.*

Nel corso della 5<sup>a</sup> Conferenza delle Parti (COP 5) della Convenzione sulla Diversità Biologica, che si è tenuta a Nairobi (Kenya) nel maggio del 2000, è stata approvata la definizione su base scientifica di un concetto che influirà largamente sul modo di impostare la gestione delle risorse viventi, dell'ambiente e del territorio: "l'approccio ecosistemico".

Il concetto e i principi dell'approccio ecosistemico sono stati discussi fin dalle prime riunioni dell'Organo Tecnico della Convenzione sulla Diversità Biologica (SBSTTA 1995 e 1996). Nella terza riunione della Conferenza delle Parti alla Convenzione (COP3 – Buenos Aires, 1996), le Parti hanno convenuto sull'importanza di un approccio regionale ed ecosistemico per lo sviluppo di linee guida e indicatori per la conservazione e l'uso sostenibile della diversità biologica.

Nel 1998 a Lilongwe (Malawi), sotto gli auspici del Segretariato della Convenzione sulla Diversità Biologica, si è tenuto un workshop volto a identificare i principi in grado di rendere il più possibile operativo l'approccio ecosistemico. La quarta Conferenza delle Parti (Bratislava, 1998) ha riconosciuto la necessità di un'ulteriore elaborazione del concetto, che ha portato all'organizzazione, nel 1999 a Trondheim (Norvegia), di una Conferenza sull'approccio ecosistemico per l'uso sostenibile della diversità biologica.

La Conferenza di Trondheim ha considerato l'approccio ecosistemico come un meccanismo per garantire un utilizzo sostenibile delle risorse biologiche nel rispetto degli obiettivi della Convenzione sulla Diversità Biologica, fornendo un contributo alla comprensione e all'applicabilità dei principi individuati a Lilongwe.

L'approccio ecosistemico, così come definito dal documento di lavoro della COP 5 (UNEP/CBD/COP/5/23, 103-109), è "una strategia per la gestione integrata della terra, dell'acqua e delle risorse viventi che promuove la conservazione e l'uso sostenibile in modo giusto ed equo". Questa definizione contiene un riferimento esplicito non solo alla conservazione ma anche all'uti-

lizzo delle risorse (non solo viventi), con un accenno alla giustizia e alla equità sociale. Questo riferimento non è un mero esercizio di stile, in quanto una delle caratteristiche principali dell'approccio ecosistemico è il coinvolgimento diretto e sostanziale dei portatori d'interesse locali (*stakeholders*) nella gestione del territorio, che è vista come un processo integrato non solo dal punto di vista ambientale (terra, acqua, atmosfera, risorse viventi) ma anche da quello sociale.

Una confusione molto comune tra le persone che sentono parlare dell'approccio ecosistemico è che questo sia un approccio agli ecosistemi, ovvero un modo di gestire vari tipi di ecosistema come, ad esempio, foreste, savane e zone umide.

L'approccio ecosistemico rappresenta, invece, un modo di pensare ed agire in maniera ecologica, su base scientifica, integrando le informazioni biologiche, sociali ed economiche per raggiungere un equilibrio socialmente e scientificamente accettabile tra le priorità della conservazione della natura, l'uso delle risorse e la suddivisione dei benefici. In particolare questo approccio tenta di rimuovere le barriere tra l'economia umana, le aspirazioni sociali e l'ambiente naturale, ponendo fermamente l'uomo all'interno dei modelli ecosistemici.

L'approccio ecosistemico si basa sull'applicazione di appropriate metodologie scientifiche focalizzate sui livelli di organizzazione biologica che comprendono le strutture essenziali, i processi, le funzioni e le interazioni tra gli organismi e il loro ambiente. Esse riconoscono che le popolazioni umane, con le loro diversità culturali, sono parte integrante di molti ecosistemi.

Quest'ultimo concetto, estrapolato a livello italiano, fornisce una spiegazione delle differenze esistenti tra i paesaggi costruiti dall'uomo, rendendo conto, ad esempio, della diversità dei paesaggi agrari e forestali italiani del nord, sud ed isole. Queste diversità sono tanto più evidenti quanto maggiore è la differenza tra usi e costumi delle popolazioni locali. Il concetto di diversità non sottende alcun tipo di giudizio sul livello di cul-

tura raggiunto, ma si lega agli aspetti più qualitativi della cultura.

## I principi dell'approccio ecosistemico

L'approccio ecosistemico consta di 12 principi, sotto riportati, che devono essere considerati complementari e interrelati tra loro. I principi dell'approccio ecosistemico, così come enunciati e descritti, possono avere un senso relativo e di non immediata comprensione. Di seguito si tenta di proporre casi esplicativi che aiutino a comprenderne le potenziali applicazioni.

1. "Gli obiettivi della gestione del territorio, dell'acqua e delle risorse viventi sono materia di scelta da parte della società". *Differenti settori della società si rapportano agli ecosistemi a seconda delle rispettive necessità economiche, culturali e sociali. I popoli indigeni e le comunità locali che vivono sul territorio sono importanti portatori di interessi (stakeholders) e i loro diritti e interessi devono essere riconosciuti. Sia la diversità culturale che quella biologica sono componenti centrali dell'approccio ecosistemico, e la gestione deve tenerne conto. Le scelte da parte della società devono essere espresse il più chiaramente possibile. Gli ecosistemi dovrebbero essere gestiti in modo giusto ed equo per il loro valore intrinseco e per i benefici tangibili o intangibili che procurano all'uomo.*  
 APPLICAZIONE: la conservazione della natura in Italia ha subito una svolta con l'entrata in vigore della legge 6 dicembre 1991, n. 394 (legge quadro sulle aree protette), che ha segnato l'inizio dell'affermazione del principio che la gestione delle aree protette non può prescindere dal coinvolgimento delle realtà politiche, produttive e sociali locali. Tali forme di partecipazione prendono corpo mediante l'istituzione di una Comunità del parco, che rappresenta l'organo consultivo e propositivo dell'Ente parco, e che promuove iniziative di sviluppo economico e sociale ecocompatibili,

per le collettività residenti all'interno del parco e nei territori adiacenti.

2. "La gestione dovrebbe essere decentralizzata al livello appropriato più basso". *I sistemi decentralizzati possono condurre a maggiore efficienza, efficacia ed equità. La gestione dovrebbe coinvolgere tutti i portatori di interesse e bilanciare gli interessi locali con i più ampi interessi pubblici. Maggiore vicinanza vi è tra il livello di gestione e l'ecosistema, maggiore risulterà la responsabilità, la proprietà e l'utilizzazione delle conoscenze locali.*  
 APPLICAZIONE: un buon esempio relativo al secondo principio dell'approccio ecosistemico è dato dal Communal Areas Management Program for Indigenous Resources (CAMPFIRE) in Zimbabwe, che promuove il coinvolgimento delle comunità rurali in azioni di conservazione della diversità biologica per lo sviluppo locale, fornendo loro un'alternativa all'uso distruttivo del territorio mediante la rivalutazione in termini economici della fauna selvatica locale. La comunità rurale, tramite il Programma CAMPFIRE, ha chiesto al Government's Wildlife Department l'autorità legale per gestire direttamente le risorse animali e vegetali naturali della zona, dietro dimostrazione della capacità di saperle gestire in maniera conservativa. L'utilizzo che le popolazioni locali fanno di queste risorse varia dalla vendita delle concessioni fotografiche o di safari ai *tour operator* (nel rispetto delle leggi e delle quote stabilite di comune accordo con il Wildlife Department), alla caccia e all'allevamento diretto delle popolazioni animali; mentre altri usi sono allo studio per quanto riguarda altre risorse naturali, quali, ad esempio, i prodotti forestali. I proventi di queste attività ricadono, generalmente, direttamente sulle popolazioni locali, che in alcuni casi hanno deciso di reinvestirli in altri progetti di sviluppo locale.
3. "Coloro che gestiscono l'ecosistema dovrebbero considerare gli effetti (attuali o potenziali) delle loro attività su ecosiste-

mi adiacenti e su altri ecosistemi".  
*Interventi di gestione negli ecosistemi spesso hanno effetti sconosciuti o imprevedibili su altri ecosistemi; perciò, possibili impatti necessitano di attenta considerazione e analisi. Questo può richiedere nuovi piani o forme di organizzazione per le istituzioni coinvolte nelle decisioni, al fine di giungere, se necessario, agli appropriati compromessi.*

APPLICAZIONE: un esempio negativo legato agli effetti generati sugli ecosistemi da interventi modificativi dell'ambiente è dato dal ben noto caso della costruzione della diga di Assuan (Egitto), che ha modificato profondamente il clima di una vasta area ed ha alterato negativamente le condizioni ambientali favorevoli all'agricoltura, intrappolando una buona metà del limo all'interno del bacino, riducendo la fertilità delle terre a valle della diga e delle acque del delta, alterando le naturali condizioni dell'ecosistema fluviale e lo stile di vita di una grande quantità di persone. Un effetto secondario della costruzione della diga di Assuan è stato favorire l'ingresso nel Mediterraneo, attraverso il Canale di Suez, di specie marine tropicali provenienti dal Mar Rosso. Prima della costruzione della diga, infatti, il Nilo immetteva in mare grandi quantità di acqua dolce, che impedivano l'ingresso nel Mediterraneo alle specie marine del Mar Rosso, abituate ad acque a salinità maggiore.

4. "Riconoscendo i potenziali benefici derivanti dalla gestione, esiste in generale la necessità di comprendere e gestire l'ecosistema in un contesto economico. Ogni programma di gestione degli ecosistemi dovrebbe quindi:
  - a) ridurre quelle distorsioni di mercato che hanno effetti negativi sulla diversità biologica;
  - b) stabilire piani di incentivi per promuovere la conservazione e l'uso sostenibile della diversità biologica;
  - c) internalizzare il più possibile i costi e i benefici dell'ecosistema".

*Il più grande pericolo per la diversità biologica consiste nel venire eliminata a seguito dell'introduzione di sistemi alternativi di uso del suolo. Questo spesso accade attraverso le distorsioni del mercato che sottovalutano i sistemi naturali e le popolazioni e forniscono incentivi iniqui e sussidi in favore della conversione del territorio in sistemi meno diversi. Spesso coloro che traggono benefici dalla conservazione non pagano i costi associati alla conservazione e, similmente, coloro che generano costi ambientali (ad es. inquinamento) rifuggono dalla loro responsabilità. La messa a disposizione di incentivi permette a coloro che controllano la risorsa di beneficiarne e assicura che coloro che generano i costi ambientali paghino.*

APPLICAZIONE: il Sesto programma di azione per l'ambiente dell'Unione Europea fissa gli obiettivi e le priorità ambientali che faranno parte integrante della strategia della Comunità Europea per lo sviluppo sostenibile e la politica ambientale. In questo contesto un approccio innovativo e il cercare nuovi modi di collaborare con un ampio spaccato della società è considerato un approccio strategico per conseguire gli obiettivi ambientali. È inoltre considerata importante l'integrazione delle tematiche ambientali nelle altre politiche, al fine di rendere le iniziative di conservazione ed uso sostenibile il più possibile efficaci. La collaborazione con il mercato attraverso le imprese e gli interessi dei consumatori contribuirà a creare modelli di produzione e consumo più sostenibili, penalizzando le imprese inadempienti e introducendo regimi che permettano di premiare i migliori; di informare i consumatori perché possano scegliere i prodotti più ecologici orientando così il mercato in una certa direzione; di sopprimere i sussidi pubblici a favore di pratiche nocive per l'ambiente; di incoraggiare le imprese ad innovare, magari cogliendo le opportunità offerte dall'uso, dallo sviluppo e dalla diffusione di tecnologie pulite.

5. "La conservazione della struttura e del funzionamento dell'ecosistema, al fine di mantenere inalterati i servizi ambientali forniti, dovrebbe essere un obiettivo prioritario dell'approccio ecosistemico". *Il funzionamento e la resilienza dell'ecosistema dipendono dalla relazione dinamica all'interno delle specie, tra le specie, e tra le specie e il loro ambiente abiotico, così come dalle interazioni fisiche e chimiche all'interno dell'ambiente. La conservazione e, ove appropriato, il ripristino di queste interazioni e processi, è di significato maggiore per il mantenimento a lungo termine della diversità biologica che la semplice protezione delle specie.*

APPLICAZIONE: un buon esempio di questo principio è fornito dalle Everglades, in Florida (USA). Il particolare paesaggio americano, formato da un vasto sistema estuario a praterie costiere e mangrovie, si basa sul delicato equilibrio tra il flusso d'acqua dolce portato dal fiume Kissimmee e l'acqua salata del Golfo del Messico. Le Everglades fungono da *nursery* per una serie di specie di crostacei e pesci che sostengono l'industria della pesca locale. Il sistema è attualmente in pericolo per l'eccessivo prelievo d'acqua a scopi potabili, irrigui e industriali, per l'inquinamento di provenienza agricola, per la presenza di specie non autoctone che competono con le specie autoctone, per la crescita dell'urbanizzazione. La gestione della risorsa acqua è un fattore critico per la sopravvivenza delle Everglades, perché queste possano continuare a svolgere la loro importante funzione ecologica, lo US Army Corp of Engineers dirige lo Everglades Protection and Expansion Act del 1989, che prevede la modifica delle attuali modalità di gestione dell'acqua dolce per ripristinare in parte il naturale ciclo stagionale dell'area.

6. "Gli ecosistemi devono essere gestiti nei limiti del loro funzionamento". *Considerando la probabilità o la facilità di raggiungimento degli obiettivi di gestione,*

*attenzione deve essere posta alle condizioni ambientali che limitano la produttività naturale, la struttura, il funzionamento e la diversità dell'ecosistema. I limiti al funzionamento degli ecosistemi possono essere influenzati in grado differente da condizioni temporanee, non prevedibili o mantenute artificialmente e, in accordo con ciò, la gestione dovrebbe essere appropriatamente cautelativa.*

APPLICAZIONE: le tecniche tradizionali di coltivazione contemplano la pratica del *set aside* e della rotazione (turnazione) delle colture. Queste pratiche consentono di mantenere un certo livello di produzione senza compromettere in modo drastico le risorse del terreno, ed hanno permesso, in paesi come il nostro, di conservare la fertilità del terreno per millenni. A latitudini e in condizioni socio-economiche diverse, la tecnica dello *slash and burning* (taglia e brucia), attuata sia per acquisire nuovi terreni all'agricoltura che per questioni energetiche, ha provocato danni irreversibili ad ecosistemi con bassa resilienza, in cui le componenti chimico-fisiche e biologiche degli ecosistemi richiedono tempi di recupero particolarmente lunghi, ed a volte l'alterazione degli ecosistemi di partenza si è dimostrato irreversibile. Una gestione del territorio di questo tipo è alla base dei fenomeni di desertificazione di un consistente numero di aree con problemi di sottosviluppo.

7. "L'approccio ecosistemico dovrebbe essere intrapreso su scala spaziale e temporale appropriata". *L'approccio dovrebbe essere limitato alle scale spaziali e temporali appropriate agli obiettivi. I limiti per la gestione saranno definiti in modo operativo dai fruitori, dai gestori, dai ricercatori e dalle comunità indigene e locali. La connettività tra aree dovrebbe essere promossa lì dove necessario. L'approccio ecosistemico è basato sulla natura gerarchica della diversità biologica caratterizzata dall'interazione e integrazione di geni, specie ed ecosistemi.*



APPLICAZIONE: la diversità biologica nelle sue diverse componenti può essere conservata ed utilizzata in modo sostenibile solo se considerata come parte integrante degli ecosistemi, e se si tengono in considerazione le sue interazioni con l'uomo. Alle nostre latitudini, dove la frammentazione dell'ambiente risulta essere una delle caratteristiche salienti del territorio, il livello più idoneo di applicazione dei principi dell'approccio ecosistemico è il paesaggio. Il paesaggio, inteso anche nella sua componente culturale, rappresenta il più alto livello di organizzazione della diversità biologica, con proprietà sintetiche e descrittive in grado di evidenziare le condizioni di salute/degrado e le interazioni reciproche degli elementi che ne fanno parte.

8. "Riconoscendo il variare delle scale temporali e gli effetti ritardati che caratterizzano i processi ecosistemici, gli obiettivi per la gestione degli ecosistemi dovrebbero essere messi a punto su scala temporale di lungo termine".

*I processi ecosistemici sono caratterizzati dalla variazione lungo una scala temporale e dall'effetto di trascinarsi. Ciò entra in conflitto con la tendenza umana a favore di guadagni a breve termine e benefici immediati piuttosto che futuri.*

APPLICAZIONE: il problema della scala temporale di applicazione dell'approccio ecosistemico è particolarmente critico. Politici, produttori, comunità, donatori, autorità nazionali e locali operano spesso su scale temporali completamente differenti. Nei *workshop* organizzati nell'ambito del progetto An Ecosystem Approach under the CBD, from concept to action (2000), i casi studio presentati hanno dimostrato che i progetti cercano di andare incontro alle necessità e alle aspettative di differenti *stakeholders* coniugando obiettivi a medio-lungo termine con azioni concrete a breve termine. Sebbene i partecipanti ai *workshop* convenissero sul fatto che l'approccio ecosistemico necessiti di

obiettivi a lungo termine, le comunità locali coinvolte nei progetti sono molto sensibili ai benefici immediati. Le necessità della vita quotidiana sono infatti immediate; un futuro sostenibile può essere irrilevante per chi rischia di non avere un futuro. La necessità di mettere a punto obiettivi a breve termine risponde non solo alle necessità degli utilizzatori dell'ambiente, ma può anche venire incontro ai problemi legati alla conservazione di specie o ecosistemi in condizioni critiche. Un modo per stemperare la scarsa efficacia di progetti a breve termine a favore di azioni a medio-lungo termine più significative ai fini dell'approccio ecosistemico, potrebbe essere: a) far cominciare le parti del progetto autosostenendosi dal punto di vista economico a medio-lungo termine dopo una parte iniziale finanziata *ad hoc*; b) l'integrazione di progetti pilota di breve-medio termine in programmi di tipo permanente; c) l'accettazione e la diffusione delle idee tra i partecipanti locali; d) una realistica strategia di fine progetto che preveda la continuazione delle attività cominciate con il progetto.

9. "La gestione deve riconoscere che il cambiamento è inevitabile".

*Gli ecosistemi cambiano, inclusa la composizione in specie e l'abbondanza delle popolazioni. Dunque, la gestione dovrebbe adattarsi al cambiamento. A parte la loro dinamica inerente al cambiamento, gli ecosistemi sono assediati da un complesso di incertezze e potenziali "sorprese" provenienti dall'ambito umano, biologico ed ambientale. I regimi tradizionali di disturbo possono essere importanti per la struttura e il funzionamento dell'ecosistema, e può essere necessario mantenerli o ripristinarli. L'approccio ecosistemico deve utilizzare una gestione adattativa al fine di anticipare e provvedere a quei cambiamenti ed eventi, e dovrebbe porre attenzione nel prendere qualsiasi decisione che possa precludere delle opzioni ma, allo stesso tempo, dovrebbe considerare*

*le azioni di mitigazione per far fronte ai cambiamenti a lungo termine come, ad esempio, i cambiamenti climatici.*

APPLICAZIONE: l'attività principale che è alla base del mantenimento di una parte dei paesaggi di montagna nel nostro Paese è l'agricoltura. La sua funzione produttiva tradizionale è la garanzia della qualità dell'ambiente ed è l'elemento chiave per la manutenzione e lo sviluppo di molte altre attività in aree montane. Le politiche nazionali ed europee, sempre più volte alla liberalizzazione dei mercati, hanno avuto come conseguenza la riduzione dei prezzi e l'ampliamento delle aziende agricole, tendenze queste che penalizzano un'economia come quella montana, gravata dall'esistenza di svantaggi naturali permanenti (orografici, climatici, di isolamento) che sono all'origine dei maggiori costi di produzione, da una produttività del lavoro più bassa, da una limitazione della dimensione delle aziende agricole. Le difficoltà economiche generate da queste tendenze sono particolarmente gravi da un punto di vista ambientale, a causa dell'importante ruolo giocato dall'agricoltura per gli equilibri ecologici. La fuga delle forze lavoro verso le città e il conseguente abbandono delle attività tradizionali, che rappresentavano un valido strumento di gestione territoriale, causa squilibri ambientali difficilmente recuperabili in tempi brevi, come l'omogeneizzazione dell'ambiente, la modifica del paesaggio, le difficoltà organizzative per la popolazione che rimane (isolamento, mancanza di servizi ed infrastrutture, perdita di cultura ecc.). Per invertire questa tendenza, che rischia di compromettere la qualità ambientale di vaste aree montane, sarebbe necessario mettere a punto nuove strategie (come quelle in discussione nel quadro dell'Anno Internazionale della Montagna) che coniughino la conservazione dell'ambiente con nuove prospettive di reddito legate all'uso sostenibile delle componenti della diversità biologica nelle aree

montane. Un esempio potrebbe essere quello di promuovere forme di "remunerazione" a fronte di "produzione ecocompatibile" o "conservazione" di tipologie ambientali. Queste remunerazioni potrebbero essere legate alla conservazione di "funzioni di protezione" o di "fruizione" dell'ambiente montano, visto come generatore di beni ambientali (acqua ed aria di buona qualità, protezione dal dissesto idrogeologico) o come fornitore di beni ambientali (turismo montano).

10. "L'approccio ecosistemico deve ricercare il giusto equilibrio e l'integrazione con la conservazione e l'uso della diversità biologica".

*La diversità biologica è critica sia per il suo valore intrinseco che per il ruolo chiave giocato nel procurare gli ecosistemi e gli altri servizi dai quali in ultima analisi tutti noi dipendiamo. C'è stata nel passato la tendenza a gestire le componenti della diversità biologica come protetti o non-protetti. Si è manifestata la necessità di indirizzarsi verso situazioni più flessibili dove conservazione ed uso sono visti in modo contestuale e l'intera gamma di misure viene applicata in un continuum da ecosistemi strettamente protetti ad altri costruiti dall'uomo.*

APPLICAZIONE: l'approccio alla conservazione della natura è stato storicamente inteso come conservazione di singole specie o aree di particolare interesse. Questo approccio non teneva conto delle relazioni imprescindibili esistenti tra le componenti di un ecosistema, e del fatto, quindi, che la conservazione di un singolo elemento (ad esempio, una specie) è destinato a fallire con l'alterarsi delle situazioni di contorno che ne permettono la sopravvivenza. Il Servizio Conservazione della Natura del Ministero dell'Ambiente, nell'elaborazione della Programmazione dei fondi strutturali 2000-2006 (delibera CIPE 22 dicembre 1998), ha steso un rapporto interinale che rappresenta il documento di base



per l'adozione della "Rete Ecologica Nazionale", uno specifico programma nazionale di interventi di tutela attiva e di sviluppo ecocompatibile delle risorse naturali italiane. Il rapporto recita: "...La rete ecologica si configura come una infrastruttura naturale e ambientale che persegue il fine di interrelazionare e di connettere ambiti territoriali dotati di una maggiore presenza di naturalità, ove migliore ... è il grado di integrazione delle comunità locali con i processi naturali, recuperando e ricucendo tutti quegli ambienti relitti e dispersi nel territorio che hanno mantenuto viva una seppure residua struttura originaria, ambiti la cui permanenza è condizione necessaria per il sostegno complessivo di una diffusa e diversificata qualità naturale nel nostro paese. Particolarmente, in queste aree, si pone l'esigenza di coniugare gli obiettivi della tutela e della conservazione con quelli dello sviluppo, compatibile e duraturo, integrando le tematiche economiche e sociali dei territori interessati dalle aree protette con la politica complessiva di conservazione e valorizzazione delle risorse ambientali". Questo approccio è sicuramente innovativo e corrisponde all'enunciato del presente principio.

11. "L'approccio ecosistemico dovrebbe considerare tutte le forme di informazione rilevanti, incluse le conoscenze scientifiche, le innovazioni e le pratiche indigene e locali".

*L'informazione da tutte le fonti è critica per pervenire ad effettive strategie di gestione di un ecosistema. È desiderabile una migliore conoscenza del funzionamento degli ecosistemi e dell'impatto dell'utilizzo umano. Tutte le informazioni rilevanti da ogni area considerata dovrebbero essere condivise con tutti i portatori di interesse e gli attori, tenendo conto, tra le altre cose, di ogni decisione presa sotto gli auspici dell'art. 8(j) della Convenzione sulla Diversità Biologica. Le ipotesi che sono alla base di specifiche proposte di*

*gestione dovrebbero essere avanzate in maniera esplicita e verificate alla luce delle conoscenze disponibili e del punto di vista dei portatori di interessi.*

APPLICAZIONE: la convivenza spesso millenaria dell'uomo con ambienti difficili o dalle caratteristiche molto marcate ha fatto in modo che si sviluppassero tecniche tradizionali di gestione del territorio particolarmente adatte alla conservazione delle caratteristiche peculiari dell'ambiente e allo sfruttamento razionale e non distruttivo delle risorse messe a disposizione dell'ecosistema. Il recupero e la conservazione di queste tecniche può rappresentare un'ottima opportunità di sviluppo di aree oggi svantaggiate da un punto di vista economico. Un buon esempio è dato dal recupero a scopi turistici dell'area delle gravine in Basilicata e Puglia, dove la riscoperta e il riutilizzo delle tecniche tradizionali di raccolta e distribuzione dell'acqua permette la razionalizzazione di una risorsa indispensabile per promuovere il turismo.

12. "L'approccio ecosistemico dovrebbe coinvolgere tutti i settori rilevanti della società e delle discipline scientifiche".

*Molti problemi inerenti la gestione della diversità biologica sono complessi, con molte interazioni, effetti collaterali ed implicazioni, e quindi dovrebbero coinvolgere le necessarie competenze e i portatori di interessi a livello locale, nazionale, regionale e internazionale, secondo quanto appropriato.*

APPLICAZIONE: tornando al sistema delle Everglades in Florida, il tentativo di ripristino delle condizioni ambientali dell'ecosistema è passato anche attraverso la costituzione di una South Florida Ecosystem Restoration Task Force. La Task Force, formata da ingegneri, scienziati, antropologi e manager di tredici diverse agenzie federali, sei agenzie di Stato e due governi tribali, coordina le proprie attività con il pubblico e con la Commissione Unica stabilita dal Gover-

natore della Florida, al fine di coniugare le necessità del ripristino ambientale con un'economia sostenibile e una buona qualità della vita. Esperienze analoghe potrebbero essere sviluppate nei territori del Bacino del Mediterraneo ove sono presenti comunità locali che hanno preservato forti tradizioni.

## Principi operativi per l'applicazione dell'approccio ecosistemico

Oltre ai dodici principi dell'approccio ecosistemico, il documento di lavoro della COP 5 propone cinque principi operativi da utilizzare nell'applicazione a livello locale dei principi generali sopra enunciati.

1. "Concentrare l'attenzione sulle relazioni funzionali e sui processi interni agli ecosistemi".  
*La diversità biologica funzionale fornisce beni e servizi di importanza economica e sociale e controlla le riserve e i flussi di energia, i cicli dell'acqua e dei nutrienti all'interno degli ecosistemi. È quindi richiesta una sempre maggiore conoscenza dei ruoli delle componenti della diversità biologica, per:*
  - a) *comprendere la resilienza ecosistemica e gli effetti della perdita di diversità biologica e della frammentazione degli habitat;*
  - b) *individuare le cause di perdita della diversità biologica;*
  - c) *individuare i fattori determinanti della diversità biologica locale nelle decisioni di gestione.*
2. "Accrescere la condivisione dei benefici".  
*I benefici che derivano dalla diversità biologica a livello di ecosistema forniscono le basi della sostenibilità. L'approccio ecosistemico cerca di far sì che i benefici derivati da queste funzioni siano mantenuti o ripristinati. In particolare, di queste funzioni dovrebbero beneficiare i detentori di interessi responsabili della loro produzione e*
3. "Utilizzare pratiche di gestione adattativa".  
*Il livello di indeterminazione dei processi e delle funzioni degli ecosistemi è aumentato dalle interazioni con la struttura sociale. È necessario quindi adattare le metodologie e le pratiche di gestione tenendo conto di queste interazioni. I programmi di gestione dovrebbero adattarsi agli imprevisti, piuttosto che basarsi soltanto su ciò che è già noto. La gestione degli ecosistemi ha bisogno di riconoscere la diversità dei fattori sociali e culturali che interessano l'uso delle risorse naturali. Similmente, vi è la necessità di flessibilità nelle decisioni politiche e nei processi di implementazione. La gestione degli ecosistemi dovrebbe essere considerata come un esperimento a lungo termine che basa i propri progressi sui propri risultati.*
4. "Portare avanti azioni di gestione alla scala appropriata, decentralizzando al livello appropriato più basso".  
*Spesso l'approccio implica la decentralizzazione a livello delle comunità locali. Il passaggio di competenze richiede che i detentori di interesse abbiano l'opportunità di assumersi le responsabilità e la capacità di portare avanti azioni appropriate. È inoltre necessario che siano supportati da una politica e da quadri legislativi appropriati. Dove necessario, istituzioni appropriate dovrebbero essere coinvolte nelle decisioni per la risoluzione dei conflitti.*
5. "Assicurare la cooperazione intersettoriale".  
*L'approccio ecosistemico dovrebbe essere tenuto in considerazione nello sviluppare e*

*riconsiderare le strategie nazionali e i piani d'azione per la diversità biologica. L'approccio ecosistemico dovrebbe inoltre essere integrato nell'agricoltura, nella pesca, in campo forestale e in altri sistemi produttivi che hanno un effetto sulla diversità biologica. La gestione delle risorse naturali richiede infatti un aumento della comunicazione e cooperazione intersettoriale.*

## Conclusioni

Da quanto detto, si evince come l'approccio ecosistemico richieda che la gestione si accordi con la natura complessa e dinamica degli ecosistemi, nonché con la mancanza di conoscenze complete e di una completa comprensione del loro funzionamento. I processi ecosistemici sono spesso non-lineari e i loro risultati si manifestano spesso dopo un intervallo di tempo. La gestione deve quindi essere di tipo adattativo per poter rispondere agli elementi di incertezza, e contenere elementi di "imparare facendo" o di analisi a *feedback*. Ciò è necessario in quanto nella gestione pratica di un territorio si può rendere necessario prendere delle misure senza che le relazioni causa-effetto siano pienamente riconosciute a livello scientifico. L'approccio ecosistemico non preclude altri tipi di approccio gestionale o di conservazione, come ad esempio leggi nazionali e leggi-quadro già in vigore, vincoli e programmi di conservazione di singole specie, ma integra tutti questi approcci per adattarsi a situazioni complesse, ed anzi introduce elementi di conservazione e gestione sostenibile soprattutto lì dove il territorio è già sottoposto ad un utilizzo con maggior o minore impatto (agricolo, industriale, insediativo). Non esiste un solo modo di applicare l'approccio ecosistemico, che rappresenta più una filosofia di intervento e gestione che un insieme di regole da seguire secondo uno schema preciso. Questo perché a tutti i livelli, ma soprattutto a quello locale, la gestione

del territorio è influenzata da una miriade di deleghe legislative e di interessi pubblici e privati che non possono essere ignorati.

L'applicazione dei principi dell'approccio ecosistemico deve quindi essere valutato e tarato di volta in volta a seconda delle condizioni locali e a contorno, cercando il più possibile di conservare lo spirito generale dell'approccio.

L'individuazione di una metodologia di azione a livello locale che si basi su indicazioni generali individuate a livello internazionale, così come è stato per l'approccio ecosistemico, risponde ad uno dei principali assunti dello sviluppo sostenibile: "Pensare globalmente, agire localmente".

## Bibliografia

- NICOLAI C., PADOVANI L. & CARRABBA P., 1998. *Territorio e Biodiversità: L'Approccio Ecosistemico*. Pangea 11:13-16.
- BATIARGAL Z., BRIDGEWATER P., DI CASTRI F., HAMMER M.B., HENNE G., KABWAZA M.P., MALTBY E., MARTIN R.B., MAURO F., PRINS H.H.T., RUGGIERO M., SCHEI P.J., SEYANI J.H., VOGEL J., VOKHIWA Z.M., 1998. *Report of the Workshop on the Ecosystem Approach, Lilongwe*. Convention on Biological Diversity (UNEP/CBD/COP/4/Inf.9).
- MALTBY E., HOLDGATE M., ACREMAN M., WEIR A., 1998. *Ecosystem Management: Questions for science and policy*. RHIER. London.
- AA.VV., 1999. *Report of the Scientific Workshop on 'The Ecosystem Approach - What does it mean for European Ecosystems'*. German Federal Agency for Nature Conservation. Bonn, Germany.
- SCHEI P.J., SANDLUND O.T. & STRAND R. (eds.), 1999. *Norway/UN Conference on Norway/UN Conference on the Ecosystem Approach For Sustainable Use of Biological Diversity*. Norwegian Directorate for Nature Management (DN) and Norwegian Institute for Nature Research. Trondheim, 6-10 September 1999.
- UNEP, 2000. *Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its fifth Meeting*. Nairobi, 2000. UNEP/CBD/COP/5/23, pp. 103-109.
- SMITH R.D. & MALTBY E. (eds), 2001. *Using the Ecosystem Approach to implement the CBD*. Royal Holloway, University of London. London.
- CAMPFIRE - *Communal Areas Management Programme for Indigenous Resources*. Zimbabwe. <http://campfire-zimbabwe.org/index.html>.
- Convenzione sulla Diversità Biologica (UNEP-CBD). <http://www.biodiv.org/>.
- Everglades National Park - <http://www.nps.gov/ever/welcome2.htm>.

# Veicoli a idrogeno: stato attuale e prospettive di sviluppo

M. CONTE, F. DI MARIO,  
A. IACOBAZZI, R. INFUSINO  
A. MATTUCCI, M. RONCHETTI  
R. VELLONE  
ENEA,  
Grande Progetto Idrogeno  
e Celle a Combustibile

Le tecnologie disponibili, i principali risultati ottenuti e le iniziative previste nell'ambito dei programmi pubblici e privati internazionali e nazionali. I vantaggi ambientali e le barriere che ostacolano la loro introduzione nel mercato. L'importanza di una presenza italiana significativa

## Hydrogen-powered vehicles:

### State of the art and development prospects

#### Abstract

*This paper describes the state of the art and the development prospects of technologies for the use of hydrogen in road transportation. After outlining the reasons - essentially environmental - for developing innovative vehicles, the authors analyse the issues involved in the use of hydrogen, its advantages over other technologies, the barriers that hydrogen-powered vehicles must overcome to gain market acceptance, the main results obtained, expected future projects under public and private programmes, and so on. The paper then examines the situation in Italy with an overview of current programmes and their prospects in terms of industrial technology development and market penetration, and outlines measures that should be taken very soon to strengthen Italy's presence in this field and in the wider sphere of the development of hydrogen as an energy carrier.*

Lo sviluppo della società attuale è legato strettamente al settore dei trasporti ed in particolare al modo stradale. Accanto a questa indiscutibile valenza positiva si verificano però effetti di carattere marcatamente opposto, che impongono con urgenza l'adozione di nuove soluzioni e modelli di riferimento per garantire che la crescita tumultuosa del settore non arrechi danni irreversibili e inaccettabili al mondo moderno. Si parla evidentemente degli effetti dovuti all'inquinamento atmosferico; ai disturbi causati dall'inquinamento acustico; alla congestione; agli incidenti e così via fino alle possibili mutazioni climatiche legate all'effetto serra e al progressivo depauperamento delle risorse energetiche non rinnovabili. Tali esternalità negative provocano un innegabile peggioramento della qualità della vita dei cittadini e dello stato dell'ambiente ed impongono alla collettività alti costi di ripristino. Spesso tali costi vengono sottovalutati in quanto sono suddivisi tra molteplici soggetti, per cui i cittadini non riescono ad acquisire una piena coscienza dell'impatto complessivo, come sarebbe se il costo venisse a gravare su un unico individuo. Un ulteriore problema è originato dai differenti contesti territoriali sui quali i trasporti vanno ad incidere, che richiedono un alto grado di sinergia tra i diversi soggetti preposti alle azioni di contenimento e recupero.

**Tabella 1**  
Impatti delle esternalità dei trasporti ai vari livelli territoriali<sup>1</sup>

Impatti	Scala	Inquinamento atmosferico	Incidenti	Rumore
Salute, qualità della vita	Locale	X	X	X
Piogge acide	Regionale	X		
Smog fotochimico	Regionale	X		
Effetto serra indiretto	Globale	X		
Effetto serra diretto	Globale	X		
Riduzione ozono stratosferico	Globale	X		

**Tabella 2**  
Consumi finali di energia anno 1999 (Mtep)

		Carbone	Greggio	Prodotti petroliferi	Gas	Combustibili rinnovabili	Altri	Totale
Consumo mondiale	Totale	552,45	16,4	2869,6	1077,9	956,8	1279,8	6752,95
	Trasporti	6,25	-	1663,4	58,4	8,8	18,7	1755,55
Consumo paesi OCSE	Totale	128	2,2	1897,1	688,5	103,73	733,1	3552,63
	Trasporti	0,1	-	1168,8	23,4	1,9	9,2	1203,4

Nella tabella 1 sono riportate le esternalità più evidenti prodotte dai trasporti stradali, in relazione alla scala territoriale in cui i relativi effetti hanno maggiore incidenza<sup>1</sup>.

Per farsi un'idea dell'incidenza energetica dei trasporti, si possono considerare le statistiche fornite dall'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA)<sup>2</sup>, da cui si è ricavata la tabella 2, relativa ai consumi finali di energia per l'anno 1999. Come si può vedere, l'incidenza dei trasporti è pari a circa il 26% ed il 34% del totale dei consumi energetici, rispettivamente per l'intero pianeta ed i paesi OCSE. Tale percentuale aumenta al 58% e 62% quando si vanno ad esaminare i consumi dei prodotti petroliferi, che rappresentano la percentuale più consistente delle fonti utilizzate. In questo quadro gioca un ruolo predominante il trasporto stradale, dove viene consumata una porzione maggiore del 90% dell'energia utilizzata dall'intero settore e che, a sua volta, impiega prevalentemente i derivati del petrolio.

L'ampia dipendenza dal petrolio rende necessaria una breve riflessione sulla disponibilità delle scorte della fonte primaria. La consistenza dei giacimenti di petrolio, già scoperti ovvero in corso di esplorazione, dà una stima di 1800 miliardi di barili, di cui 784 già estratti e consumati (dati 1996); sulla base dei consumi attuali, pari a circa 25 miliardi di barili nell'anno 2000, e dei tassi di crescita appare chiaro che entro qualche decina di anni le risorse estraibili a costi accettabili saranno esaurite, anche considerando la scoperta di nuovi giacimenti.

Accanto a questo problema si deve aggiungere che l'emissione di CO<sub>2</sub> può produrre effetti sempre più critici, con la fondata prospettiva di modificare il clima mondiale, come conseguenza del mag-



Modalità di trasporto	1990				1995				2000			
	Traffico Mpass-km (Mt-km)	Energia finale (Mtep)	Energia primaria (Mtep)	Emiss. di CO <sub>2</sub> (Mt)	Traffico Mpass-km (Mt-km)	Energia finale (Mtep)	Energia primaria (Mtep)	Emiss. di CO <sub>2</sub> (Mt)	Traffico Mpass-km (Mt-km)	Energia finale (Mtep)	Energia primaria (Mtep)	Emiss. di CO <sub>2</sub> (Mt)
<b>Passeggeri</b>												
Impianti fissi	51.698	0,329	0,772	1,948	51.871	0,364	0,873	2,194	52.080	0,369	0,907	2,269
Su strada	637.237	21,756	25,140	72,824	740.725	24,227	28,001	81,083	810.450	26,088	30,155	87,303
Vie d'acqua	2.887	0,060	0,068	0,205	2.667	0,067	0,076	0,229	4.648	0,097	0,110	0,330
Navigazione aerea	6.416	0,551	0,641	1,835	7.108	0,596	0,693	1,985	11.585	0,971	1,129	3,235
<b>Totale passeggeri</b>	<b>698.238</b>	<b>22,696</b>	<b>26,621</b>	<b>76,812</b>	<b>802.371</b>	<b>25,255</b>	<b>29,644</b>	<b>85,491</b>	<b>878.763</b>	<b>27,524</b>	<b>32,301</b>	<b>93,137</b>
<b>Merci</b>												
Impianti fissi	21.941	0,176	0,410	1,035	24.352	0,204	0,473	1,194	25.600	0,204	0,473	1,196
Su strada	177.945	7,930	9,012	27,070	195.327	9,314	10,585	31,795	210.108	12,212	13,877	41,686
Vie d'acqua	35.783	0,331	0,376	1,130	35.442	0,383	0,435	1,307	46.203	0,427	0,486	1,459
Navigazione aerea	33	0,014	0,017	0,047	29	0,012	0,014	0,040	40	0,017	0,020	0,057
<b>Totale merci</b>	<b>235.702</b>	<b>8,452</b>	<b>9,814</b>	<b>29,282</b>	<b>255.121</b>	<b>9,913</b>	<b>11,506</b>	<b>34,336</b>	<b>281.951</b>	<b>12,860</b>	<b>14,856</b>	<b>44,398</b>
<b>Totale trasporto</b>	<b>-</b>	<b>31,147</b>	<b>36,435</b>	<b>106,094</b>	<b>-</b>	<b>35,168</b>	<b>41,150</b>	<b>119,827</b>	<b>-</b>	<b>40,385</b>	<b>47,157</b>	<b>137,535</b>

Fonte: Elaborazione ENEA di dati di fonti diverse

giore assorbimento di energia da parte dell'atmosfera. Per ovviare a tutto questo si sta tentando di attivare politiche di contenimento come il Protocollo di Kyoto, che impone di ridurre le emissioni per i Paesi firmatari, con un obiettivo di riduzione complessiva per il 2010 che, per l'Unione Europea, è pari all'8% e per l'Italia al 6,5%, rispetto all'anno 1990. Tuttavia, se la tendenza aggregata per l'Unione Europea è positiva con una riduzione del 4% nell'anno 1999, per l'Italia si è invece registrato un aumento del 4,4% nello stesso anno<sup>3</sup>. Ciò vuol dire che, nel nostro Paese, nuove misure dovranno essere adottate ed un maggior impegno in quelle già avviate per centrare gli obiettivi di riduzione. In particolare, le indicazioni date dal Governo, per quanto attiene al settore trasporti, includono lo sviluppo di sistemi di trasporto a ridotto impatto energetico ed ambientale. Per quanto riguarda le emissioni di sostanze nocive, in ambito comunitario sono state prese misure di carattere normativo, sia stabilendo limiti per le concentrazioni nell'aria di composti pericolosi e per le emissioni complessive dei singoli paesi membri, sia imponendo vincoli stringenti sui veicoli ed i carburanti utilizzati per il trasporto stradale in modo da ridurre o elimi-

nare gli effetti indesiderati. Altre azioni della Commissione Europea hanno promosso la stipula Accordi volontari con i principali costruttori di autoveicoli sia europei che extraeuropei (raggruppamenti ACEA, JAMA e KAMA) al fine di abbattere le emissioni specifiche della CO<sub>2</sub> da parte dei veicoli. In essi si è concordato che, entro il 2008, la media delle emissioni di CO<sub>2</sub> dei nuovi veicoli venduti dovrà essere non superiore a 140 g/km, anche se la CE ha l'obiettivo di ridurre ulteriormente il limite a 120 g/km, il cui relativo conseguimento potrebbe essere raggiunto entro l'anno 2012.

L'importanza dei trasporti in ambito nazionale<sup>4</sup> può essere rilevata attraverso la tabella 3, che ne riassume i dati principali e che conferma ancora una volta il ruolo prevalente del trasporto stradale.

Un ulteriore approfondimento può essere fatto evidenziando i contributi delle varie tipologie di veicoli facenti parte del trasporto stradale sulla base della metodologia COPERT<sup>5</sup> che viene usata per le stime nazionali.

In tabella 4<sup>5</sup> sono riportati i dati di impatto del trasporto stradale aggregati sul territorio nazionale, ottenuti a partire dai singoli domini urbano, extraurbano e autostradale su cui vengono calcolati i vari indicatori. I

**Tabella 3**

Trasporto passeggeri e merci in Italia: traffico, consumi ed emissioni totali di CO<sub>2</sub> per modalità. Anni 1990-1995-2000

consumi sono espressi in tonnellate equivalenti di petrolio (tep) per rendere confrontabili i diversi combustibili, che sono caratterizzati da poteri calorifici abbastanza diversi.

Confrontando la tabella con le emissioni totali nazionali complessive si può evincere che l'impatto del trasporto stradale è del tutto predominante per alcuni inquinanti, come  $\text{NO}_x$  e COV, sui quali devono pertanto essere attivate azioni specifiche per la riduzione delle emissioni. Per essere efficaci, gli interventi dovranno essere ad ampio spettro ed interessare quindi sia la gestione della domanda e del sistema nel suo insieme, sia lo sviluppo di combustibili alternativi e di nuove tecnologie veicolari.

Nel breve e medio termine il miglioramento dei veicoli convenzionali (minori emis-

tare il rendimento complessivo del veicolo nonostante la crescita della richiesta di potenza complessiva), ed ibridazione minima (per favorire il recupero in frenata).

Oltre al miglioramento dei veicoli convenzionali, sono possibili soluzioni diverse, basate essenzialmente sull'utilizzazione della trazione elettrica in combinazione con una serie di tecnologie veicolari e combustibili alternativi.

I veicoli a trazione elettrica hanno in comune un motore elettrico che provvede, parzialmente o completamente, alla sua propulsione mantenendo un elevato rendimento energetico in ogni condizione di lavoro, anche perché consentono, quale requisito esclusivo, di recuperare energia durante le fasi di rallentamento del veicolo.

Tra le diverse soluzioni, quella più promet-

**Tabella 4**  
Impatto del trasporto stradale in Italia per l'anno 1999

Indicatore	Autovetture	Furgoni	Camion	Bus	Motorini	Moto	Totale
Consumo (Mtep)	23,57	3,28	7,95	1,07	0,51	0,66	37,04
$\text{CO}_2$ (t * $10^6$ )	71,05	9,68	23,29	3,14	1,55	2,03	110,74
CO (t * $10^6$ )	3,11	0,12	0,08	0,01	0,29	0,52	4,13
$\text{NO}_x$ (t * $10^3$ )	419,30	55,7	236,6	37,8	0,6	3,81	753,81
COV non metanici (t * $10^3$ )	469,20	14,9	37,6	4,4	174,3	42,6	743,00
$\text{CH}_4$ (t * $10^3$ )	29	0,6	2	0,4	2,9	4,4	39,30
PM (t * $10^3$ )	15,2	9,7	16	1,8			42,70
$\text{N}_2\text{O}$ (t * $10^3$ )	7,7	0,6	1,1	0,1			9,50
$\text{NH}_3$ (t * $10^3$ )	13,7	0,2	0,1				14,00
$\text{SO}_2$ (t * $10^3$ )	16,6	3,2	7,4	1	0,9	1,2	30,30
Pb (t <sup>3</sup> )	654,6	82,8	3,1		165	215,9	1121,40

sioni e maggiore efficienza) si potrà ottenere con l'adozione di tecnologie ormai in fase di avanzata sperimentazione ed introduzione preliminare del mercato: nuove configurazioni e dimensioni (per migliorare l'aerodinamica e minimizzare le necessità energetiche), motori termici a più alto rendimento (a iniezione diretta sia a benzina sia diesel con cicli più efficienti), nuovi materiali (per ridurre la massa del veicolo e migliorare le prestazioni energetiche dei motori con materiali ceramici) e combustibili alternativi (gas naturale, biocombustibili, idrogeno per ridurre la quantità di carbonio nel combustibile di partenza), elettrificazione spinta dei servizi (per aumen-

tente per il medio-lungo termine è basata sull'impiego dell'idrogeno in veicoli che utilizzano la tecnologia delle celle a combustibile. All'approfondimento della tecnologia relativa all'uso dell'idrogeno è quindi dedicato il resto del documento.

## L'idrogeno come combustibile per la trazione

### Caratteristiche dell'idrogeno

L'idrogeno, l'elemento più abbondante dell'Universo, è assai raro sulla Terra allo stato elementare, anche se è molto diffuso sotto forma di composti (acqua, idrocarbu-



ri, organismi animali e vegetali) e può quindi essere prodotto a partire da diverse fonti. L'interesse per il suo impiego come combustibile, per la trazione ma anche per applicazioni stazionarie, deriva dal fatto che può essere utilizzato con impatto ambientale nullo o estremamente ridotto; infatti, se usato in processi di combustione, produce vapor d'acqua e tracce di ossidi di azoto, ovvero solo vapor d'acqua, se utilizzato con sistemi elettrochimici a celle a combustibile.

Le caratteristiche principali dell'idrogeno sono riportate nella tabella 5. Rispetto agli altri combustibili, l'idrogeno presenta un ridotto contenuto energetico su base volumetrica, mentre ha il più alto contenuto di energia per unità di massa (tabella 6)\*.

Un litro di gasolio, come contenuto energetico, equivale a:

- 3,12 m<sup>3</sup> di idrogeno gassoso (in condizioni normali);
- 4,13 litri di idrogeno liquido.

L'introduzione dell'idrogeno come vettore energetico richiede che siano messe a punto le tecnologie necessarie per rendere il suo impiego economico ed affidabile, nelle diverse fasi di produzione, trasporto, accumulo e utilizzo.

### Produzione dell'idrogeno

L'idrogeno, come già accennato, può essere prodotto a partire da diverse fonti primarie, sia fossili sia rinnovabili, e può contribuire quindi alla diversificazione ed all'integrazione tra le diverse fonti.

### Produzione da combustibili fossili

Dei circa 500 miliardi di Nm<sup>3</sup> di idrogeno prodotti annualmente a livello mondiale, circa 190 miliardi rappresentano un sottoprodotto dell'industria chimica (ad esempio impianti cloro-soda), mentre la maggior frazione deriva da combustibili fossili, gas naturale ed olio pesante, attraverso processi di *reforming* e di ossidazione parziale.

\* I dati relativi ad idrogeno e metano si riferiscono allo stato gassoso in condizioni normali di temperatura e pressione.

Proprietà	Unità di misura	Valore
Peso molecolare		2,016
Densità gas	kg/m <sup>3</sup>	0,0899
Potere calorifico superiore	kWh/kg kWh/Nm <sup>3</sup>	39,41 3,509
Potere calorifico inferiore	kWh/kg kWh/Nm <sup>3</sup>	33,33 2,995
Temperatura di ebollizione	K	20,3
Densità come liquido	kg/m <sup>3</sup>	70,8
Calore specifico	kJ/(kg K)	14,89

**Tabella 5**  
Proprietà dell'idrogeno

Il processo principalmente utilizzato (*steam reforming*) è tecnicamente molto ben sperimentato e viene realizzato industrialmente con unità di capacità dell'ordine di 100.000 Nm<sup>3</sup>/h. Unità molto più piccole, realizzate specificamente per l'uso sui veicoli o per impianti di generazione distribuita di piccola taglia, sono attualmente in via di sviluppo, soprattutto per l'utilizzo in sistemi con celle a combustibile.

Per arrivare ad un idrogeno "pulito" (cioè senza emissioni di CO<sub>2</sub>), partendo da combustibili fossili, è necessario provvedere alla separazione e al confinamento della anidride carbonica che inevitabilmente si forma durante il processo. Per entrambe queste tipologie di azioni sono in corso da anni programmi internazionali di vasta portata, che prevedono principalmente il confinamento della CO<sub>2</sub> in formazioni geologiche profonde e di caratteristiche adeguate. Nel nostro Paese, come d'altra parte in molte altre nazioni, le opzioni principali sono due:

- i giacimenti esauriti di gas e petrolio;
- i cosiddetti acquiferi salini, situati a grande profondità (oltre 1.000 m sotto il livello del mare), che sono considerati formazioni stabili non altrimenti utilizzabili.

Sono anche allo studio numerosi nuovi processi di produzione che potrebbero sem-

**Tabella 6**  
Proprietà energetiche di diversi combustibili

Proprietà	Unità di misura	Idrogeno	Metano	Metanolo	Benzina	Gasolio
Potere calorifero inferiore	MJ/kg	119,99	50,05	19,6	43,95	42,9
Densità di energia	MJ/l	1,080E-02	3,54E-02	15,6	32,96	36,04

plificare il problema della gestione della CO<sub>2</sub> (come il processo “plasma-arc” della Kvaerner Engineering, i reattori a membrana, i processi in cui la CO<sub>2</sub> viene fissata durante la trasformazione) che sembrano offrire prospettive interessanti.

In ogni caso la produzione di idrogeno da combustibili fossili, potendosi basare su tecnologie che per buona parte sono già a livello di sviluppo industriale, rappresenta una sorta di “ponte tecnologico” verso la produzione da fonti rinnovabili, che sembra la produzione più promettente nel lungo termine. L'introduzione di tecnologie già pronte, oltre a presentare un potenziale di riduzione degli inquinanti nel breve-medio termine, permetterà uno sviluppo graduale delle infrastrutture ed un'introduzione progressiva di un vettore che, pur presentando enormi vantaggi ambientali, richiede complessi cambiamenti della struttura del settore energetico.

#### **Produzione da fonti rinnovabili**

Parlando di produzione di idrogeno da fonti rinnovabili, i processi possono essere sommariamente distinti in:

- produzione da biomasse;
- produzione dall'acqua.

La produzione di idrogeno a partire da biomasse si presenta molto interessante, ma nessuno dei processi proposti ha ancora raggiunto la maturità industriale. Le diverse alternative (gassificazione; pirolisi e successivo *reforming* della frazione liquida prodotta; produzione di etanolo e *reforming* dello stesso; produzione biologica attraverso processi basati su fenomeni di fotosintesi o di fermentazione) richiedono tutte un impegno notevole di ricerca, sviluppo e dimostrazione, anche se a livelli diversi. Le premesse sono comunque buone, tenuto conto dei diversi materiali utilizzabili.

L'idrogeno può anche essere prodotto dall'acqua, scindendo la stessa nei suoi componenti (idrogeno e ossigeno), attraverso diversi processi, tra i quali quello più con-

solidato è l'elettrolisi.

L'elettrolisi dell'acqua consente di ottenere idrogeno praticamente puro, ad un costo che può diventare economicamente accettabile solo in una prospettiva ancora lontana, allorché le innovazioni tecnologiche potrebbero consentire un costo estremamente basso dell'energia elettrica, prodotta da fonti rinnovabili (o da nucleare). Tale scelta non appare, allo stato attuale delle conoscenze, economicamente (ed energeticamente) perseguibile, se non per applicazioni particolari (ad esempio aree remote).

La dissociazione dell'acqua può essere effettuata anche facendo uso di processi termochimici che utilizzano calore ad alta temperatura (800-1000 °C) ottenuto da fonti diverse (prima fra tutte l'energia solare); sono in corso, anche in Italia, attività di ricerca e sviluppo tese a dimostrare la fattibilità industriale di tali processi, ed il potenziale nel lungo termine sembra essere molto interessante.

Altri processi, ancora allo stato di laboratorio, sono la fotoconversione, che scinde l'acqua usando organismi biologici o materiali sintetici, e i processi fotoelettrochimici, che usano per lo stesso scopo una corrente elettrica generata da semiconduttori.

#### **Tecnologie di stoccaggio**

Esistono diverse tecnologie di accumulo dell'idrogeno le cui caratteristiche sono sintetizzate nella figura 1. Di seguito vengono descritte brevemente le tecnologie più promettenti.

#### **Idrogeno compresso**

Il modo più semplice ed economico per accumulare idrogeno a bordo di un veicolo è di utilizzarlo sotto forma di gas compresso a pressione di 200-250 bar (ed oltre). La tecnologia risulta tuttavia non facilmente proponibile per l'uso a bordo di auto tradizionali, a causa del peso ed ingombro dei serbatoi attualmente utilizzati, che rappresentano un limite all'autonomia e capacità di carico del veicolo.

Di recente, notevoli progressi sono stati fatti con l'introduzione di serbatoi con *liner* metallico o termoplastico rinforzati con fibre di carbonio, di vetro ed aramidiche, che presentano un peso 3-4 volte inferiore a quello dei comuni serbatoi e che consentono di superare in parte gli inconvenienti dell'uso delle bombole tradizionali. Questi serbatoi sono in grado di operare a pressioni fino a 350 bar (potenzialmente fino a 700 bar) e consentono quindi di ottenere densità di accumulo di idrogeno adeguate all'uso a bordo di veicoli. Le caratteristiche di sicurezza sono solitamente molto elevate, grazie alla robustezza dei serbatoi ed all'introduzione di fusibili antiscoppio, in caso di incendio, e di valvole di interruzione del circuito in caso di urto.

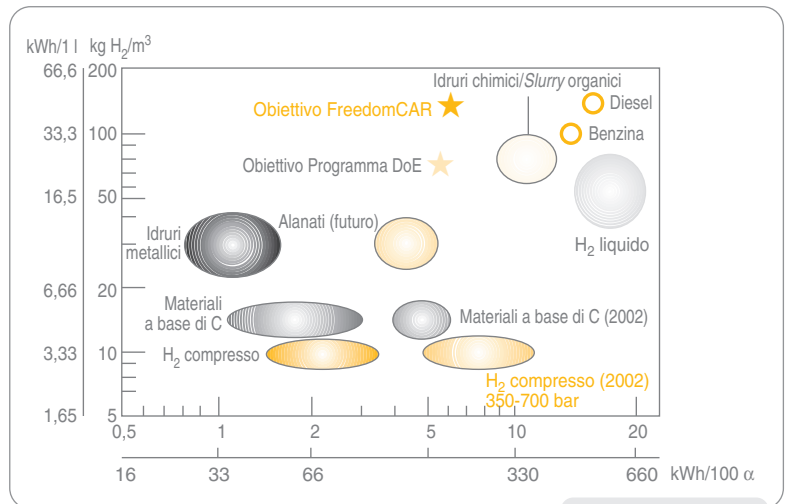
Per quanto riguarda normative di sicurezza e licenze per usi a bordo di veicoli, le bombole di idrogeno sono soggette a restrizioni analoghe a quelle adottate nel caso del gas naturale.

### Idrogeno liquido

L'idrogeno può essere immagazzinato a bordo di un veicolo in forma liquida ad una temperatura di  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Per mantenere queste temperature sono stati messi a punto serbatoi a doppia parete, con un'intercapedine, dove viene fatto il vuoto (serbatoi tipo "dewar"). Questa tecnologia è ormai consolidata in Germania, dove la BMW la utilizza da oltre 15 anni su auto ad idrogeno alimentate con motori a combustione interna.

L'accumulo in forma liquida è forse la tecnologia che oggi meglio soddisfa, da un punto di vista teorico, le esigenze dell'autotrazione; tuttavia anch'essa presenta dei limiti.

A sfavore dell'idrogeno liquido giocano la maggiore complessità del sistema, non solo a bordo del veicolo ma anche a terra, per la distribuzione ed il rifornimento, ed i maggiori costi ad esso associati. Anche il costo energetico della liquefazione è considerevole, corrispondendo a circa il 30%



Fonte: DoE

**Figura 1**  
Caratteristiche dei sistemi di accumulo idrogeno

del contenuto energetico del combustibile, contro un valore compreso tra il 4% ed il 7% per l'idrogeno compresso.

### Idruri metallici

L'idrogeno può legarsi chimicamente con diversi metalli e leghe metalliche, formando idruri. Questi composti sono in grado di intrappolare idrogeno, a pressioni relativamente basse. L'idrogeno penetra all'interno del reticolo cristallino del metallo, andando ad occupare i siti interstiziali. Con tale tecnologia si raggiungono, a basse pressioni, densità energetiche maggiori di quelle dell'idrogeno compresso e paragonabili a quelle dell'idrogeno liquido (secondo alcune referenze, anche maggiori). Il volume di stoccaggio si riduce di 3-4 volte, rendendo possibile l'uso di questi sistemi nelle autovetture, mentre l'energia specifica dipende anche dal peso specifico del metallo di base.

Le percentuali, in peso, di idrogeno sul peso totale che si raggiungono vanno dall'1% al 12,7% (LiH); per confronto si ricorda che, per le comuni bombole, tale percentuale è di poco superiore all'1%, e quindi tali sistemi di stoccaggio sono potenzialmente molto promettenti. Un punto debole della tecnologia è rappresentato dal peso dei sistemi di accumulo che, a parità di peso del veicolo, riducono l'autono-

mia ad una percorrenza tre volte inferiore a quella ottenibile con idrogeno liquido o idrogeno compresso con serbatoi di tipo avanzato. Sono invece indubbi i vantaggi in termini di convenienza, compattezza, stabilità dello stoccaggio, sicurezza intrinseca.

### **Nanostrutture di carbonio**

Le nanostrutture di carbonio (nanotubi e nanofibre di carbonio), scoperte all'inizio degli anni 90, stanno dimostrando ottime capacità di adsorbimento dell'idrogeno, con risultati in alcuni casi sorprendenti e particolarmente favorevoli.

Su questi materiali sono in corso ricerche da parte di numerosi gruppi di lavoro, ma i risultati ottenuti, spesso in contrasto tra di loro, sono il più delle volte non confrontabili in quanto le esperienze sono state effettuate su campioni di materiali di diverso tipo, provati in condizioni di pressione e temperatura molto diverse tra loro. Il campo di variazione della pressione va da pochi bar ad alcune centinaia di bar, la temperatura da 80 K a 800 K, le percentuali di adsorbimento in peso variano da valori inferiori all'1% ad un incredibile 60%.

### **Infrastrutture**

Il problema principale che frena l'utilizzo dell'idrogeno come combustibile per autoveicoli è quello della realizzazione delle infrastrutture necessarie per la sua produzione e distribuzione, che rappresenta una sfida tecnico-economica e tale da richiedere uno sforzo congiunto di amministrazioni pubbliche e imprese industriali per essere risolto positivamente.

### **Distribuzione dell'idrogeno**

A seconda delle quantità interessate, l'idrogeno può essere trasportato per mezzo di autocisterne o con idrogenodotti. Fra le due opzioni, entrambe praticabili con le tecnologie attuali, esistono grosse differenze di costo e quindi solo specifiche analisi tecnico-economiche per le singole appli-

cazioni possono determinare quale sia di volta in volta la soluzione migliore.

L'uso di tubazioni di grosse dimensioni è stato praticato per più di 50 anni. Tubazioni realizzate in acciaio standard (e quindi senza requisiti specifici) hanno trasportato idrogeno in Germania, nel distretto della Ruhr, dai produttori ai consumatori sin dal 1938, senza particolari problemi di sicurezza (le tubazioni erano provviste di sensori per possibili fughe ed erano previste periodiche ispezioni di sicurezza).

D'altra parte è utile ricordare come anche in Italia, per più di 70 anni, si è distribuito nelle città senza problemi particolari il cosiddetto "gas d'acqua", costituito da miscele di idrogeno (50%) e CO (50%), dove l'elemento di maggiore pericolosità era il CO, in quanto altamente tossico.

Attualmente anche città a densità di popolazione estremamente elevate, come Pechino, sono servite da reti di distribuzione di questo tipo di gas. L'esperienza accumulata nel settore della distribuzione gas può quindi essere utilizzata in maniera molto diretta per la realizzazione e l'esercizio di reti di distribuzione dell'idrogeno.

Idrogenodotti di dimensioni significative sono presenti in diverse nazioni: esiste una rete di circa 170 km nella Francia del Nord, per un totale nell'intera Europa di più di 1.500 km. Il Nord America possiede più di 700 km di condutture per il trasporto dell'idrogeno.

Le tubazioni utilizzate attualmente per il trasporto di idrogeno sono approssimativamente confrontabili con le piccole reti locali di distribuzione del gas naturale, con diametri di 25-30 cm e pressioni di 10-20 bar, anche se pressioni fino a 100 bar sono state sperimentate senza problemi particolari.

Una rete di distribuzione idrogeno di grandi dimensioni potrebbe essere quindi simile alle attuali reti per il gas naturale; le maggiori differenze potrebbero risiedere nei materiali utilizzati (alcuni acciai hanno migliore compatibilità con l'idrogeno) e nei criteri di progetto delle stazioni di pom-

paggio. In particolare, sebbene abbia una densità energetica volumetrica minore di quella del gas naturale, l'idrogeno è meno viscoso, per cui, con un'adatta progettazione, l'energia necessaria per il suo pompaggio diventa paragonabile a quella richiesta per la stessa quantità di energia trasportata con il gas naturale.

Ad elevate pressioni e temperature l'idrogeno può diffondere attraverso l'acciaio, provocando una alterazione della sua composizione (la cosiddetta "decarbizzazione") e delle proprietà tecnologiche. L'uso di acciai legati ad alto contenuto di cromo e molibdeno è pratica industrialmente corrente per la prevenzione di tali fenomeni.

Reti di distribuzione per idrogeno liquido, risultando particolarmente costose e di difficile gestione, sono state realizzate solo per applicazioni particolarmente specializzate, come il rifornimento di veicoli spaziali.

### Stazioni di rifornimento

Anche utilizzando tecnologie già disponibili industrialmente, sono possibili diverse opzioni per realizzare una stazione di rifornimento di veicoli ad idrogeno:

- produzione locale per via elettrolitica e stoccaggio in diverse forme (idruri, idrogeno gassoso);
- stoccaggio locale in forma gassosa e rifornimento tramite camion (analogamente ai combustibili tradizionali);
- stoccaggio locale in forma liquida e rifornimento tramite camion (analogamente ai combustibili tradizionali);
- produzione locale a partire da gas metano, purificazione del gas e stoccaggio in diverse forme (idruri, idrogeno gassoso);
- alimentazione tramite tubazioni e stazione di compressione locale (come il gas naturale per trazione).

Tranne l'ultima opzione, che necessita di una rete idrogeno di cui ancora non esistono esempi applicati alla trazione, le tecnologie da utilizzare sono già mature industrialmente ed i problemi maggiori risiedono più nelle condizioni normative e nella

standardizzazione dei componenti. Infatti non esiste, né a livello nazionale né internazionale, una normativa specifica comunemente accettata per la realizzazione di stazioni di rifornimento dell'idrogeno, mentre la poca familiarità con questo vettore porta normalmente ad applicare condizioni particolarmente restrittive per l'uso dello stesso. Anche per quanto riguarda la standardizzazione dei componenti (esempio connettori dei serbatoi dei veicoli) non esistono orientamenti consolidati, per cui le esperienze fanno caso a sé, dipendendo in larga misura dagli standard di produzione delle singole industrie coinvolte.

### Caratteristiche di sicurezza

Esistono ancora molte perplessità per agli aspetti di sicurezza collegati all'uso dell'idrogeno, in particolar modo a bordo di un veicolo, ma, al di là della "percezione di rischio", un'analisi attenta ridimensiona il concetto di pericolosità nell'uso dell'idrogeno.

L'idrogeno è meno infiammabile della benzina. Infatti la sua temperatura di autoaccensione è di circa 550 °C, contro i 230-500 °C (a seconda dei tipi) della benzina.



**Figura 2**  
Esempio d'incendio di autovettura

Fonte: M.R. Swain, Miami University, FL (US)



L'idrogeno è il più leggero degli elementi (quindici volte meno dell'aria), e perciò si diluisce molto rapidamente in spazi aperti, e può passare in spazi estremamente ridotti. È praticamente impossibile far detonare l'idrogeno, se non in spazi confinati. Per individuare concentrazioni potenzialmente pericolose (>4% in aria) si utilizzano sensori che possono facilmente comandare adeguati sistemi di sicurezza. I veicoli prototipo della BMW, ad esempio, hanno vetri e tettuccio che, in caso di presenza di idrogeno, si aprono automaticamente.

Quando brucia, l'idrogeno si consuma molto rapidamente e sempre con fiamme dirette verso l'alto e caratterizzate da una radiazione termica a lunghezza d'onda molto bassa, quindi facilmente assorbibile dall'atmosfera. Per contro materiali come la benzina, il gasolio, il GPL od il gas naturale sono più pesanti dell'aria e, non disperdendosi, rimangono una fonte di pericolo per tempi molto più lunghi. È stato calcolato, facendo uso di dati sperimentali, che l'incendio di un veicolo a benzina si protrae per 20-30 minuti, mentre per un veicolo ad idrogeno non dura più di 1-2 minuti (figura 2). La bassa radiazione termica, propria delle fiamme da idrogeno, fa sì che esistano poche possibilità (al di là dell'esposizione diretta alla fiamma) che materiali vicini possano essere a loro volta incendiati, riducendo così, oltre alla durata dell'incendio,

anche il pericolo di emissioni tossiche. L'idrogeno non è tossico, né corrosivo. Per confronto, tutti i combustibili fossili sono asfissianti e tossici per l'essere umano. Eventuali perdite dai serbatoi, inoltre, non coinvolgono problemi di inquinamento del terreno o di falde idriche sotterranee.

Un confronto fra le esplosioni dell'idrogeno e di altri combustibili usati correntemente (vapori di benzina, gas naturale ecc.) è difficile da fare, se non considerando i casi specifici, ma in generale gli effetti dell'esplosione sono minori nel caso dell'idrogeno (a parità di energia in gioco) a causa della diversa propagazione delle onde di pressione.

## Le tecnologie per l'impiego dell'idrogeno nella trazione

### Le celle a combustibile

L'uso delle celle a combustibile (figura 3) per la trazione presenta numerosi vantaggi, ma comporta un grosso cambiamento rispetto alla filosofia attuale dei veicoli.

Un veicolo a celle a combustibile ha i vantaggi di un veicolo elettrico (elevata coppia motrice alle basse velocità, semplicità meccanica, silenziosità), assicurando, al contempo, un'autonomia paragonabile a quella dei veicoli convenzionali.

Il rendimento del veicolo (figura 4), inoltre, è più che doppio di quello con un motore a

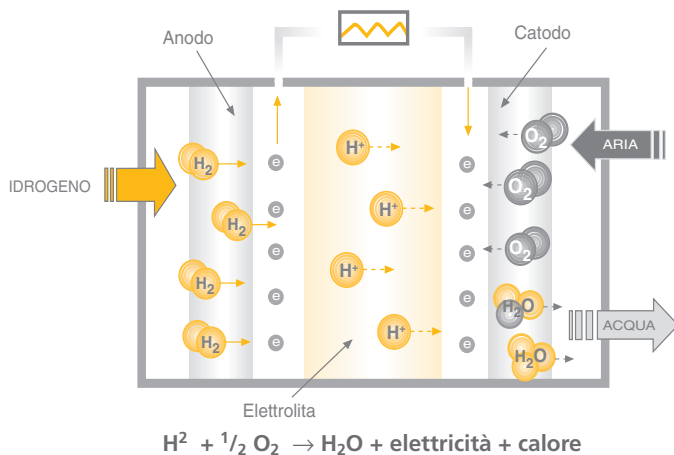
**Figura 3**

Principio di funzionamento di una cella a combustibile

Una cella a combustibile funziona in modo analogo ad una batteria, in quanto produce energia elettrica attraverso un processo elettrochimico; a differenza di quest'ultima, tuttavia, consuma sostanze provenienti dall'esterno ed è quindi in grado di funzionare senza interruzioni, finché al sistema viene fornito combustibile ed ossidante.

La cella è composta da due elettrodi in materiale poroso, separati da un elettrolita. Gli elettrodi fungono da siti catalitici per le reazioni di cella che consumano fondamentalmente idrogeno ed ossigeno, con produzione di acqua e passaggio di corrente elettrica nel circuito esterno.

L'elettrolita ha la funzione di condurre gli ioni prodotti da una reazione e consumati dall'altra, chiudendo il circuito elettrico all'interno della cella. La trasformazione elettrochimica è accompagnata da produzione di calore, che è necessario estrarre per mantenere costante la temperatura di funzionamento della cella.





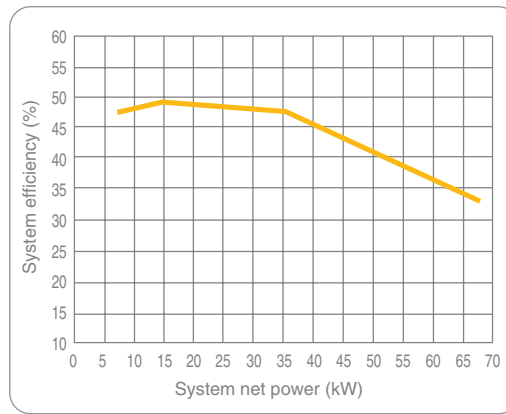
combustione interna, in quanto, l'efficienza di una cella a combustibile, già di per sé più elevata, è caratterizzata da una ridotta escursione ai carichi parziali, mentre il motore convenzionale risulta essere molto penalizzato nel funzionamento a potenza ridotta. In media, un veicolo a celle ha una efficienza nell'uso che può superare il 40%, mentre l'equivalente motore tradizionale non supera il 20%.

L'impatto ambientale di un veicolo a celle a combustibile alimentato a idrogeno è praticamente nullo, con i gas di scarico che contengono solamente aria e vapor d'acqua. Le caratteristiche delle celle (modularità, rendimenti elevati anche per taglie medio-piccole e per carichi parziali) permettono inoltre la realizzazione di veicoli con taglie anche molto diverse (dalla bici alla vettura, all'autobus, alle motrici ferroviarie) con la stessa tecnologia e con caratteristiche di prestazioni, consumi ed impatto ambientale equivalenti.

Esistono molte tecnologie di celle a combustibile, con differenti caratteristiche di funzionamento (temperatura, densità di potenza, materiali, combustibili utilizzabili), che le rendono adatte per diverse applicazioni, e diverso grado di maturità.

Nel campo della trazione, dopo i primi prototipi realizzati con tecnologie diverse, il tipo di cella su cui si sono concentrati tutti i costruttori di veicoli è quello ad elettrolita polimerico (PEFC – Polymer Electrolyte Fuel Cell), che meglio soddisfa i requisiti specifici dell'uso sui veicoli stradali. Tale tecnologia è infatti caratterizzata da bassa temperatura di funzionamento ( $\sim 70^\circ\text{C}$ ), ridotti tempi di avviamento, alta densità di potenza ( $>1,7\text{ kW/l}$ ,  $>1,1\text{ kW/kg}$ ). Anche il grado di maturità tecnologica sta crescendo, avendo le maggiori case automobilistiche già realizzato i primi prototipi marcianti, sia di autovetture che di autobus.

Naturalmente restano da sviluppare diversi aspetti della tecnologia, che si può considerare matura per la realizzazione di prototipi, ma non ancora per quanto riguarda



Fonte: Ballard

**Figura 4**  
Prestazioni di un sistema celle a combustibile per vetture da 70 kW

la produzione "di serie".

Il fattore chiave su occorre soffermarsi per l'introduzione della tecnologia è rappresentato dalla riduzione dei costi. I requisiti di costo per un sistema con celle a combustibile fissati dai costruttori di veicoli sono dello stesso ordine di grandezza di quelli degli odierni motori (50-100 US\$/kW), ma tali cifre sono di due ordini di grandezza inferiori a quelli degli attuali prototipi di sistemi con celle a combustibile (5.000-10.000 US\$/kW). Data la semplicità costruttiva di una cella è facile ipotizzare che, in presenza di produzioni di massa, tali costi potranno essere drasticamente ridotti per quanto riguarda la manodopera e le lavorazioni meccaniche, ma attualmente il costo dei materiali (particolarmente catalizzatore, elettrodi e membrana) è ancora troppo alto per raggiungere gli obiettivi di costo prefissati. Nella tabella 7 è riportata l'incidenza del costo dei materiali e della manodopera, alla luce di due diverse ipotesi:

- previsioni con la tecnologia attuale, per una produzione annua di almeno 1.000 unità da 1 kW, non ottimizzate per la trazione (Roen Est – Italia);
  - previsione per una produzione di massa per grandi volumi, caratteristici della produzione di veicoli (Arthur D Little – USA).
- È da notare come i dati relativi alla Roen Est, partner ENEA nello sviluppo di prototipi di celle, si basano su offerte realmente ricevute dai fornitori di subcomponenti, mentre i dati americani sono delle vere e proprie proiezioni.

**Tabella 7**

Incidenza dei materiali e della manodopera sul costo di uno stack

Materiale	Costo (%) (Roen Est)	Costo (%) (Arthur D Little)
Catalizzatore platino/carbonio 20% (autoprodotta)	34,1	52,9
Elettrodi	21,1	
Membrana (Dupont Nafion) e polimero liquido	15,4	31,1
Piatti bipolari	7,1	12,0
Guarnizioni, componentistica accessoria	5,2	3,0
Manodopera	17,0	1,0
<b>Totale</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Volume di produzione annuo di riferimento</b>	<b>1.000 x 1 kW</b>	<b>500.000 x 50 kW</b>
<b>Costo totale (€/kW)</b>	<b>674</b>	<b>208</b>

Le principali problematiche oggetto di attività di ricerca e sviluppo sono: lo sviluppo di catalizzatori, lo sviluppo di membrane, la riduzione della pressione di funzionamento.

### Sviluppo di catalizzatori

Il catalizzatore universalmente adottato è il platino, utilizzato in miscele con carbonio e con diverse tecniche di deposizione. La quantità di platino presente in una cella varia con la tecnologia adottata ed è compresa fra 2-8 g/kW. Oltre al costo industriale di tale elemento (attualmente dell'ordine di 17-18 US\$/g), nel caso di diffusione della tecnologia non sono da escludere problemi di approvvigionamento, quindi sono molte le attività di ricerca volte, da un lato, a sviluppare catalizzatori che contengano, a parità di prestazioni, minori quantità di platino, e dall'altro ad esplorare la possibilità di utilizzare altri materiali a costo più basso. Per la riduzione delle quantità di catalizzatore impiegate è interessante la prospettiva dell'utilizzo di nanostrutture di carbonio per la preparazione degli elettrodi.

### Sviluppo di membrane

Il materiale attualmente impiegato per la realizzazione dell'elettrolita è un polimero (generalmente il Nafion della Dupont) che ha la necessità di essere mantenuto costantemente umido per garantirne le caratteristiche di conducibilità. Ciò comporta la necessità di umidificare i gas di alimentazione, con conseguenti complicazioni derivanti dalla gestione dell'acqua nelle diverse condizioni di funzionamento. Attual-

mente sono in corso di svolgimento molti programmi di ricerca per lo sviluppo di polimeri che non richiedono la presenza di acqua, ma non sono ancora disponibili membrane per l'uso in cella.

### Riduzione della pressione di funzionamento

L'obiettivo è quello di realizzare sistemi quanto più possibile semplici e, in quest'ottica, uno degli aspetti più importanti è quello di limitare la pressione di funzionamento della cella, così da non richiedere compressori per l'aria di alimentazione che, oltre a rappresentare una possibile fonte di rumore, rendono il circuito più complicato.

### I motori a combustione interna

L'idrogeno, come gli altri combustibili gassosi, può essere utilizzato nei motori a combustione interna "tradizionali", seppure con alcune limitazioni, ed è considerato un combustibile molto buono per tali motori, permettendo un'efficienza in media del 20% maggiore degli equivalenti motori alimentati a benzina.

Il rendimento termico di un motore a combustione interna dipende dal suo rapporto di compressione e dalle caratteristiche fisiche del combustibile (rapporto dei calori specifici) e cresce al crescere di questi valori; nel caso di un motore alimentato ad idrogeno entrambe le grandezze sono maggiori rispetto alla benzina, grazie alla maggiore temperatura di autoaccensione, che permette rapporti di compressione più

Pro		Contro
Iniezione indiretta	Semplice Economica	Perdita di potenza Problemi di combustione
Iniezione diretta	Potenza specifica Basso consumo	Alta pressione (>100 bar) Sistema complesso per i requisiti del sistema di iniezione

**Tabella 8**  
Confronto tra iniezione diretta e indiretta

elevati, ed alla capacità di bruciare in miscele molto magre. Tuttavia, pur se con un rendimento elevato, l'uso dell'idrogeno nei motori a combustione interna comporta una perdita di potenza del motore, se paragonato ad uno alimentato a benzina, a causa della minore energia della miscela contenuta nel volume del cilindro. Inoltre, la bassa densità volumetrica della miscela stechiometrica aria/idrogeno, rapportata a quella della miscela aria/benzina, non facilita un riempimento ottimale del cilindro. Il risultato di questi due aspetti porta, nel caso dell'idrogeno, a un contenuto energetico della miscela effettivamente introdotta nel cilindro che è circa 85% di quello che si avrebbe usando la benzina. Ne consegue che lo stesso motore, funzionando ad idrogeno, eroga circa il 15% in meno della potenza. Sono allo studio soluzioni tecniche che permettono di ridurre questa differenza, come sistemi avanzati di iniezione ad alta pressione o l'uso di idrogeno liquido che, premiscelato con aria, permette di aumentare di circa 1/3 la quantità di gas introdotto in camera di combustione.

L'idrogeno ha un ampio campo di infiammabilità in aria (5-75% vol.) e perciò possono essere più facilmente utilizzati eccessi d'aria notevoli, tali da minimizzare anche le emissioni di  $\text{NO}_x$ . Le emissioni di  $\text{NO}_x$  possono essere ulteriormente ridotte riducendo la temperatura di combustione, utilizzando tecniche come la miscelazione di

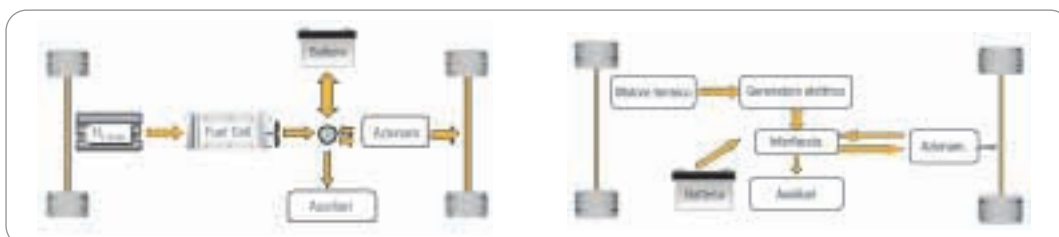
acqua, il ricircolo dei gas di scarico, o l'uso di idrogeno liquido. Tipicamente le emissioni di  $\text{NO}_x$  di un motore ad idrogeno sono un ordine di grandezza minori di quelle degli equivalenti motori a benzina.

In ogni caso i maggiori costruttori di veicoli ritengono che la realizzazione di motori ad idrogeno con prestazioni simili (ed anche migliori) degli attuali motori a benzina sia tecnicamente fattibile con le tecnologie attuali, una volta che le condizioni al contorno (essenzialmente la presenza delle infrastrutture e l'emissione di normative ad hoc) siano tali da generare un sufficiente volume del mercato per questo tipo di veicoli. Il confronto fra le caratteristiche dell'idrogeno e gli altri combustibili mostra come i più ampi limiti di infiammabilità, la minore energia di ignizione e la quasi doppia velocità di fiamma debbano senza dubbio influenzare la concezione del motore e del suo controllo, fondamentalmente per evitare fenomeni di preaccensione e ritorni di fiamma.

È possibile adottare sia una iniezione di idrogeno direttamente all'interno della camera di combustione, che all'esterno, con vantaggi e svantaggi nei due casi, come indicato in tabella 8.

### I veicoli ad idrogeno

Il veicolo ad idrogeno, che presenta indubbi vantaggi dal punto di vista ambientale in tutte le sue configurazioni, può essere rea-



**Figura 5**  
Schemi di veicoli ibridi a celle a combustibile e con motore termico

lizzato sia mantenendo la configurazione "full power" sia utilizzando soluzioni di tipo "ibrido".

Da un punto di vista energetico, si possono infatti avere sistemi in cui la potenza è fornita esclusivamente dal motore (a combustione interna o a celle a combustibile) e sistemi ibridi (figura 5), in cui il motore copre essenzialmente il carico medio mentre i picchi di potenza necessari in caso di forti accelerazioni sono forniti da un pacco batterie, che consentono anche il recupero di energia di frenata. In questo caso la trazione è affidata ad un motore elettrico (tranne che in caso di ibridi particolari con motori a combustione interna dove la ripartizione della potenza è meccanica), che funge anche da generatore durante le frenate.

In un sistema ibrido il dimensionamento relativo tra il generatore primario ed il sistema di accumulo può variare entro limiti abbastanza ampi e dipende dal tipo di applicazione per cui si vuole ottimizzare il veicolo. Ai due estremi possibili ci sono il veicolo a batteria ed il veicolo "full power" (senza sistemi di accumulo).

L'ibridizzazione, tra l'altro usata anche nei motori a benzina e diesel, seppur complicando il sistema, offre vantaggi dal punto di vista dell'utilizzo ottimale del motore (particolarmente nel caso del motore a combustione interna che è caratterizzato da una notevole perdita di efficienza ai carichi parziali). Inoltre la presenza di un motore elettrico e di un sistema di accumulo consente il "recupero in frenata", opzione che, soprattutto in cicli caratterizzati da molte accelerazioni e frenate, come quelli urbani, può portare a notevoli risparmi di combustibile.

Un veicolo a idrogeno con motore a combustione interna ha una configurazione che si avvicina moltissimo al corrispondente veicolo con combustibili tradizionali, mentre un veicolo a celle a combustibile ha tutte le caratteristiche di un veicolo elettrico, in quanto il sistema di generazione produce corrente continua.

Le modifiche più cospicue ad un veicolo con motore endotermico riguardano solitamente il sistema di stoccaggio a bordo dell'idrogeno, per cui si adottano differenti soluzioni, mentre le motorizzazioni, con le opportune modifiche ed ottimizzazioni, rimangono essenzialmente le stesse. Sui veicoli con celle a combustibile, invece, si troveranno anche sistemi di regolazione e conversione della corrente (DC/DC converter o/e inverter), motori elettrici e tutti i sistemi di regolazione e controllo della trazione propri dei veicoli a batteria.

I veicoli attualmente realizzati utilizzando entrambe le tecnologie hanno prestazioni paragonabili a quelle dei veicoli tradizionali, ed un'autonomia che dipende ancora una volta dalla tecnologia utilizzata per lo stoccaggio dell'idrogeno. La maggior efficienza delle celle a combustibile (circa il doppio su cicli urbani) semplifica un poco questo problema, ma attualmente autonomie maggiori di 250 km si ottengono solo con serbatoi di idrogeno liquido, poco proponibili per una diffusione di massa. La guidabilità è quella dei veicoli elettrici, che ben si presta soprattutto a cicli urbani caratterizzati da accelerazioni a bassa velocità.

## I programmi di ricerca e sviluppo

### I programmi internazionali

#### **Veicoli con celle a combustibile**

##### *Programmi a finanziamento pubblico*

Negli Stati Uniti, il Department of Energy (DoE) ha finanziato per diversi anni lo sviluppo di sistemi di propulsione con celle a combustibile all'interno del Fuel Cells for Transportation Program. Le attività inizialmente erano dirette allo sviluppo di stack, di sistemi di trattamento del combustibile, nonché di ausiliari del sistema (compressori, sistema di alimentazione, controlli ecc.). Di recente, come conseguenza della crescita d'interesse per l'idrogeno e in risposta alle raccomandazioni del nuovo Piano energetico nazionale, è stato varato

## Obiettivi Programma FreedomCAR

**Sviluppo di sistemi di propulsione con celle a combustibile**, con l'obiettivo di ottenere:

- A. Sistemi di propulsione in grado di assicurare almeno 55 kW per 18 secondi e 30 kW in continuo, durata almeno 15 anni; costo del sistema 12 \$/kW.
- B. Sistemi con celle a combustibile (incluso sistema di stoccaggio idrogeno) con efficienza del 60%, potenza specifica di 325 W/kg e densità di potenza di 220 W/L; costo 45 \$/kW al 2010 e 30 \$/kW al 2015.

**Sviluppo di veicoli ad alta efficienza**, che operano con carburanti idrocarburici "puliti" alimentati con motori a combustione interna o con celle a combustibile, con l'obiettivo di ottenere:

- C. Sistemi con motori a combustione interna con efficienze del 45%, in grado di rispettare i limiti standard fissati per le emissioni.
- D. Sistemi con celle a combustibile (incluso unità di reforming) con efficienze del 45% in grado di rispettare i limiti standard fissati per le emissioni; costo 45 \$/kW al 2010 e 30 \$/kW nel 2015.

**Sviluppo di veicoli elettrici ibridi**, con l'obiettivo di ottenere:

- E. Sistemi di accumulo, durata 15 anni a 300 Wh con potenza di scarica di 25 kW per 18 secondi; costo 20 \$/kW.

un nuovo programma, l'Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructures Technologies Program<sup>6</sup>, in cui le attività sulle celle a combustibile e sull'idrogeno risultano fortemente integrate. Nel 2002, all'interno del programma, che vede la partecipazione delle maggiori industrie, organismi di ricerca ed università statunitensi, sono stati assegnati finanziamenti per un totale di 41,9 milioni di dollari.

Ricordiamo che a gennaio 2002, DoE e United States Council for Automotive Research, che rappresenta le tre maggiori case automobilistiche statunitensi (Daimler-Chrysler, Ford e General Motors) avevano lanciato il programma FreedomCAR (Cooperative Automotive Research)<sup>7</sup>, una collaborazione tra pubblico e privato per promuovere lo sviluppo di celle a combustibile ed idrogeno per autoveicoli (vedi riquadro "Obiettivi Programma FreedomCAR"). Il programma va a sostituire il PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicle), che aveva come obiettivo la realizzazione di veicoli a basso consumo (circa 125 km con poco meno di 4 litri di carburante), entro il 2004.

Per il FreedomCAR sono stati stanziati per il 2003 circa 150 milioni di dollari, la metà dei quali andranno ad attività di R&S su celle a combustibile e idrogeno; la parte

restante è assegnata ad attività di sviluppo di tecnologie a basso impatto ambientale ed in grado di ridurre i consumi di energia (motori a combustione interna di tipo avanzato o motori ibridi gas/elettrico). Per le diverse tecnologie sono stati fissati gli obiettivi da raggiungere al 2010.

Lo sviluppo di veicoli con celle a combustibile e la loro introduzione nel mercato richiede una stretta collaborazione tra industrie ed enti pubblici; in questa direzione si muove la California Fuel Cells Partnership (CaFCP)<sup>8</sup>. Fondata nel 1999 da California Air Resources Board, California Energy Commission, South Coast Air Quality Management District, DaimlerChrysler, Ford, Ballard Power Systems, ARCO, Texaco e Shell, ne fanno parte oggi 29 membri tra costruttori automobilistici, produttori di celle a combustibile, compagnie petrolifere e di trasporto, fornitori di idrogeno ed enti governativi.

Obiettivo del gruppo è quello di provare la tecnologia delle celle a combustibile in "condizioni reali": saranno quindi realizzati e posti su strada oltre 60 veicoli (tra autoveicoli ed autobus) entro il 2003, al fine di dimostrare la fattibilità di un'integrazione di combustibili, come idrogeno o metanolo, nelle attuali infrastrutture di distribuzione, di definire i passi necessari ad avviare la



commercializzazione e di creare condizioni per conquistare consenso da parte dell'opinione pubblica.

In Giappone, il METI (Ministry of Economy, Trade and Industry), attraverso il NEDO (New Energy and Industrial Development Organization), ha avviato nel 1993 il WE-NET (World Energy Network)<sup>9</sup>, un programma trentennale da 2 miliardi di dollari, per la promozione di un sistema energetico basato sull'idrogeno, prodotto principalmente da fonti rinnovabili. Tra i progetti attuati all'interno del WE-NET, vi sono quelli relativi allo sviluppo di veicoli con celle a combustibile e di tecnologie correlate alla produzione e distribuzione dell'idrogeno che dovrà alimentarli.

Lo sviluppo di veicoli a idrogeno riceve pieno appoggio da parte del governo giapponese. Diretto dal METI, è operativo il Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project all'interno del quale cinque case automobilistiche (DaimlerChrysler, General Motors, Toyota, Honda e Nissan) effettueranno test su strada dei loro prototipi per acquisire informazioni utili a migliorare la tecnologia ed a promuoverne la penetrazione nel mercato<sup>10</sup>. Il governo giapponese prevede la creazione di un mercato pari a 50.000 unità entro il 2010 e spera si arrivi a 5 milioni entro il 2020<sup>11</sup>.

In Europa, agli inizi degli anni 90, sono stati avviati diversi progetti dimostrativi che hanno riguardato l'utilizzo dell'idrogeno nel settore della trazione. A parte l'Italia, la cui posizione sarà illustrata nel seguito, iniziative di un certo rilievo sono in corso in Germania<sup>12</sup> ed Islanda<sup>13</sup> ed ultimamente è stato annunciato un forte interesse anche da parte della Francia.

Il settore dei trasporti è riconosciuto dall'Unione Europea come uno dei settori chiave sui quali agire per realizzare uno sviluppo sostenibile. Occorre ricordare che il libro verde della Commissione Europea, "Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico",<sup>14</sup> stabilisce come obiettivo la sostit-

uzione del 20% del petrolio con combustibili alternativi nel settore dei trasporti stradali entro il 2020, nel duplice intento di migliorare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e ridurre le emissioni di gas serra.

Nelle sue strategie d'intervento la Commissione Europea assegna notevole priorità a vettori e tecnologie pulite come idrogeno e celle a combustibile. Nell'ottobre 2002 è stato costituito un gruppo di esperti composto da rappresentanti di grandi industrie europee del settore automobilistico ed energetico, dei servizi pubblici, di istituti di ricerca, con il compito di definire le strategie e le priorità a livello europeo per promuovere la diffusione e l'utilizzo dell'idrogeno e delle celle a combustibile.

Entro la primavera il gruppo dovrebbe presentare un documento che esporrà una serie di idee in merito alle azioni necessarie ad avviare un'economia energetica sostenibile basata sull'idrogeno e ad assicurare competitività alle industrie europee che operano nel campo delle celle a combustibile. Alla relazione dovrebbe seguire un piano d'azione dettagliato e quindi un programma per la ricerca strategica nel settore.

Il Quinto Programma Quadro di ricerca (1999-2002) ha speso 120 milioni di euro per la ricerca sull'idrogeno e le celle a combustibile. Nel Sesto Programma Quadro (2003-2006), la ricerca nel settore dell'energia e dei trasporti farà parte della priorità tematica "Sviluppo sostenibile, cambiamento globale ed ecosistemi", per la quale è stato stanziato un budget complessivo di 2.120 milioni di euro<sup>15</sup>. È previsto che gli stanziamenti per la ricerca sulle celle a combustibile, e in particolare sulle loro applicazioni, e sulle tecnologie dell'idrogeno, aumentino notevolmente rispetto al programma precedente.

I progetti finanziati finora all'interno dei programmi comunitari hanno riguardato sia lo sviluppo della tecnologia di cella, sia la sua integrazione a bordo del veicolo;



sono stati realizzate concept-car e prototipi di autobus. Con finanziamenti europei sono in corso programmi che prevedono l'esercizio sperimentale di alcuni autobus a idrogeno in diverse città europee (Progetto "Fuel Cell Bus for Berlin, Copenhagen and Lisbon"<sup>16</sup>; Progetto CUTE, "Clean Urban Transport for Europe"<sup>17</sup>).

#### Programmi dei costruttori automobilistici

Tutte le maggiori case automobilistiche sono impegnate nello sviluppo di prototipi di veicoli con celle a combustibile (tabella 9), stimolate dal fatto che questa tecnologia in futuro sarà certamente favorita dalle sempre più stringenti normative emesse in favore dell'ambiente<sup>18</sup>. Le diverse aziende stanno impegnando notevoli risorse nella realizzazione di prototipi dimostrativi, basti pensare che la sola DaimlerChrysler ha investito negli ultimi anni oltre un miliardo di dollari. Data l'entità degli investimenti ed i tempi lunghi necessari per un ritorno degli stessi, la strategia dei grandi costruttori è comunque quella di coalizzarsi per ripartire i costi di ricerca e sviluppo. Nel corso del 2002 sono stati fatti notevoli progressi nel settore, particolarmente significativi sono i risultati conseguiti dalla General Motors<sup>19</sup>, con il progetto AUTONOMY e il prototipo Hy-wire (Hydrogen by-wire), presentato al Salone dell'Automobile di Parigi nel settembre 2002. General Motors, anziché adattare il sistema a celle a combustibile alla struttura di un'autovettura tradizionale, ha deciso di mettere a punto un veicolo dal design completamente innovativo.

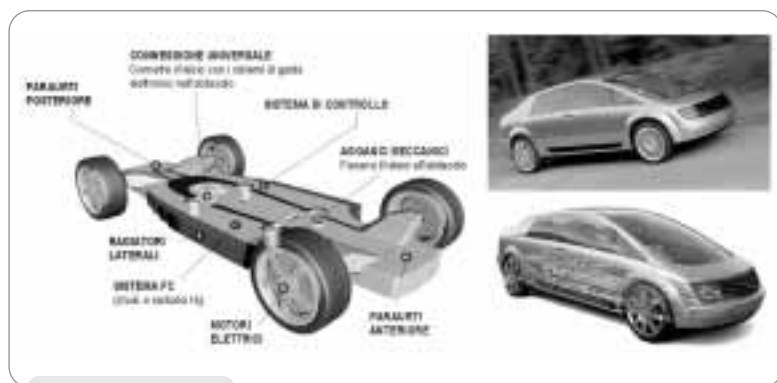
Come possiamo notare dalla figura 6, le celle a combustibile, le bombole di idrogeno e i sistemi di controllo dell'auto sono compressi all'interno di un sottile pianale (meno di 28 cm di spessore) simile ad uno skate-board, che lascia completa libertà nella configurazione del veicolo.

La cella installata sull'auto ha una densità di potenza di circa 1,60 kW/l (0,94 kW/kg) e produce 94 kW continui, con picchi fino a

Organizzazione	Veicolo	Anno	Combustibile
DaimlerChrysler	NECAR 4A	2000	Idrogeno compresso
	NECAR 5 e 5.2	2000	
		2001	Metanolo
	Jeep Commander 2*	2000	Metanolo
	Sprinter (van)	2001	Idrogeno compresso
	Natrium	2001	Idrogeno/Sodio boroidruro
F-Cell	2002	Idrogeno compresso	
Ford Motor Co.	Focus FC5	2000	Metanolo
	Th!nk FC5	2000	Idrogeno compresso
	FCHV*	2002	Idrogeno compresso
General Motors Opel	HydroGen1	2000	Idrogeno liquido
	HydroGen3	2001	Idrogeno liquido
	Pick up Chevrolet	2001	Benzina
	HydroGen3	2002	Idrogeno compresso
	Hy-wire (concept car)	2002	Idrogeno compresso
Honda Motor Co.	FC-V3 *	2000	Idrogeno compresso
	FC-V4	2001	Idrogeno compresso
	FCX	2002	Idrogeno compresso
Madza Motor Co.	Premacy FC-EV *	2000	Metanolo
Nissan Motor Corp.	X-terra *	2000	Idrogeno compresso
	X-TRAIL FCV	2002	Idrogeno compresso
Toyota	FCHV-3 *	2001	Idrogeno in idruri
	FCHV-4 *	2001	Idrogeno compresso
	FCHV-5 *	2001	Idrogeno
	FCHV	2002	Idrogeno compresso
Hyundai	Santa Fe FCEV	2000	Idrogeno compresso
Daihatsu	Move FCV-K_II	2001	Idrogeno compresso
Volkswagen	Bora HyMotion	2000	Idrogeno liquido
	Bora HyPower	2002	Idrogeno
PSA/Peugeot	Fuel Cell Cab	2001	Idrogeno compresso
	HYDRO-GEN	2001	Idrogeno compresso
	H <sub>2</sub> O Firefighter (concept car)	2002	Idrogeno/Sodio boroidruro
FIAT	600 Elettra	2000	Idrogeno compresso

**Tabella 9**  
Veicoli a celle a combustibile realizzati nel periodo 2000-2002

129 kW. L'idrogeno che alimenta le celle è contenuto in serbatoi montati al centro del pianale. I tre serbatoi cilindrici per l'idrogeno compresso, costruiti con un composto di poliuretano ad alta densità e di fibra di carbonio, hanno un peso totale di 75 kg e contengono complessivamente 2,0 kg di idrogeno gassoso a 350 bar. Passo successivo nello sviluppo sarà aumentare la pressione dagli attuali 350 bar a 700 bar. La General Motors e la QUANTUM Fuel Systems Technologies Worldwide hanno già ricevuto l'omologazione da parte del TÜV, l'ente di controllo tecnico tedesco, per serbatoi a 700 bar. L'omologazione e certificazione del sistema è avvenuta sulla base dei requisiti EIHP (European Integrated Hydrogen Project) e soddisfa anche lo



**Figura 6**  
Il telaio di Autonomy ed il prototipo Hy-wire

Fonte: GM

standard americano "NGV2" e le direttive nazionali tedesche per i serbatoi in pressione.

Hy-wire, come suggerisce il nome, utilizza la tecnologia *drive-by-wire*, usa cioè comandi elettronici, vengono eliminati quindi tutti i sistemi meccanici presenti in una vettura convenzionale, inclusi il motore, la colonna dello sterzo, i pedali per freni, frizione ed acceleratore. La gestione dell'auto è affidata a una sorta di cloche, che permette di sterzare, accelerare, frenare e può essere spostata facilmente a sinistra o a destra. La General Motors dichiara che, grazie al numero estremamente ridotto di componenti, il nuovo veicolo a celle a combustibile alimentato a idrogeno risulterà alla fine più economico e affidabile di quelli dotati di motore a combustione interna.

L'auto è frutto di un progetto congiunto: la General Motors ha sviluppato negli USA telaio e carrozzeria, così come l'integrazione dei componenti meccanici ed elettrici; nel centro ricerche Opel di Magonza-Kastel, in Germania, è stato realizzato il sistema di propulsione a celle a combustibile; la carrozzeria è stata realizzata dalla Bertone di

Torino, mentre la svedese Skf Group ha curato la tecnologia *by-wire* nei suoi laboratori in Olanda ed in Italia.

Fonte: DaimlerChrysler

Altro evento importante, Toyota ed Honda<sup>20</sup> nel dicembre 2002, anticipatamente rispetto alle previsioni, hanno consegnato ai primi clienti (enti di governo ed istituzioni giapponesi) i loro modelli FCHV e FCX, auto a idrogeno con un'autonomia di 350 km e velocità fino a 150 km/ora. Le vetture sono offerte in leasing rispettivamente a 9.500 euro (Toyota) e 6.500 euro (Honda) al mese, con contratti della durata di 30 mesi. La Honda ha in programma di distribuire 30 auto fra California e Giappone nei prossimi due o tre anni. La Toyota si muove nella stessa direzione e conta di portare in circolazione 20 vetture ibride dotate di celle a combustibile entro la fine dell'anno. Queste saranno riservate ad istituti di ricerca, amministrazioni pubbliche e aziende energetiche e non ancora al grande pubblico.

In Europa, DaimlerChrysler ha presentato, a otto anni dall'avvio del progetto NECAR, i primi veicoli a celle combustibile che verranno prodotti come vetture di serie, seppure in numero ridotto di esemplari, e che entro l'anno circoleranno in Europa, Stati Uniti, Giappone e Singapore.

L'iniziativa interesserà 60 Mercedes Classe A "F-Cell"<sup>21</sup> e 30 bus urbani Citaro (figura 7), che saranno affidati alle aziende di trasporto di dieci città europee (Amsterdam, Amburgo, Barcellona, Londra, Lussemburgo, Madrid, Porto, Stoccolma, Stoccarda e Reykjavik)<sup>17,22</sup>.

Esperti del settore sostengono che occorrerà almeno un decennio per la diffusione commerciale di veicoli a celle a combustibile; la disponibilità di piccole flotte di vetture prima del previsto costituisce in ogni caso un promettente avvio.

A parte General Motors e Toyota, che sviluppano in proprio celle a combustibile, le altre case automobilistiche hanno accordi di fornitura con i diversi produttori di stack; la tecnologia maggiormente utilizzata è quella della Ballard Power Systems (Vancouver, Canada), leader mondiale nella produzione di celle ad elettrolita polimerico.

**Figura 7**  
Autobus Citaro



### *Le prospettive di sviluppo*

Le prospettive di mercato per i veicoli a celle a combustibile sono tali da giustificare l'entità delle risorse impegnate nel settore (circa 1 milione di euro all'anno). Analisi condotte in questo campo fanno prevedere che, anche in presenza di una penetrazione molto graduale a partire dal 2005, potrebbero raggiungersi buoni livelli di produzione nell'arco di pochi anni, considerata l'ampiezza del mercato automobilistico.

Uno studio di mercato presentato nel 2000 dalla Texaco Energy Systems prevede che dopo il 2024, nel caso di risoluzione di tutti i problemi connessi alle celle a combustibile ed alle infrastrutture, la metà delle auto vendute potrebbe essere alimentata con celle a combustibile<sup>23</sup>.

Stime del Department of Energy, eseguite nello stesso periodo, indicano che i veicoli con celle a combustibile costituiranno l'1,3% del mercato nel 2010 e l'8,24% nel 2020; valore quest'ultimo in linea con le previsioni Texaco che per il 2020 riporta una cifra pari all'8,6%.

Un recente studio dell'ABI (Allied Business Intelligence) stima che dal 2012 potrebbero entrare in circolazione 800.000 veicoli con celle a combustibile<sup>24</sup>. La Opel ha annunciato che per il 2010 il 10% della sua produzione potrebbe essere costituito da auto a celle a combustibile, mentre Ford sostiene che entro la fine del decennio la sua produzione sarà di 50.000 unità all'anno.

Per arrivare alla commercializzazione è necessario risolvere ancora importanti questioni: occorre creare una rete in grado di produrre e distribuire capillarmente l'idrogeno e tecnologie idonee a stoccarlo in modo affidabile e sicuro a bordo del veicolo, e non ultimo arrivare ad ottenere costi compatibili con il mercato dei trasporti. Si ritiene, quindi, che l'idrogeno sia proponibile nel breve-medio termine principalmente per flotte di veicoli e che possa divenire il combustibile ideale per tutte le tipologie di veicoli solo nel lungo termine.

Per questo motivo per la fase di transizione

l'industria automobilistica sta valutando anche la possibilità di generare l'idrogeno direttamente a bordo del veicolo, a partire da metanolo o benzina.

In attesa di una massiccia penetrazione dell'idrogeno sulle auto private, la scelta di puntare inizialmente su mezzi di trasporto pubblici appare strategica, non solo perché mezzi di questo tipo hanno minori problemi per quanto riguarda lo stoccaggio a bordo, ma soprattutto perché le aziende pubbliche sarebbero in grado di dotarsi di proprie stazioni di produzione e rifornimento di idrogeno, superando così uno dei maggiori ostacoli all'introduzione del veicolo ad idrogeno. Risulterebbe inoltre più facile l'erogazione di finanziamenti ed incentivi da parte di governi nazionali o locali per acquisto di veicoli; questo concorrerebbe ad avviare la produzione di serie e quindi sfruttando le economie di scala si potrebbero più facilmente raggiungere costi accettabili per il mercato.

### **Veicoli a idrogeno con motore a combustione interna**

L'uso dell'idrogeno in motori termici tradizionali è stato finora oggetto di ricerca soprattutto da parte di alcuni costruttori automobilistici e non risultavano programmi svolti a livello nazionale che supportassero questa tecnologia, anche se in Germania alcuni progetti ricevono finanziamenti da parte delle amministrazioni di alcuni Länder (Baviera, Amburgo, Berlino). Attività per lo sviluppo di motori a combustione interna a idrogeno di tipo avanzato risultano anche inserite nel Programma Freedom-CAR<sup>8</sup>. Attività di minor rilievo sono in corso presso vari istituti di ricerca, comunque l'impegno su questa tecnologia rimane contenuto e più frammentario rispetto a quello rivolto allo sviluppo di sistemi con celle a combustibile.

La tecnologia ha raggiunto un buon grado di sviluppo nei progetti della BMW<sup>25</sup> che, nel 2000, ha presentato la 750 h1, che può considerarsi la prima vettura a idrogeno



**Figura 8**  
BMW 745 h

Fonte: BMW

realizzata in serie, in quanto prodotta in qualche decina di unità. Il motore 12 cilindri da 5,4 litri, alimentato a idrogeno, sviluppa una potenza di 150 kW, può accelerare da 0 a 100 km/h in 9,6 secondi; la velocità massima è di 226 km/h. Il serbatoio da 140 litri garantisce un'autonomia di circa 350 km. Il tutto è integrato da un sistema a benzina convenzionale, mantenuto per compensare le scarse infrastrutture per la distribuzione dell'idrogeno.

Per dimostrare la validità della sua tecnologia e la sostenibilità di utilizzo dell'idrogeno, una flotta di 15 di queste auto nel corso del 2001 ha effettuato un tour dimostrativo, il "CleanEnergy World Tour", che ha toccato le città di Dubai, Bruxelles, Milano, Los Angeles, fino a Berlino. La flotta ha percorso oltre 170.000 chilometri. A Monaco di Baviera, la BMW utilizza ora queste auto per il servizio di navetta dall'aeroporto alla propria sede.

Dopo la 750 hl, il Gruppo BMW ha presentato la nuova 745 h con motore otto cilindri benzina/idrogeno (figura 8) e un prototipo, la Mini Cooper H, studiato per funzionare esclusivamente a idrogeno.

BMW intende immettere queste auto sul mercato entro tre anni, con distributori per l'idrogeno presso i suoi concessionari; per avere una rete di distribuzione adeguata ritiene che occorreranno almeno 15 anni (per quella data stima una produzione di serie di auto alimentate a idrogeno pari al 5%).

Restando in Germania, occorre ricordare il progetto della tedesca MAN<sup>26,27</sup>, che dal 1997 ha in corso la realizzazione di alcuni autobus a idrogeno destinati all'aeroporto di Monaco ed il progetto WEIT (Wasserstoff-Energie Integration Transport). All'interno del progetto WEI, un gruppo di società private, con sede ad Amburgo, sta utilizzando per il servizio di consegna alcuni furgoni Sprinter Mercedes dotati di motore a combustione interna a idrogeno. Obiettivo è quello di ottenere consenso da parte dell'opinione pubblica, dimostrando che i mezzi ad idrogeno funzionano in modo affidabile e sicuro in ambito urbano.

La Ford a metà del 1999 ha avviato ricerche su motori a combustione interna alimentati a idrogeno e due anni più tardi ha presentato la P2000 H<sub>2</sub>ICE, una concept-car che monta un motore Zetec da 2 litri modificato. L'idrogeno, immagazzinato in un serbatoio da 87 litri (a 248 bar), assicura un'autonomia di 100 km; è prevista una modifica del sistema di stoccaggio per raggiungere i 240 km di percorrenza.

In Giappone, il Musashi Institute of Technology<sup>28</sup> ha lavorato in passato allo sviluppo di veicoli alimentati ad idrogeno ed ha realizzato una serie di auto con motore a combustione interna alimentato a idrogeno liquido. Sempre in Giappone, la Madza ha svolto ricerche in questo campo tra il 1986 e il 1997, anno in cui la società è passata all'alimentazione a celle a combustibile.

### Infrastrutture

Esistono già alcune stazioni in grado di rifornire idrogeno, aperte principalmente per motivi di ricerca; altre sono state o saranno costruite presso le aziende di trasporto impegnate nelle diverse attività dimostrative in corso.

Nel 1999 è stata aperta in Germania, presso l'aeroporto di Monaco di Baviera, nel quadro delle attività del Progetto H<sub>2</sub>MUC<sup>29</sup>, una stazione di servizio pubblica che distribuisce sia idrogeno liquido, che gassoso. L'impianto è frutto di una collaborazione

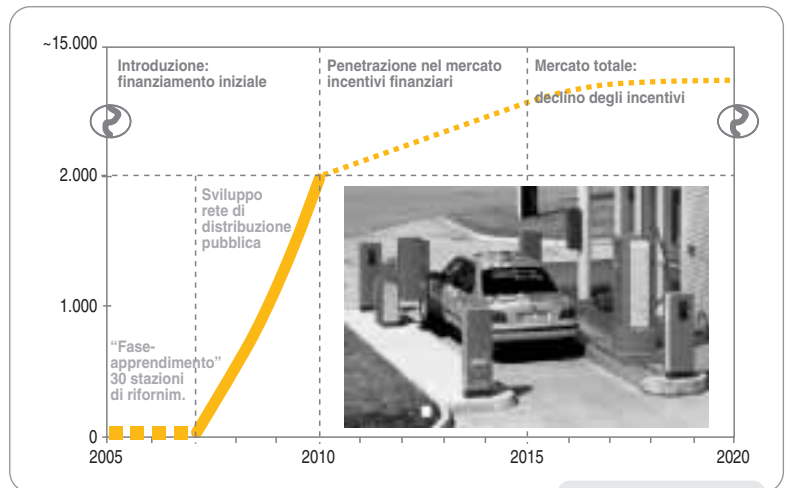


tra BMW, Linde ed Aral ed è in grado di fornire idrogeno liquido in modo totalmente automatizzato.

Solo per citare altri esempi, la Honda nel 2000 ha aperto una stazione a Torrance, in California, dove viene prodotto idrogeno per elettrolisi dell'acqua usando energia elettrica da fonti rinnovabili (energia solare) e, nello stesso Stato, la Sunlite Transit ha reso operativa a Thousand Palms una stazione che offre idrogeno insieme con altri carburanti. In Giappone, nell'ambito del progetto WE-NET, nel febbraio 2002 sono state aperte due stazioni di rifornimento situate rispettivamente ad Osaka e presso l'istituto di ricerca Shikoku di Takamatsu; nell'area Tokyo/Yokohama saranno costruite, con fondi governativi, sei stazioni di servizio entro il 2003, che riforniranno i veicoli che Honda e Toyota stanno consegnando ai primi clienti.

In Europa, significativa è l'iniziativa promossa dal governo tedesco, che nel maggio 1998 ha lanciato il Progetto "Transport Energy Strategy (TES)", in collaborazione con Aral, BMW, DaimlerChrysler, MAN, RWE, Shell e Volkswagen<sup>30</sup>. La finalità del gruppo è quella di definire una strategia per una mobilità sostenibile da attuarsi ricorrendo a combustibili e sistemi di propulsione alternativi. I diversi partner si sono accordati sull'uso dell'idrogeno, sia in forma liquida, sia gassosa. Il progetto dovrebbe portare alla creazione di una rete di distribuzione di idrogeno in Germania; è prevista la realizzazione di 30 stazioni di rifornimento entro il 2007 e si ipotizzano 2.000 stazioni entro il 2010 (figura 9).

A Berlino, nel 2003, diventerà operativa la Berlin Clean Energy Partnership<sup>31</sup>, all'interno della quale Daimler-Chrysler, BMW, Ford, Opel avranno la possibilità di sperimentare i loro veicoli nell'uso quotidiano. Il progetto, avviato in collaborazione con il governo federale tedesco, prevede la dimostrazione di una flotta di circa 30 veicoli (alimentati sia a celle a combustibile sia con motore a combustione interna) e la



Fonte: BMW

**Figura 9**

Ipotesi TES per la creazione di stazioni di rifornimento ad idrogeno compresso

realizzazione da parte della società petrolifera Aral di un'area di servizio per la produzione, lo stoccaggio e la distribuzione dell'idrogeno che provvederà al loro rifornimento. Nella stessa città, nell'ottobre 2002, è stata aperta una stazione di rifornimento presso l'azienda di trasporti Berliner Verkehrs-Betriebe (BVG), realizzata nell'ambito del Progetto "Fuel Cell Bus for Berlin, Copenhagen and Lisbon" cofinanziato dalla Unione Europea<sup>16</sup>. Alla stazione è possibile rifornire i veicoli sia con idrogeno liquido, sia compresso. Quest'ultimo viene generato in situ per via elettrolitica e quindi stoccato a 250 bar.

### Stato delle tecnologie e prospettive di sviluppo in Italia

L'interesse per i veicoli a idrogeno, e più in generale per lo sviluppo dell'idrogeno come vettore energetico, sta crescendo anche in Italia, in connessione con i sempre più gravi problemi di inquinamento ambientale delle aree urbane e con la necessità di ridurre le emissioni di gas serra.

Tale interesse è testimoniato, da un lato, dalla disponibilità di maggiori finanziamenti pubblici per attività di ricerca, sviluppo e dimostrazione in questo campo (ad esempio i circa 90 milioni di euro che si prevede verranno resi disponibili per i prossimi tre anni dal Programma Nazionale Ricerca per

i progetti su idrogeno e celle a combustibile), dall'altro dall'attenzione dei mezzi di informazione e dalle numerose iniziative dei potenziali utenti (Regione Lombardia, vari Comuni ed aziende di trasporto).

Perché l'interesse e le risorse disponibili rappresentino un'opportunità di sviluppo per il Paese occorre operare, da un lato, nel miglioramento delle tecnologie e dei prodotti necessari, dall'altro nella creazione delle condizioni al contorno (infrastrutture, normative, sicurezza, accettabilità da parte degli utenti) in modo da superare gradualmente le barriere alla diffusione dei veicoli a idrogeno. Ciò deve realizzarsi nell'ambito di un intervento più generale per lo sviluppo dell'idrogeno come vettore energetico nel medio-lungo termine.

È opportuno rimarcare che la situazione nazionale, descritta brevemente nel seguito, ha visto le attività in questo campo assumere solo negli ultimi anni un rilievo significativo, anche se con un certo ritardo e con un impegno sensibilmente minore rispetto a quanto in atto a livello internazionale.

### **Sistemi di accumulo**

I veicoli sperimentali finora realizzati hanno tutti utilizzato idrogeno compresso in bombole commerciali. Limitate attività di ricerca sono state condotte in passato sui materiali (idruri) e sulle problematiche connesse con l'omologazione di bombole di tipo avanzato.

Un progetto biennale per lo sviluppo di sistemi di accumulo di idrogeno in leghe metalliche è stato finanziato nell'ambito del FISR (Fondo Integrativo Speciale per la Ricerca) ed è in fase di avvio, con il coordinamento dell'ENEA e la partecipazione di CNR-ITAE, INFM e SAES Getters; sono previste attività di ricerca e sviluppo tecnologico di materiali, sottosistemi e sistemi, fino alla validazione sperimentale, e in modo comparato, della tecnologia.

### **Veicoli con motore a combustione interna**

In questo settore sono state condotte in

passato alcune attività di ricerca e sviluppo da parte dell'ENEA che, in collaborazione con VM Motori e l'Università di Pisa, ha modificato, nei primi anni 90, un veicolo FIAT Ducato, sviluppando iniettori ad hoc per l'alimentazione con idrogeno compresso, contenuto in bombole metalliche collocate in compartimenti isolati. Per evitare i problemi tipici posti dall'idrogeno nei motori è stata adottata la tecnica dell'iniezione (esterna al cilindro) in fase con l'aspirazione e ritardata rispetto all'ingresso dell'aria. In questo modo è stato ottenuto, a potenza massima, un rendimento del 27%, con emissioni di NO<sub>x</sub> ridotte a 40 ppm (valori confrontabili con quelli ottenuti negli stessi anni dalla Mercedes).

I costruttori automobilistici nazionali non hanno finora dedicato particolare attenzione allo sviluppo di veicoli a idrogeno con motori a combustione interna, in assenza di una prospettiva a breve-medio termine per la disponibilità di questo combustibile. Uno sforzo significativo è stato invece fatto per lo sviluppo di veicoli a metano (sia autobus sia vetture), e della rete di distribuzione relativa, acquisendo in questo settore un vantaggio competitivo rispetto ad altri paesi. Tale vantaggio potrebbe avere importanti ricadute, sia a livello di tecnologie veicolari (motori, sistemi di accumulo) sia di infrastrutture, sui veicoli a idrogeno, in configurazione sia con motori a combustione interna, per la cui realizzazione non si prevedono ostacoli tecnici di rilievo, sia più in prospettiva con celle a combustibile.

Il crescente interesse per i veicoli a idrogeno sta in questa fase promovendo alcune iniziative nel settore, come quella della PIEL, che ha modificato per l'alimentazione a idrogeno una FIAT Multipla a metano, e sta portando alcuni potenziali utenti a valutare la possibilità di provare i veicoli della BMW.

### **Celle a combustibile**

In Italia le attività sulle celle ad elettrolita polimerico per trazione sono iniziate nel



1989 nell'ambito di una collaborazione dell'ENEA con la De Nora, che ha portato a mettere a punto una tecnologia di cella originale, che privilegia materiali a basso costo e di facile reperibilità e tecnologie di fabbricazione adatte alla produzione di serie.

La tecnologia sviluppata da De Nora è stata impiegata per la realizzazione di diversi veicoli sperimentali (Renault/Progetto FEVER, PSA Peugeot/Progetto Hydro-Gen, FIAT/600 Elettra) ed autobus (MAN, Neoplan, Ansaldo/Progetto EQHHPP), anche se richiede ulteriori sviluppi per raggiungere prestazioni e costi competitivi rispetto alle applicazioni relative alla trazione.

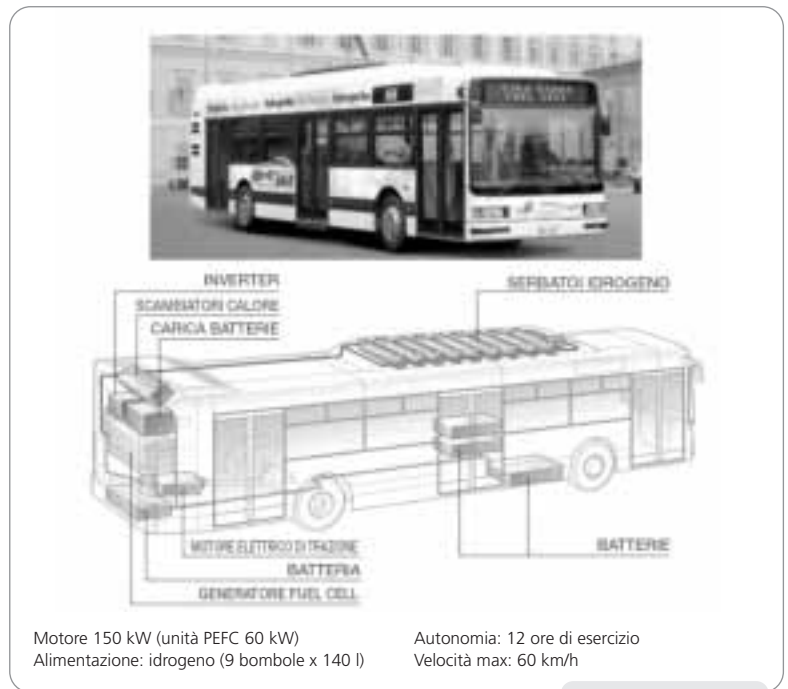
In tal senso si sta muovendo la Nuvera Fuel Cells, società nella quale sono confluite nel 2000 le attività sulle celle ad elettrolita polimerico condotte dalla De Nora, con l'obiettivo di arrivare a disporre di prodotti commerciali per la trazione entro il 2005.

In parallelo allo sviluppo industriale della tecnologia degli stack l'ENEA e il CNR-ITAE di Messina hanno condotto negli ultimi dieci anni attività di ricerca su materiali e componenti, con il coinvolgimento di diverse università (Accordo di Programma Ministero Industria-ENEA fino al 1998 e Programma Ministero Università e Ricerca legge 95/95 dal 1999). In tale ambito sono stati messi a punto componenti e tecnologie di fabbricazione che hanno consentito di raggiungere prestazioni allineate con le migliori ottenute a livello internazionale.

I risultati di tali attività sono importanti anche per promuovere la crescita di altri soggetti industriali nel settore.

Particolarmente interessante, in tal senso, è la collaborazione tra l'ENEA ed una piccola società di Bologna, la Roen Est, che ha portato allo sviluppo di soluzioni innovative, e molto promettenti, per l'ingegneria dello stack, con la realizzazione, a fine 2002, di un modulo da 5 kW.

Le attività di sviluppo di tecnologie e componenti per celle ad elettrolita polimerico proseguiranno per i prossimi due anni in



**Figura 10**  
Progetto Irisbus

un progetto coordinato dall'ENEA nell'ambito del FISR e svolto in collaborazione con istituti del CNR, università e Roen Est.

### Prototipi di veicoli con celle a combustibile

#### Gruppo FIAT

Il Gruppo FIAT è impegnato dal 1998 nello sviluppo di prototipi di veicoli a celle a combustibile con l'obiettivo prioritario di verificare le prospettive tecnico-economiche di questa tecnologia, sia nel campo degli autobus sia delle autovetture. I principali progetti finora realizzati sono illustrati brevemente nel seguito.

*Bus a idrogeno a emissioni zero* – L'Irisbus Italia, società nata dalla fusione dei settori autobus di Iveco e Renault, ha realizzato un autobus ibrido, che è stato presentato ufficialmente a Torino nel maggio 2001 ed il cui impiego su strada è previsto nel 2003. Il veicolo (figura 10), derivato dal CityClass CNG, utilizza una cella a combustibile da 60 kW, sviluppata dalla società americana UTC Fuel Cells.

Il progetto, parzialmente finanziato dal Ministero dell'Ambiente, vede il coinvolgi-



**Figura 11**  
Elettra H<sub>2</sub> Fuel Cell

Motore: 30 kW (PEFC 7 kW)  
Alimentazione: idrogeno  
Autonomia: 100 km (140 km con batteria)  
Velocità max: 100 km/h

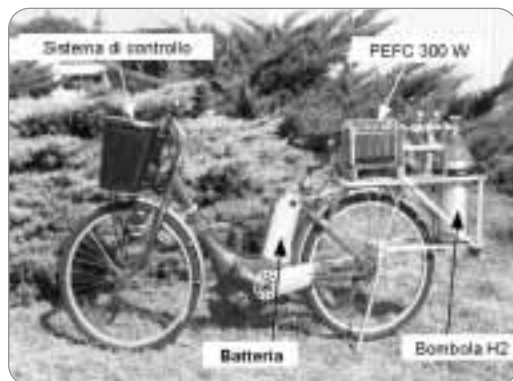
mento di ATM (Azienda Torinese per la Mobilità), per l'impiego in servizio del prototipo; Sapiro, per la produzione e stoccaggio idrogeno; CVA (Compagnia Valdostana Acque), per fornire l'energia elettrica da fonti rinnovabili necessarie per la produzione di idrogeno); ENEA, per il monitoraggio dei risultati; Ansaldo Ricerche, per la fornitura degli azionamenti elettrici.

*600 Elettra Fuel Cell* – La 600 Elettra Fuel Cell (figura 11) è stata presentata al pubblico nel febbraio 2001. Il prototipo è derivato dalla Seicento Elettrica ed è stato sviluppato dal Centro Ricerche FIAT, con finanziamenti di FIAT Auto e del Ministero dell'Ambiente.

Lo *stack* installato nella vettura (fornito da Nuvera Fuel Cells Europe) è alimentato con idrogeno in pressione (200 bar), accumulato in sei bombole (9 litri ciascuna) sistemate nella parte posteriore del veicolo. Per il futuro si prevede di ripristinare l'abitabilità originaria della vettura, ricorrendo ad un diverso sistema di accumulo del combustibile (uso di idruri metallici, ovvero bombole ad alta pressione).

Il recente accordo con la General Motors, che già aveva un impegnativo programma

**Figura 12**  
Bicicletta realizzata presso i laboratori ENEA



di sviluppo per i veicoli a celle a combustibile, potrebbe modificare la strategia d'intervento della FIAT nel settore delle autovetture, con una riduzione delle risorse investite in questo campo, mentre non tocca i programmi di Iveco/Irisbus nel settore degli autobus.

#### *Ansaldo Ricerche*

Opera da diversi anni nel settore delle celle a combustibile per trazione e si è occupata in passato di tutte le problematiche relative alla progettazione e realizzazione del sistema di generazione e del suo impiego a bordo del veicolo, partecipando alla realizzazione di un autobus da 12 metri e di un battello per la navigazione sul Lago Maggiore, entrambi in configurazione ibrida e con idrogeno liquido come combustibile.

Ansaldo Ricerche ha curato anche lo sviluppo degli azionamenti elettrici nell'ambito di progetti europei per autovetture e autobus ed in questo settore è concentrata la sua attenzione per il futuro.

#### *Aprilia*

Ha presentato al Motorshow di Bologna nel dicembre 2000 il primo prototipo di ciclomotore a celle a combustibile, derivato dalla bicicletta a pedalata assistita "Enjoy". Sul veicolo è installata una cella PEFC da 700 W sviluppata dalla Manhattan Scientifics/NovArs. Il *Times* ha dichiarato questo prototipo "Invenzione dell'anno 2001". Durante il 2002 ha realizzato un prototipo di scooter, di potenza maggiore rispetto al precedente, destinato a diventare la base per il passaggio alla fase di test su flotte e quindi alla commercializzazione.

#### *ENEA*

Nell'ambito delle sue attività di sviluppo di prototipi dimostrativi di piccola taglia a idrogeno ha realizzato, utilizzando *stack* della Nuvera Fuel Cells, un sistema di generazione da 5 kW, attualmente in prova al banco, per l'alimentazione di un veicolo

ibrido, ed un prototipo di bicicletta elettrica a pedalata assistita (stack da 300 W). La bicicletta (figura 12), che ha percorso finora quasi 400 km, utilizza idrogeno compresso e, con una bombola da 5 litri a 200 bar (pari a 1 Nm<sup>3</sup>), presenta un'autonomia di 100-130 km (variabile a seconda del tipo di percorso) a fronte dei 20-25 km della bicicletta utilizzante solo batterie.

#### *Altri*

Altri soggetti hanno avviato di recente o stanno avviando in questa fase delle iniziative nel settore. Si ricordano, tra gli altri, il programma promosso dal Comune di Firenze per la realizzazione di un prototipo di autobus a celle a combustibile e, in prospettiva, di una flotta, con la relativa stazione di rifornimento (partner: ATAF, CAM, Nuvera, SOL, ENEA, IM/CNR) e quello analogo previsto dall'ATM di Milano (in collaborazione con Iveco e altri da definire) nell'ambito del programma sull'idrogeno della Regione Lombardia.

### **Le barriere all'introduzione dei veicoli a idrogeno**

Le diverse tipologie di ostacoli, che si oppongono alla penetrazione del veicolo a idrogeno, richiedono uno sforzo notevole per la loro rimozione da parte di tutti i soggetti coinvolti ed in particolare da parte delle autorità pubbliche. Le principali barriere sono:

- tecnologiche;
- strutturali;
- economiche;
- normative;
- di accettazione sociale.

#### **Barriere tecnologiche**

Tra i numerosi problemi da risolvere, quelli più critici sono il miglioramento delle potenzialità del sistema di accumulo dell'idrogeno a bordo e la riduzione dell'incidenza dei metalli nobili nel catalizzatore delle celle.

#### **Sistema di accumulo**

Il sistema d'accumulo dell'idrogeno a bordo costituisce il classico collo di bottiglia per la penetrazione della tecnologia, sia per la limitata autonomia del veicolo ad idrogeno rispetto ai veicoli convenzionali, sia per l'eccessivo peso e ingombro rispetto ai serbatoi attuali. Vanno pertanto intensificati gli sforzi in ricerca, sviluppo e dimostrazione sulle opzioni di stoccaggio praticabili, con l'obiettivo di aumentare la densità energetica sia in volume sia in peso. Gli attuali sistemi di stoccaggio a bordo (idrogeno compresso in bombole d'acciaio a 250 bar e idrogeno liquido in vasi Dewar) rendono possibile la dimostrazione della funzionalità del veicolo ad idrogeno, ma sono ben lungi dalla soluzione ottimale che la diffusione di massa del veicolo ad idrogeno richiede.

#### **Uso di metalli nobili come catalizzatori**

In prospettiva, il costo di una cella ad elettrolita polimerico, realizzata da un sistema di produzione ottimizzato su scala industriale, risulterà molto influenzato dal contenuto di metalli preziosi nel catalizzatore. È pertanto necessaria la prosecuzione dell'attività di ricerca e sviluppo per la riduzione del contenuto di platino e, in prospettiva, l'utilizzo di nuovi materiali sostitutivi di costo inferiore per i catalizzatori.

#### **Barriere strutturali**

La mancanza di una rete di stazioni di rifornimento d'idrogeno per autotrazione è un grosso ostacolo che si oppone alla penetrazione del veicolo ad idrogeno in quanto ne condiziona fortemente l'uso.

L'avvio della realizzazione delle infrastrutture di distribuzione è un'operazione complessa, sia per l'incertezza sulla redditività dell'investimento, in mancanza di una domanda ben quantificabile, sia per la scelta delle tecnologie di produzione dell'idrogeno, della fonte da usare, della modalità d'approvvigionamento, della localizzazione dei siti. Lo sviluppo delle infrastrutture va

attuato insieme con i produttori di autoveicoli ad idrogeno, che devono far conoscere con un certo anticipo i loro piani di produzione, affinché i soggetti interessati alla realizzazione delle infrastrutture siano in grado di renderle disponibili in tempo utile.

Va individuata una prima fase pilota, relativa alla sperimentazione delle flotte, durante la quale l'idrogeno può essere fornito da strutture di produzione realizzate in impianti stazionari esistenti, oppure da strutture ad hoc predisposte presso i gestori delle flotte ed aperte all'utenza esterna, oppure da impianti da realizzare nel sito di stazioni di servizio esistenti, in corrispondenza di aree territoriali ove il livello della domanda garantisca l'economicità dell'impresa.

È molto importante che la commercializzazione degli autoveicoli ad idrogeno sia accompagnata, se non preceduta, dalla realizzazione di un numero adeguato di stazioni di rifornimento distribuite sul territorio, in modo da non pregiudicarne il successo. Si ritiene che la soluzione più vantaggiosa, per il rifornimento dell'idrogeno, sia l'uso

dei siti di stazioni di servizio preesistenti che, nel breve-medio termine, si baseranno su impianti di *steam reforming* del metano, fornito dalla rete o trasportato da furgoni, in bombole o liquefatto.

Nella fase di avvio della realizzazione della rete di stazioni di rifornimento dell'idrogeno, prima che la domanda raggiunga livelli tali da assicurare utili per le imprese, è necessario l'apporto di sovvenzioni e incentivi pubblici tali da coprire le perdite iniziali.

Accanto alle infrastrutture non vanno dimenticate le barriere che dipendono dalla mancanza o inadeguatezza di servizi, come la disponibilità di siti e personale capaci di erogare tutti gli interventi di manutenzione che si potrebbero rendere necessari durante l'uso dei veicoli. La crescita di tali servizi sul territorio dovrebbe essere pianificata in modo analogo a quella delle infrastrutture.

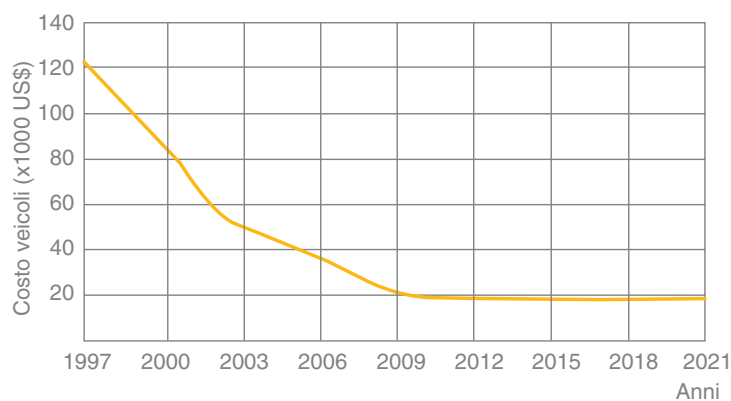
### Barriere economiche

Il costo di un veicolo innovativo, superata la fase prototipale di dimostrazione, durante la quale il costo dell'autoveicolo può rimanere fuori mercato, è fortemente influenzato dalle economie di scala. Anche nel caso del veicolo ad idrogeno il costo di prospettiva è stimato sulla base di ipotesi di crescita del mercato potenziale di medio termine.

Esistono diverse stime sull'evoluzione del prezzo d'acquisto di un veicolo a celle a combustibile alimentato ad idrogeno, sulla base di differenti ipotesi di evoluzione del mercato e della tecnologia nel medio termine.

Le valutazioni, dopo circa 15 anni dall'avvio

**Figura 13**  
Possibile evoluzione del prezzo di veicoli a celle a combustibile



**Tabella 10**  
Stima dei costi dei veicoli a celle a combustibile

Fonte delle stime	Alimentazione veicolo		Benzina		Metanolo		Idrogeno
	Costo (\$/auto)	VCI convenz.	VCI Tech-1	FCV	FCV indiretto	FCV diretto	FCV
DTI (1998)		18.000	-	22.400 24.500	20.800 21.600	-	20.000
Ogden (1998)		18.996	19.196	19.474 19.814	19.124 19.224	-	19.996
Lipman (1999)		20.558	-	-	-	24.495	24.570

VCI = veicolo con motore a combustione interna  
FCV = veicolo con celle a combustibile

della fase di commercializzazione, oscillano verosimilmente intorno al prezzo di 20.000 US\$ per autovettura, superiore di circa 2.000 US\$ rispetto alla stima del prezzo di un'autovettura convenzionale equivalente. Alcune di tali valutazioni sono riportate nella tabella 10 e nella figura 13<sup>32</sup>.

Uno sforzo notevole, anche attraverso incentivi pubblici, è essenziale per assicurare una penetrazione significativa nel mercato e la conseguente riduzione dei costi per l'acquisto delle autovetture da parte dell'utente finale.

### Barriere normative

Le norme vigenti (autorizzative, di sicurezza, stradali), che regolano l'uso e la circolazione degli autoveicoli, sono generalmente emesse sulla base delle caratteristiche della tecnologia prevalente di trasporto e spesso costituiscono una barriera alla penetrazione delle nuove tecnologie. È stato così nel caso del veicolo elettrico e la stessa cosa si ripropone per il veicolo a idrogeno. È eclatante, in tal senso, l'impossibilità in Italia di omologare il recipiente in materiale composito, che ne impedisce l'uso per i combustibili gassosi in pressione.

Si rendono pertanto necessari interventi tempestivi, mirati all'adeguamento della normativa, per non ritardare ulteriormente e/o impedire la commercializzazione e l'utilizzo del veicolo ad idrogeno, così come sono utili norme incentivanti, che privilegino la circolazione degli autoveicoli a idrogeno nei centri urbani, in quanto caratterizzati da basso o nullo impatto ambientale.

### Barriere di accettazione sociale

A livello psicologico, i cittadini tendono mediamente a privilegiare l'uso delle tecnologie consolidate perché più familiari e quindi percepite più sicure e più vantaggiose. Accanto a ciò vanno aggiunte alcune perplessità di ordine pratico, dovute ad esempio all'incertezza di poter disporre di un mercato dell'usato per il veicolo dove eventualmente rivendere l'autovettura

dopo un certo numero di anni, alla difficoltà in alcuni casi di assicurare i veicoli e/o di avere premi di assicurazione simili a quelli dei veicoli convenzionali ecc.

La penetrazione di una nuova tecnologia va quindi sempre accompagnata da una campagna di informazione tendente a modificare l'atteggiamento del cittadino per ridurre le barriere di accettabilità sociale, attraverso una chiara evidenziazione dei vantaggi connessi alla tecnologia e delle modalità per superare i possibili inconvenienti. A tal fine le autorità pubbliche, anche in collaborazione con le industrie interessate, dovrebbero farsi carico delle campagne di informazione per rendere familiare presso la cittadinanza le tecnologie dei veicoli ad idrogeno, rassicurandola soprattutto sotto l'aspetto della sicurezza e dimostrando che le prestazioni non hanno niente da invidiare rispetto agli altri tipi di veicoli.

Ovviamente un compito fondamentale delle autorità dovrà essere quello di promuovere nei cittadini una sensibilità ambientale sempre più spinta e della coscienza di essere sempre più protagonisti nella realizzazione di uno sviluppo della società compatibile con la salvaguardia dell'ambiente. In mancanza della creazione di una tale coscienza civica sarebbe alquanto difficile preconizzare un grande successo per l'introduzione delle tecnologie dei veicoli ad idrogeno.

## Analisi d'impatto delle diverse tipologie di veicoli

### Approccio metodologico

Per procedere all'introduzione di una nuova tecnologia veicolare, come quella dei veicoli a idrogeno, occorre verificare che tale operazione sia caratterizzata da reali vantaggi in termini complessivi, vale a dire che i benefici siano concreti e misurabili e che i costi delle nuove soluzioni possano essere resi comparabili a quelli delle tecnologie in competizione.



La varietà di soluzioni veicolari possibili (intese come combinazione di veicoli e combustibili) per le varie tecnologie alternative, tra cui l'idrogeno, richiede che una scelta meditata delle tecnologie più promettenti possa essere fatta solo in seguito ad un'analisi quantitativa basata sull'uso di metodologie adeguate in grado di determinare gli effettivi impatti ambientali (locali e globali) ed i costi associati alla tecnologia in questione. Tale analisi è uno strumento indispensabile, non soltanto per l'utente finale, ma anche, e principalmente, per gli organi politici, che possono proporre adeguate politiche di sostegno per l'utilizzo delle tecnologie migliori. Occorre quindi confrontare tra loro le varie opzioni a disposizione, delineando quali siano le tecnologie più promettenti ed eventualmente il tipo di mercato che si prospetta (generale o di nicchia per usi di tipo specifico).

È importante sottolineare che, per avere senso, i confronti devono essere effettuati prendendo a riferimento tecnologie caratterizzate da un livello simile di maturità; ciò richiede che i veicoli esaminati abbiano già scontato i prevedibili difetti che i nuovi prototipi sovente mostrano e che soprattutto il ventaglio dei costi non risulti troppo ampio. È chiaro, infatti, che le tecnologie innovative sono caratterizzate da costi significativamente più alti delle tecnologie già mature e che questo handicap risulta tanto più grande quanto più i veicoli sono a livello prototipale. Pertanto un confronto fatto sulla situazione presente introdurrebbe fatalmente distorsioni in sede di analisi, in quanto sarebbero logicamente troppo favorite le tecnologie già affermate. Tali distorsioni potrebbero però essere notevolmente ridotte se il confronto fosse fatto partendo da soluzioni tecnologicamente mature. In realtà l'adozione di questa ipotesi comporterebbe altri tipi di problemi, poiché uno stesso stadio di maturazione non viene raggiunto dalle diverse tecnologie contemporaneamente, per cui il confronto andrebbe fatto considerando tempi diversi.

È conveniente perciò trovare un compromesso, che può essere basato sull'ipotesi di considerare veicoli già pienamente sviluppati dal punto di vista tecnologico, anche se con differenze di costi ancora sensibili, mantenendo però la coerenza temporale per quanto attiene al momento della verifica. In tal modo ci si può spostare ad una data futura che potrebbe essere collocata intorno all'anno 2010, ovviamente effettuando il confronto, prendendo in considerazione veicoli che già incorporano i miglioramenti prevedibili nell'intervallo temporale da adesso al momento della verifica.

Entrando nel merito delle tecnologie da valutare sono state prese in considerazione, per le autovetture, le seguenti tecnologie:

- VCI (veicoli a combustione interna) a benzina;
- VCI a gasolio;
- VCI a gas naturale compresso (CNG);
- Veicoli a metanolo a celle a combustibile (FC);
- VCI a idrogeno;
- veicoli a idrogeno a celle a combustibile;
- veicoli elettrici;
- veicoli ibridi.

### L'impatto energetico e ambientale

Per pervenire a valutazioni realmente rappresentative si deve tenere conto dell'intera catena energetica, considerando le varie fasi di produzione dell'energia finale a partire dalla fonte primaria, della sua trasmissione e distribuzione e dell'uso a bordo del veicolo per poter adeguatamente fornire l'energia e la potenza necessaria per il moto. Questo approccio, cosiddetto *well to wheels* ("dal pozzo alle ruote"), è utilmente suddiviso nelle due componenti principali: produzione del "combustibile" (*well to tank*, che comprende tutte le fasi fino alla stazione di servizio) ed uso a bordo (*tank to wheels*, che invece considera gli impatti associati con l'uso del veicolo). Questa distinzione mira anche a caratterizzare gli elementi più significativi di ciascuna tecnologia per evidenziarne gli aspetti critici o



maggiormente favorevoli.

In realtà un'analisi completa dovrebbe comprendere tutto il ciclo di vita del veicolo, partendo dai materiali di base ed includendo tutte le fasi di assemblaggio e produzione dei veicoli, il loro utilizzo ed infine la loro radiazione, con le relative fasi di smantellamento e recupero dei materiali. Tuttavia l'indisponibilità di indicazioni completamente certe per parecchie delle nuove tecnologie, stante l'impossibilità di determinare i processi di riferimento in alcuni casi e la mancanza di dati affidabili in altri, renderebbe alquanto complessa e laboriosa un'analisi di tale genere.

È invece molto più significativa un'analisi *well to wheels*, che conduce a stime nettamente più attendibili ed utilizzabili per scelte di tipo strategico. Ciò non vuol dire che un'analisi *well to wheels* sia estremamente semplice, in quanto la valutazione degli impatti e dei consumi delle tecnologie veicolari dipende da numerosi parametri non tutti determinati o disponibili in maniera omogenea e confrontabile. Ad esempio, i veicoli hanno comportamenti e prestazioni che dipendono dalle loro caratteristiche (massa, coefficiente aerodinamico, area frontale), dal loro uso (ciclo di lavoro e missione tipica) ed infine dalle modalità in cui gli impatti sono calcolati. Studi specifici confermano la necessità di adattamenti alle diverse condizioni geografiche, tecnologiche e/o politiche e di mercato e l'estrema

variabilità di tali valutazioni. Sono attualmente disponibili modelli, codici di calcolo e studi che consentono un'analisi degli impatti e delle emissioni *well to wheels* del sistema veicolo/combustibile con riferimento a diverse tipologie di tecnologie veicolari e di scenari evolutivi.

In questo documento, partendo dai risultati dei diversi studi disponibili per le autovetture, che rappresentano di gran lunga la maggiore componente del parco veicolare, e dalle condizioni tipiche italiane (mix energetico, processi di produzione e distribuzione del combustibile), si effettueranno le previsioni di sviluppo nel medio-lungo termine delle diverse tecnologie, incluse quelle convenzionali, per le combinazioni di veicoli e combustibili più interessanti, riportate in tabella 11.

#### Il consumo durante la produzione ed il trasporto dei combustibili

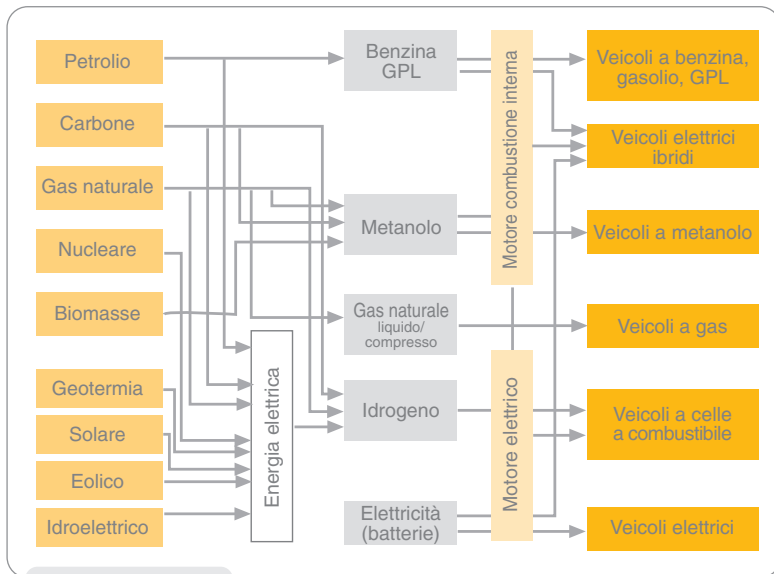
L'energia richiesta per rendere disponibile il combustibile finale alla stazione di servizio dipende dalle caratteristiche del combustibile di partenza e dall'efficienza delle varie fasi del processo di estrazione, produzione e trasporto. La figura 14 mostra i collegamenti possibili tra fonti primarie, vettori energetici e veicoli.

L'efficienza di estrazione del petrolio grezzo e di gas naturale è intorno al 98%, mentre l'efficienza media di trasporto varia tra il 98,3% (petrolio) e il 99% (gas naturale).

Fonte di energia primaria	Combustibile finale	Sistema di trazione del veicolo			
		Termico	Ibrido elettrico	Celle a combustibile	Elettrico a batteria
Petrolio	Benzina	X	X		
	Gasolio	X	X		
	Idrocarburi vari	X		X	
Gas naturale	Gas naturale compresso	X	X	X	
	Gas naturale liquido	X		X	
	GPL	X		X	
	Metanolo	X	X	X	
Rinnovabili	Idrogeno	X	X	X	
	Etanolo	X		X	
	Metanolo	X	X	X	
Varie	Idrogeno	X	X	X	
	Elettricità				X

**Tabella 11**

Combinazione di veicoli e combustibili esaminati



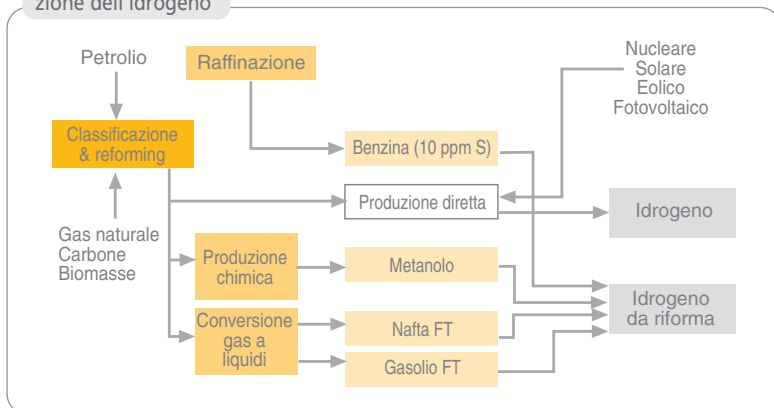
**Figura 14**  
Percorsi dei combustibili e vettori energetici dalle fonti ai veicoli

In raffineria il petrolio grezzo è trasformato, con un'efficienza media del 94% (90% per la benzina e 96% per il gasolio), in carburante che viene poi trasportato alle stazioni di servizio con un rendimento medio del 99,5% (trasporto per mezzo di autocisterne a stazioni entro i 100 km dal luogo di produzione).

Il gas naturale è invece trasportato direttamente alle stazioni di servizio dove viene accumulato in forma gassosa (in contenitori sotto pressione con un rendimento energetico, per compressioni da 7 a 250 bar, pari al 98,8%) o in forma liquida (con un rendimento di liquefazione del 91%).

L'energia elettrica è una forma di energia di alta qualità, che può essere prodotta da varie fonti con rendimenti ed emissioni

**Figura 15**  
Processi di produzione dell'idrogeno



estremamente variabili, in dipendenza delle fonti primarie e degli impianti di produzione: il rendimento energetico medio per la produzione di energia elettrica, in Europa, può essere collocato intorno al 40% (in funzione del mix di generazione e dell'anzianità degli impianti). Per trasferire l'elettricità all'utente finale è necessario impegnare ulteriore energia con un rendimento di trasmissione e distribuzione pari al 93%.

Infine, la produzione di idrogeno può essere effettuata con processi diversi (elettrolisi/dissociazione dell'acqua, steam reforming, ossidazione parziale) a partire da composti/fonti diversi (gas naturale, carbone, petrolio, fonti rinnovabili, biomasse). La figura 15 riassume le possibili combinazioni tra processi, prodotti di partenza ed intermedi.

In funzione del processo scelto, intervengono nella catena energetica le relative distribuzioni e passaggi intermedi (eventuale compressione oppure liquefazione alle sottostazioni di ricarica). In caso di produzione centralizzata ed a bordo i rendimenti energetici variano tra il 71 ed il 79%.

Il processo di produzione tipico dell'idrogeno è lo *steam reforming* centralizzato da gas naturale, che è attualmente il più efficiente (fino all'86% di efficienza energetica con emissioni associate di CO<sub>2</sub> pari a circa 70 g/MJ prodotto).

Una visione futura che ipotizzi l'instaurarsi di un'economia dell'idrogeno si fonda ovviamente su soluzioni tecnologiche capaci di minimizzare o eliminare le emissioni di CO<sub>2</sub> associate al processo di produzione. In particolare, si pensa alla separazione e confinamento della CO<sub>2</sub>, nel breve e medio termine, ed alla utilizzazione esclusiva di fonti rinnovabili nel medio-lungo termine.

### Il consumo durante l'uso del veicolo

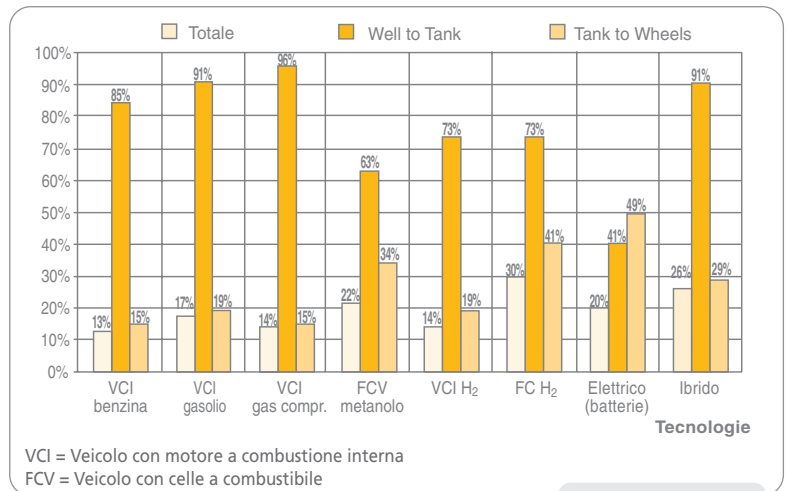
Le prestazioni dei veicoli dipendono in misura rilevante dalle condizioni di uso (ciclo di lavoro) e dalle caratteristiche del veicolo stesso. Lo sviluppo tecnologico sta sempre

più cercando di migliorare le prestazioni dei veicoli nelle diverse configurazioni possibili, mediante una progettazione mirata alle modalità di uso ed al combustibile da impiegare. La figura 16 mostra i rendimenti dal pozzo alle ruote di alcune tipologie di veicoli che sono state prese in considerazione nell'attuale confronto.

Nella tabella 12 è infine fornita un'indicazione sui rendimenti delle varie fasi a partire dalla fonte primaria alle ruote, passando per il punto intermedio, ovvero la pompa di distribuzione. Per semplicità, i dati riportati in tabella dal pozzo alla pompa includono tutte le fasi di lavorazione e trasporto. Occorre ricordare che i rendimenti indicati in tabella sono estrapolati al 2010 da dati di letteratura ed includono i prevedibili sviluppi e modifiche nella produzione dei combustibili e nelle prestazioni dei veicoli. Dalla tabella si desume che il veicolo a benzina ha il più basso rendimento totale, dove però pesa in particolare il basso rendimento durante l'uso, mentre nel caso del veicolo elettrico a batteria, che pure ha un rendimento maggiore, avviene il contrario, pesando negativamente la fase di produzione di energia. Il veicolo a idrogeno utilizzando le celle a combustibile è caratterizzato da un rendimento complessivo più che doppio del veicolo a benzina e ciò rende già interessante l'approfondimento dei confronti.

### Le emissioni dei gas

Le emissioni dovute alla produzione dei combustibili ed al loro uso nei veicoli sono difficili da determinare, analogamente a quanto indicato per i consumi. In generale, la produzione di CO<sub>2</sub>, e più in generale dei gas serra, è strettamente collegata ai rendimenti dell'intera catena energetica. D'altra parte, le emissioni di vari agenti inquinanti a livello locale, quali monossido di carbonio (CO), idrocarburi incombusti (HC) ed ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), dipendono in misura rilevante dai combustibili utilizzati, dalle caratteristiche dei veicoli e dai dispositivi per controllare le emissioni. La distinzione



**Figura 16**  
Confronto efficienze delle tecnologie veicolari

delle emissioni nelle diverse fasi di produzione e distribuzione del combustibile e del suo uso a bordo del veicolo assume una particolare rilevanza pratica, in quanto è la base per capire ed individuare i luoghi e le fasi in cui risulta particolarmente critico l'impatto del sistema dei trasporti.

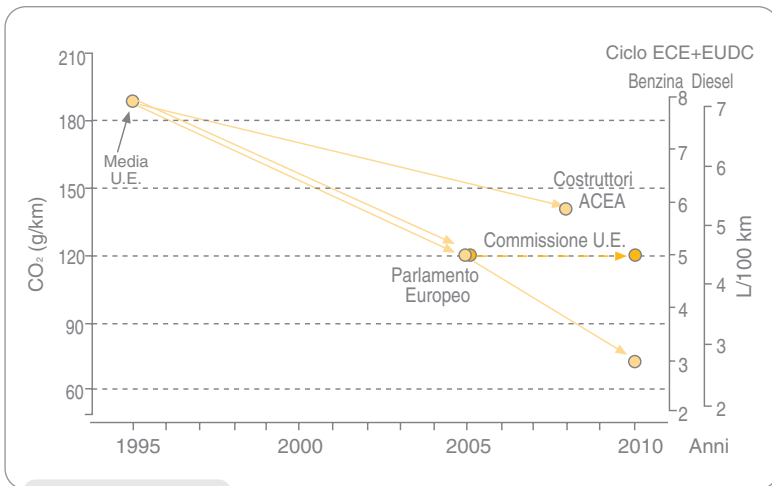
### Le emissioni di gas serra

Dalle considerazioni precedenti sui rendimenti ed i consumi di energia, è possibile determinare per le varie tipologie di autoveicoli le emissioni di gas serra. La figura 17 presenta le proiezioni di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> dei costruttori di veicoli europei, in parte oggetto di un accordo volontario con la Commissione Europea. La figura 18 presenta le emissioni distinte tra quelle emesse durante la produzione e distribuzione del vettore energetico, e quelle emesse durante l'uso del veicolo, ri-

**Tabella 12**  
Efficienza delle varie fasi dal pozzo alle ruote (*well to wheels*)

Tecnologia/fase	Well to tank	Tank to wheel	Well to wheel
	Totale	Veicolo	Totale
VCI benzina	84,7%	15,0%	12,7%
VCI gasolio	90,8%	19,2%	17,4%
VCI gas naturale compresso	96,0%	15,0%	14,4%
Celle a comb. metanolo	63,2%	34,0%	21,5%
VCI idrogeno	73,5%	19,2%	14,1%
Celle a comb. idrogeno	73,5%	40,5%	29,8%
Elettrico a batterie	40,7%	49,5%	20,1%
Ibrido	90,8%	28,6%	26,0%

VCI = Veicolo con motore a combustione interna



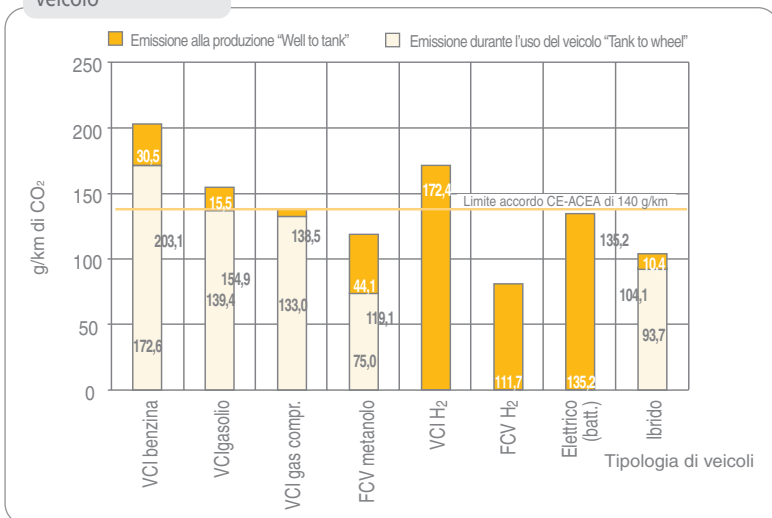
**Figura 17**  
Proposte di riduzione dei consumi ed emissioni di CO<sub>2</sub>

spetto al limite europeo al 2008.

È evidente dal confronto dei risultati presentati che i veicoli che utilizzano idrogeno puro e quelli elettrici a batteria non hanno emissioni di CO<sub>2</sub> durante l'uso. Il livello più basso di emissione in assoluto corrisponde ai veicoli ad idrogeno a celle a combustibile, mentre alte emissioni si ottengono dall'uso di veicoli ad idrogeno a combustione interna, in quanto pesa molto la fase di produzione, che, si ricorda, è ipotizzata a partire dal gas naturale.

La figura non tiene conto altresì della possibilità di separare e sequestrare la CO<sub>2</sub> prodotta. Ovviamente, in presenza di produzione da fonte rinnovabile o con sequestro della CO<sub>2</sub>, gli andamenti sarebbero molto diversi.

**Figura 18**  
Emissioni di CO<sub>2</sub> di autoveicoli dal pozzo alle ruote distinte nelle fasi di produzione del combustibile e di uso del veicolo



### Le emissioni di gas regolamentate

Le attuali normative e regolamenti stanno sempre più riducendo le emissioni degli autoveicoli durante il loro uso. La figura 19 confronta i vari limiti di emissioni dei veicoli regolamentate in Europa (EURO III e IV) e negli Stati Uniti (TIER II) con le emissioni previste per veicoli a celle a combustibile alimentati da idrogeno puro o metano.

Si nota chiaramente che le emissioni dei veicoli a celle a combustibile sono nulle al punto di uso, consentendo un salto di qualità rispetto alle pur ridotte emissioni consentite dalle nuove normative.

### L'impatto economico

#### Considerazioni generali e ipotesi di base

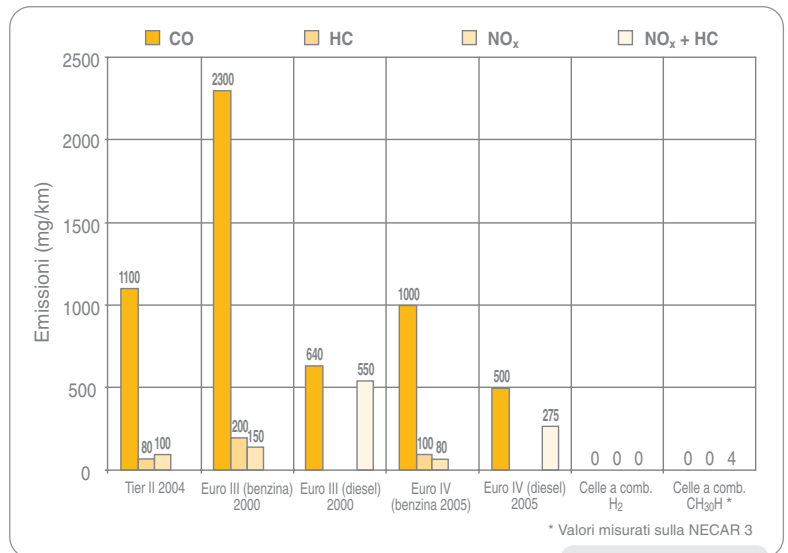
Il calcolo dei costi delle tecnologie veicolari deve essere fatto considerando tutti gli elementi che concorrono alla loro formazione. Essendo già state evidenziate le difficoltà di effettuare valutazioni sull'intero ciclo di vita (è, infatti, del tutto velleitario calcolare i contributi ad esempio delle operazioni di smaltimento di tecnologie non ancora ben definite), si procederà ad un'analisi leggermente più ristretta, che prende in considerazione il percorso "dal pozzo alle ruote" che è più facilmente quantificabile. È importante segnalare che, per quanto attiene alle tecnologie veicolari innovative, la loro introduzione fornisce contributi positivi allorché si procede alla valutazione delle esternalità, soprattutto per quanto attiene agli effetti ambientali. Il portare in conto le esternalità corrisponde ad una tendenza che si sta sempre più estendendo sulla base del principio dell'internalizzazione degli impatti, ovvero dell'assunzione che chi produce i danni è tenuto a farsi carico parzialmente o completamente dei costi. Per procedere su questa linea si deve associare alle varie esternalità un valore monetario che deve tenere conto, in tutti i casi in cui ciò è possibile, anche di quanto occorre spendere per rimuovere gli impatti.

Per ogni tecnologia devono quindi essere portati in conto i contributi di costo associati ai seguenti elementi:

- fonte energetica primaria, includendo sia il costo del processo di trasformazione e trasporto sia le accise prevedibili;
- veicolo;
- esternalità negative (rapportando le valutazioni alle emissioni dei veicoli, piuttosto che alle concentrazioni di inquinanti).

In realtà un ulteriore contributo alle esternalità negative è quello corrispondente all'utilizzo di risorse energetiche non rinnovabili, che però è estremamente complesso tenere in considerazione. Anche il costo delle infrastrutture non viene messo in conto, in quanto ciò creerebbe un'ulteriore penalizzazione indebita per le fonti energetiche alternative e per l'idrogeno; infatti, per gli attuali carburanti sono già stati sostenuti i costi per realizzare una rete capillare di stazioni di servizio e si può ragionevolmente affermare che il loro costo non incide più in modo significativo sul costo del carburante (ovviamente per quanto attiene agli investimenti). D'altra parte i costi di operazione si possono ritenere simili, per cui l'effetto è l'aggiunta di un termine costante alle varie tecnologie. Parimenti, dal paragrafo precedente relativo alle barriere, anche il costo del veicolo ipotizzato in corrispondenza di una presenza sul mercato per i veicoli ad idrogeno (e per le altre tecnologie) non è caratterizzato da ampie escursioni. Ciò autorizza a semplificare ulteriormente il calcolo, omettendo tale contributo dal computo, visto che l'obiettivo non è tanto quello di determinare un valore assoluto di costo, ma piuttosto quello di confrontare tra loro i costi delle tecnologie, in modo da determinare quali di esse potrebbero avere le maggiori prospettive di successo. In tal modo il confronto diviene più semplice, pur mantenendo un adeguato livello di attendibilità.

Il calcolo delle esternalità negative è un'operazione alquanto delicata, in quanto occorre parametrizzare i diversi impatti tra-



**Figura 19**  
Limiti di emissioni regolamentate degli autoveicoli

sformandoli in grandezze tra loro omogenee. In genere ci si riconduce al calcolo di costi equivalenti, ma spesso i parametri di conversione non sono né facilmente reperibili, né caratterizzati da livelli di attendibilità soddisfacenti (sia in termini assoluti, sia in termini relativi, a causa di differenti livelli di determinazione dei vari parametri che possono comportare grosse incertezze sulle valutazioni finali). Ulteriori elementi che devono essere tenuti in considerazione sono i seguenti:

- un criterio di mera monetizzazione può non sempre essere corretto, in quanto in molti casi è comunque difficile esprimere i costi, soprattutto perché non tutti i processi sono caratterizzati da un livello adeguato di conoscenza;
- i costi vanno ad incidere su diversi soggetti, per cui le scelte degli utenti sono basate su considerazioni che hanno alla base solo alcuni dei contributi di costo; per rendere quindi più attendibili gli esiti dei confronti occorrerebbe individuare nella realtà dei meccanismi capaci di ricondurre tutti i costi sostenuti all'utente finale.

In conclusione i costi risultanti, se da una parte possono fornire un'idea più chiara sulla praticabilità di certe soluzioni, dall'altra devono essere comunque integrati da considerazioni aggiuntive per formulare



giudizi corretti ed evitare distorsioni nella scelta delle tecnologie vincenti.

La notevole letteratura disponibile<sup>33-39</sup> ha fornito il materiale di partenza per costruire le basi dei confronti.

Per i costi delle tecnologie si ricorda che il riferimento temporale è l'anno 2010, in cui tutte le tecnologie, comprese quelle dell'idrogeno e delle celle a combustibile, saranno giunte ad un sufficiente livello tecnologico di sviluppo. Ciò comporta che i confronti siano effettuati considerando anche il prevedibile miglioramento delle prestazioni delle tecnologie convenzionali, che dovranno soddisfare nuovi requisiti in termini sia di emissioni di inquinanti (Euro IV ed eventuali nuove direttive, benzene, contenuto di SO<sub>2</sub> nei carburanti ecc.) sia di emissioni di CO<sub>2</sub> (ad es. accordi volontari tra Commissione Europea e costruttori di autoveicoli).

Concludendo, i costi saranno calcolati sulla base delle seguenti ipotesi:

- per i costi della fonte primaria, il petrolio si manterrà sugli attuali livelli (22-30 \$/barile), così come il gas naturale, mentre i costi di raffinazione non subiranno variazioni sensibili;
- il costo dei carburanti includerà il contributo delle accise, e gli oneri fiscali della fase di produzione;
- per l'idrogeno e il metanolo si assumerà

nulla l'incidenza delle accise per verificare che almeno teoricamente ci siano prospettive di mercato;

- il costo delle autovetture rimarrà stabile, al netto dell'inflazione per i veicoli tradizionali, mentre quello dei veicoli innovativi sarà leggermente superiore; vista la piccola differenza tale contributo non sarà portato nel computo;
- non saranno portati in conto i costi operativi (manutenzione, assicurazione, tasse di proprietà ecc.), in quanto si presume possano incidere in modo simile sul costo unitario, ad eccezione del consumo di carburante;
- si prenderà a riferimento un'autovettura di media cilindrata;
- l'impatto ambientale sarà calcolato prendendo a riferimento una città di dimensioni medio-grandi (con numero di abitanti superiore a centomila), sia perché si riesce ad intercettare un segmento piuttosto ampio della popolazione europea, sia perché in tal modo le stime possono assumere un carattere maggiormente conservativo. Infatti, l'adozione di normative di carattere ecologico e ambientale potrebbero comportare l'esclusione dei veicoli convenzionali dall'accesso alle città rendendo quindi ancora più vantaggioso il ricorso a veicoli innovativi a emissione nulla o comunque molto ridotta.

**Tabella 13**  
Costi del consumo di combustibili per le varie tecnologie

Tecnologia	Unità	Costo unitario	Costo alla pompa	Costo (€/GJ)	Consumo (MJ/km)	Costo unitario (€/1000 km)		
VCI benzina	€/1000l	389,5	1091,78	33,12	2,42	80,15		
VCI gasolio	€/1000l	356,41	885,72	24,58	1,89	46,45		
VCI gas naturale compresso	€/GJ	4,03	11,35	11,35	2,42	27,47		
Celle a combustibile metanolo	€/1000l	368,57	368,57	23,67	1,07	25,26		
Elettrico a batterie	€/kWh	0,07	0,1258	34,94	1,89	66,05		
Ibrido	€/1000l	356,41	885,72	24,58	0,90	22,03		
VCI a idrogeno	Impianto centralizzato con sequestro CO <sub>2</sub>	min.	€/GJ	17,00	17,00	17,00	2,59	44,01
		max.	€/GJ	20,00	20,00	20,00	2,59	51,78
	Impianto on-site senza sequestro CO <sub>2</sub>	min.	€/GJ	15,00	15,00	15,00	2,59	38,84
		max.	€/GJ	30,00	30,00	30,00	2,59	77,67
Celle a combustibile a idrogeno	Impianto centralizz. con sequestro CO <sub>2</sub>	min.	€/GJ	17,00	17,00	17,00	1,23	20,87
		max.	€/GJ	20,00	20,00	20,00	1,23	24,56
	Impianto on-site senza sequestro CO <sub>2</sub>	min.	€/GJ	15,00	15,00	15,00	1,23	18,42
		max.	€/GJ	30,00	30,00	30,00	1,23	36,83

VCI = Veicolo con motore a combustione interna



**Tabella 14**  
Costi unitari delle  
emissioni veicolari

Tipo veicolo	Costo degli inquinanti (€/1000 km)							Totale esternalità
	Gas serra (CO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> )	PM	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	Cancerogeni (VOC)		
VCI benzina	15,75	6,00	0,01	0,03	0,11	0,72	22,62	
VCI gasolio	11,99	6,00	0,01	0,01	0,11	0,54	18,66	
VCI gas naturale compresso	11,04	0,60	0,00	0,01	0,11	0,36	12,12	
Celle a combustibile metanolo	9,34	0,90	0,01	0,00	0,11	0,13	10,49	
Elettrico a batterie	10,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,46	
Ibrido	8,06	3,63	0,01	0,00	0,07	0,33	12,09	
VCI idrogeno con sequestro CO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,11	
VCI idrogeno senza sequestro CO <sub>2</sub>	18,22	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	18,38	
Celle a comb. idrogeno con sequestro CO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Celle a comb. idrogeno senza sequestro CO <sub>2</sub>	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,67	

VCI = Veicolo con motore a combustione interna

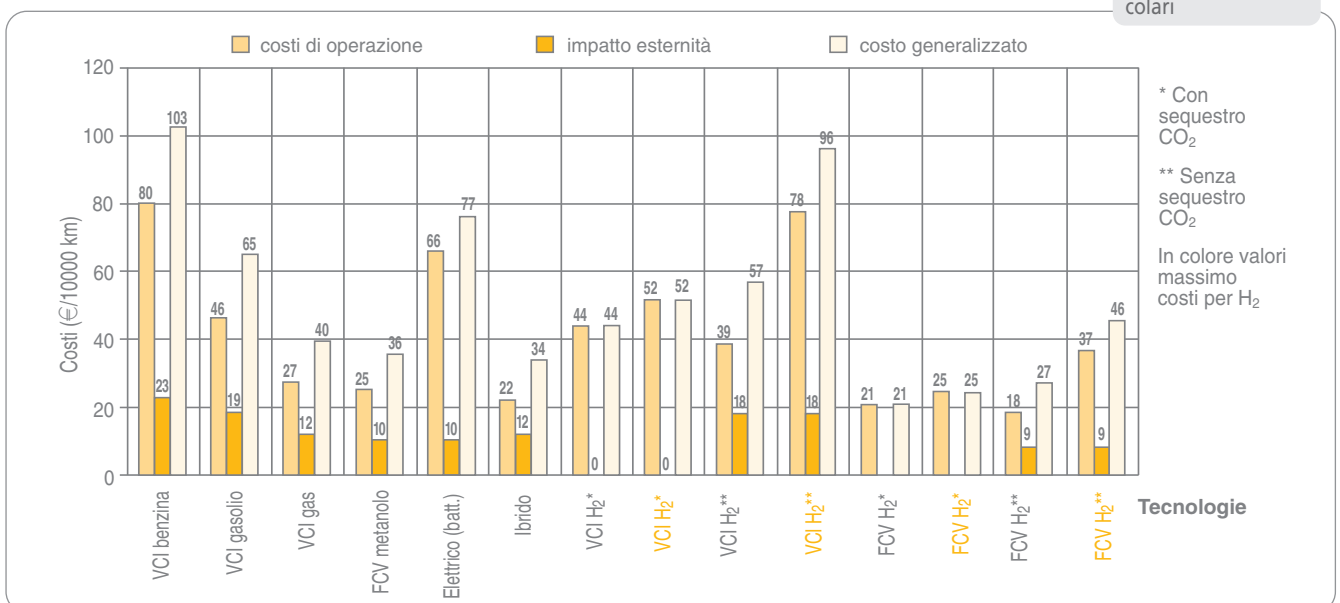
### Confronto dei costi

Sulla base delle efficienze “dal pozzo alle ruote” riportate nella tabella 12 del paragrafo precedente, vengono determinati i costi del combustibile per le diverse tipologie di veicoli considerate. Tali costi possono essere calcolati a partire dal costo alla pompa e dai consumi *tank to wheels* tenendo conto delle varie unità di misura.

I risultati sono indicati nella tabella 13, dove si ricorda che sia per l'idrogeno sia per il metanolo sono nulli i contributi delle accise, che potrebbero gravare sul costo del combustibile alla stazione di servizio, in modo da verificare se tali vettori possono essere

competitivi almeno in linea teorica. È facile verificare che per questi carburanti il costo unitario alla pompa è compreso nel ventaglio dei costi dei combustibili più tradizionali. Dalla tabella si può anche evincere che le indicazioni risultanti dei costi unitari dei consumi favoriscono notevolmente l'adozione dell'idrogeno, quando è usato con le celle a combustibile, mentre dimostrano una convenienza limitata quando l'idrogeno è impiegato nei motori di tipo convenzionale. Dati interessanti caratterizzano anche il metano che, al momento, risulta essere il combustibile avente il costo per unità di energia più basso, in corrispondenza di accise nulle.

**Figura 20**  
Confronto dei costi  
delle tecnologie veicolari



Considerando l'impatto delle emissioni inquinanti si ottiene la tabella 14<sup>40-43</sup> dove sono indicati i costi unitari delle emissioni, per i vari prodotti ed il totale, ovviamente riferendosi ad un ambito urbano.

Il calcolo, per i gas serra, prende in considerazione l'emissione complessiva *well to wheels*, mentre per gli inquinanti considera solamente l'emissione prodotta dal veicolo durante l'uso, in quanto le fasi di produzione dei carburanti interessano aree a bassa densità di popolazione e comunque possono essere adottati provvedimenti a valle per abbattere le emissioni nocive. In ogni caso l'effetto delle esternalità risulta essere complessivamente più piccolo del contributo relativo al consumo. Occorre anche rimarcare che spesso gli impatti più bassi delle esternalità si associano alle soluzioni energeticamente più efficienti, per cui ne migliorano l'appetibilità.

È utile sottolineare che, comunque, il contributo ambientale incide al momento in modo relativo, ma è prevedibile che il suo peso possa crescere in futuro per la sempre maggiore attenzione della collettività verso gli effetti sulla salute. In tal caso le nuove tecnologie saranno ancora più avvantaggiate e potranno assumere un ruolo più importante, soprattutto se porzioni sempre più ampie di tali costi saranno indirizzate direttamente verso i principali responsabili degli impatti. Considerando in conclusione tutti i contributi si può costruire la figura 20, dove per le tecnologie relative all'idrogeno sono riportate tutte le combinazioni relative ai costi e al sequestro o meno della CO<sub>2</sub> emessa durante la fase di produzione.

Dall'esame dell'ultima della figura si evince facilmente che l'idrogeno nella configurazione motore a combustione interna comporta costi complessivi piuttosto alti, appena inferiori a quelli dei veicoli a benzina. Perciò, anche se l'opzione nel breve termine può essere presa in considerazione, perché si devono introdurre modifiche molto limitate al sistema di trazione con

scarse ripercussioni sul costo del veicolo, a lungo termine tale tecnologia non sembra avere grosse prospettive.

Invece, nella configurazione in cui l'idrogeno è accoppiato alle celle a combustibile, i costi complessivi sono estremamente ridotti, anche quando l'opzione di sequestro della CO<sub>2</sub> non è attivata. Ciò dimostra che l'uso dell'idrogeno può essere un'opzione economicamente praticabile, che potrà assorbire una quota significativa di mercato, anche perché con il crescere del numero di veicoli le differenze di costo si ridurranno sempre più, garantendo i vantaggi asintotici indicati in figura.

Ottimi risultati caratterizzano anche l'uso del metano per il quale valgono considerazioni analoghe all'idrogeno utilizzato in motori a combustione interna, ma che diversamente da quest'ultimo assicura già da subito un basso costo di operazione e ridotto impatto ambientale. L'uso del metano potrebbe favorire l'accettazione dei combustibili gassosi da parte degli utenti e fornire una buona base per un successivo ingresso nel mercato dei veicoli a idrogeno basati sulle celle a combustibile. Tra l'altro, da un ampio uso del metano, si potrebbe avere come ricaduta la creazione delle infrastrutture necessarie per la distribuzione dei combustibili gassosi, di cui potrebbe beneficiare l'idrogeno, riducendo i costi per la creazione delle proprie infrastrutture.

## Conclusioni

La riduzione dell'impatto energetico e ambientale del trasporto, soprattutto stradale, richiede interventi ad ampio spettro, che devono riguardare sia la gestione della domanda e del sistema nel suo insieme, che lo sviluppo di combustibili alternativi e di nuove tecnologie veicolari.

L'impiego dell'idrogeno, in veicoli che utilizzano la tecnologia delle celle a combustibile, si presenta come una delle soluzioni più promettenti per il medio-lungo termine. Infatti lo sviluppo dell'idrogeno come

vettore energetico, ed il suo uso nei trasporti, può consentire, in prospettiva, una diversificazione delle fonti impiegate (fossili nella prima fase, con successivo passaggio alle rinnovabili) ed una riduzione significativa delle emissioni, sia a livello locale, sia globale (gas serra). Le analisi ed i confronti effettuati mostrano significativi vantaggi, sia in termini energetici che ambientali, dei veicoli a idrogeno rispetto alle altre tecnologie veicolari, pur tenendo conto per queste ultime della notevole evoluzione prevista nel medio termine.

Tali vantaggi spiegano gli ingenti sforzi, in atto da parte dei maggiori costruttori automobilistici, con il sostegno pubblico, per lo sviluppo di veicoli che abbiano caratteristiche competitive con quelli convenzionali, in termini di prestazioni e costi. I risultati finora ottenuti, con la disponibilità di prototipi sempre più avanzati per le diverse categorie di veicoli, fanno ritenere che possa aversi un avvio della commercializzazione entro due-tre anni, in accordo con quanto previsto dai costruttori più impegnati nel settore, come DaimlerChrysler e Toyota.

La penetrazione nel mercato sarà comunque graduale e potrà assumere valori significativi solo dopo il 2010, man mano che saranno superate le numerose barriere, sia tecniche sia non tecniche, che la diffusione di questa nuova tecnologia veicolare incontra. È necessario infatti che ulteriori miglioramenti dei componenti e del sistema siano affiancati da azioni che portino a notevoli riduzioni dei costi, ad un'estesa disponibilità di idrogeno nel territorio, con le relative infrastrutture di produzione e distribuzione, alla disponibilità di servizi di assistenza e manutenzione, all'adeguamento della normativa, alla diffusione di informazioni che favoriscano l'accettazione della tecnologia da parte degli utenti. Tali azioni richiederanno investimenti ingenti e distribuiti su qualche decennio, sia da parte dei governi che delle aziende coinvolte a vari livelli.

Anche in Italia è necessario produrre uno

sforzo organico in tal senso, superando la frammentarietà delle attività condotte finora, se si vuole partecipare in maniera attiva e con un ruolo significativo al processo di sviluppo e commercializzazione di questa nuova generazione di veicoli e, più in generale, delle tecnologie dell'idrogeno, che appare sempre più come il vettore energetico del futuro.

## Bibliografia

1. Key World Energy Statistics. 2001 Edition, <http://www.iea.org/statist/key2001/keyworld-2001.pdf>.
2. Z. SAMARAS, R. COFFEY, N. KYRIAKIS, G. KOUFODIMOS, F.J. WEBER, D. HASSEL, R. JOURMARD, *Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport*, Aristotle University Thessaloniki, MEET Deliverable 7, LAT Report 9829, Thessaloniki (1998).
3. Comunicato stampa, European Environmental Agency, Copenhagen, 20 aprile 2001 <http://org.eea.eu.int/documents/newsreleases/newsrelease20010423-en>.
4. Rapporto Energia e Ambiente 2001, ENEA Direzione Studi, <http://www.enea.it>.
5. C. KOURIDIS, L.NTZIACHRISTOS, Z. SAMARAS, *COPERT III - V2.0 - User's Manual*, Technical Report, giugno 2000.
6. U.S. Department of Energy/Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies, *Progress Report for Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies Program*, novembre 2002.
7. FreedomCAR Partnership Plan, settembre 2002, [www.cartech.doe.gov](http://www.cartech.doe.gov).
8. <http://www.fuelcellpartnership.org>.
9. T. HUIKATA, *Research and development of international clean energy network using hydrogen energy (WE-NET)*, International Journal of Hydrogen Energy, 27 (2002) 115-129.
10. Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project, <http://www.jhfc.jp>.
11. ISHITANI, M. DAITO, K. TANAKA, S. TANGE, *Prospect for Fuel cells Vehicles; a Japanese Perspective*, Proceedings of Seventh Grove Fuel Cell Symposium, Londra, 11-13 settembre 2001; <http://www.auto-asia.com/viewcontent.asp?pk=5897>.
12. <http://www.hydrogen.org/germanh2/index.html>.
13. B. ÁRNASON. T. I. SIGFUSSON, *Iceland - A future hydrogen economy*, International Journal of Hydrogen Energy, 25 (2000) 389-394.
14. Libro Verde Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico, 2001, [http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/it/lp\\_i\\_it.html](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/it/lp_i_it.html).
15. VI Programma Quadro, <http://ftp6.cordis.lu>; Gazzetta ufficiale delle Comunità europee, L 294/1 del 29 ottobre 2002.

16. Fuel cell Bus Project, <http://www.eu.web.de/fuel-cell-bus>.
17. Brochure Cute Project, <http://www.fuel-cell-bus-club.com/brochure1.pdf>.
18. B. WALSH, *Auto Companies on Fuel Cells*, <http://www.fuelcells.org/AutoCompanieonFuelCells.pdf>.
19. <http://gm.com/company/gmability/>.
20. <http://www.hydrogen.org/news/gazette.html>.
21. Rassegna stampa DaimlerChrysler, <http://www.daimlerchrysler.com>.
22. Ectos Project, <http://ectos.is>.
23. R. DEMPSEY, *Fuel Cell Bus Workshop*, New York, 27-28 aprile, 2000 .
24. ALLIED BUSINESS INTELLIGENCE, *ABI Updates Its Automotive Fuel Cell Forecast for the Coming Decade*, <http://www.alliedworld.com/fce.html> .
25. Rassegna stampa BWM Group, [www.bmw-group.com](http://www.bmw-group.com) .
26. R. WÜRSTEL, H. KNORR, W. PRÜMM, *Bavarian Liquid Hydrogen Bus Demonstration Project - Safety, Licensing and Acceptability Aspects*, 'Hydrogen Power Now' – 9<sup>th</sup> Canadian Hydrogen Conference, 7-10 febbraio 1999, Vancouver, BC, Canada.
27. H. KNORR, W. HELD, W. PRUMM, H. RUDINGER, *The MAN hydrogen propulsion systems for city buses*, International Journal of Hydrogen Energy 23 (1998). 201-208.
28. <http://www.herc.musashi-tech.ac.jp> .
29. K. PEHR, P. SAURMANN, O. TRAEGER, M. BRACHA, *Liquid hydrogen for motor vehicles - the world's first public LH2 filling station*, International Journal of Hydrogen Energy 26 (2001) 777-782; <http://www.hyweb.de/h2muclintroe.html>.
30. W. HEUER, *The TES project. A joint initiative for an additional fuel infrastructures*, J. of Power Sources 80, (2000) 158.
31. U. BÜNGER, *Current Status and Perspectives of Hydrogen Energy Related Activities in Germany*, Proceedings dell'International Conference on Hydrogen Age of Asia, 27 - 28 novembre 2001, Tokyo (J).
32. C.E. THOMAS, B.D. JAMES, F.D. LOMAX, *Market Penetration Scenarios for Fuel Cell Vehicles*, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 23, No. 10, pp. 949-966, 1998.
33. R. RAUSO, *Nuove tecnologie per il risparmio energetico: i nuovi carburanti*, Conferenza Annuale OCSE sul Trasporto Sostenibile, Alghero, 14-15 giugno 2000.
34. *Well to Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems-North American Analysis*, Executive Summary Report, General Motors and alii, aprile 2001.
35. M. AHMAN, *Primary Energy Efficiency of Alternative Powertrains in Vehicles*, Energy 26 (2001), pag. 973-989.
36. B. JOHANSSON, M. AHMAN, *A Comparison of Technologies for Carbon Neutral Passenger Transport*, Transportation Research Part D 7 (2002), pag. 175-196.
37. J.J.J LOUIS, *Well to Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions for Various Vehicle Technologies*, SAE 2001 World Congress, marzo 2001.
38. B. JOHANSSON, *The Economy of Alternative Fuels when Including the Cost of Air Pollution*, Transportation Research Part D 4 (1999,) pag. 91-108.
39. P. MISZEY, E. NEWSON, *Comparison of Different Vehicle Powertrains*, Journal of power sources 102 (2001), pag. 205-209.
40. K.A. ADAMSON, P. PEARSON, *Hydrogen and Methanol: a Comparison of Safety, Economics, Efficiencies and Emissions*, Journal of power sources 86 (2000), pag. 548-555.
41. A. BAUEN, D. HART, *Assessment of the Environmental Benefits of Transport and Stationary Fuel cells*, Journal of power sources 86 (2000), pag. 482-494.
42. *I costi ambientali e sociali della mobilità in Italia - Quarto Rapporto*, Amici della Terra-Ferrovie dello Stato – Anno 2002.
43. *I Costi e i Benefici Esterni del Trasporto*, ANFIA – ACI 2001.

## ERRATA CORRIGE

Nell'indice 2001 di *Energia, Ambiente e Innovazione*, apparso nel n. 6/02 della rivista, alle pagine 93 e ss., sono stati per errore omessi gli articoli pubblicati nella rubrica "Scienza, tecnica, storia e società".

Ce ne scusiamo con gli autori e con i lettori.

MARCHAL HUGUES, *Tecnica e letteratura: scrivere nell'età del computer*, (I) 80

MULLIS KARY B., *Cosa è successo al metodo scientifico?* (II) 81

BORRELLI FAUSTO, ... *E venne il giorno del genoma*, (III) 71

NORELLI FRANCESCO, *La solidità delle incertezze: appunti sulla conoscenza scientifica e i suoi problemi* (I Parte), (IV) 66

NORELLI FRANCESCO, *La solidità delle incertezze: appunti sulla conoscenza scientifica e i suoi problemi* (II Parte), (V) 58

LEMLEY BRAD, *Vita, improbabilità e multiverso*, (VI) 79

# La **forza** misurabile

ARIANNA BORRELLI\*

scienza, tecnica,  
storia & società

Negli anni del Settecento e del primo Ottocento, il concetto di forza costituì un tramite fondamentale fra riflessione filosofica, ricerca scientifica e sviluppo tecnico. La sovrapposizione, l'interazione e, a volte, anche la confusione dei risultati di queste tre attività umane portarono a trasformazioni della cultura europea, fra cui la più importante fu con ogni probabilità la cosiddetta scoperta della legge di conservazione dell'energia

## **Measurable force**

*In the 18<sup>th</sup> and early 19<sup>th</sup> centuries the concept of force was a fundamental connection between philosophical reflection, scientific research and technical development. Overlapping, interaction and (sometimes) even confusion among the results of these three human activities deeply altered European culture. The most important change was probably the so-called discovery of the law of conservation of energy*

\* Arianna Borrelli si è laureata in Fisica presso l'Università di Roma nel 1988, ed ha successivamente lavorato nel campo della Fisica teorica delle alte energie presso l'INFN di Roma, il CERN di Ginevra e l'Istituto Paul Scherrer (Villigen, Svizzera). Si è poi laureata in Filosofia presso la Technische Universität di Braunschweig (Germania), dove attualmente usufruisce di una borsa di studio per lo svolgimento del Dottorato di Ricerca in Storia della scienza e della tecnica.



Questo articolo si propone di gettare uno sguardo su quegli aspetti dell'idea di "forza", che al lettore odierno appaiono particolarmente alieni ed ostici, ma la cui importanza nel discorso scientifico-filosofico dell'epoca non va in alcun modo sottovalutata.

I passi citati non sono scelti con lo scopo di dare risposte, ma di suscitare domande e nello stesso tempo con la speranza di incuriosire, interessare e anche divertire.

### Prologo: che cosa è la forza?

Posta in termini così generali, la domanda appare quasi insensata. Come risposta evoca tutt'al più un riferimento scherzoso al film *Guerre Stellari*, ma su questo torneremo più avanti. Eppure, di forza oggi si parla molto, o meglio si parla di molti tipi di forza: la forza della personalità, la forza elettrica e quella gravitazionale, le forze militari, la forza dei muscoli e la forza d'animo necessaria ad affrontare le difficoltà della vita.

Cosa hanno tutti questi disparati concetti in comune? In effetti, poco o nulla, e perciò sembra insensato chiedere cosa sia la forza.

### La forza: presente e passato

Particolarmente inconciliabili appaiono oggi, da un lato, le forze considerate misurabili e, dall'altro, quelle che sfuggono a qualsiasi tipo di quantificazione. Fra le prime abbiamo la forza di gravità, la forza di un terremoto o del vento e la forza elettromotrice di un motore; fra le seconde la forza di volontà, la forza del destino, quella dell'abitudine o anche la forza di un argomento evidente.

Nel passato, però non è sempre stato così: per tutto il Settecento e per la prima metà dell'Ottocento fu possibile discutere animatamente sulla natura, la misura e la con-

servazione della forza. "Forza" che, a seconda della lingua dei disputanti, prendeva il nome latino "vis", quello inglese o francese "force" oppure quello tedesco "Kraft". Si trattava spesso di un concetto metafisico universalmente valido, di cui però si poteva anche ricercare la misura.

Nelle discussioni dell'epoca è non solo difficile, ma spesso impossibile, distinguere fra la disputa filosofica sull'esistenza di un principio unificante l'infinita varietà del mondo sensibile e l'interpretazione scientifica dei fenomeni di conservazione dell'energia.

Proprio su questo tema lo storico e filosofo della scienza Thomas S. Kuhn (1922-1996) pubblicò nel 1969 un articolo, tuttora molto discusso, dal titolo "La conservazione dell'energia come esempio di scoperta simultanea"<sup>1</sup>. Kuhn sostenne che la scoperta della conservazione dell'energia, effettuata contemporaneamente da numerosi ricercatori nella prima metà dell'Ottocento, fosse il risultato della combinazione di tre fattori: in primo luogo, la scoperta di processi di conversione fra lavoro meccanico, potenza elettromotrice e calore; in secondo luogo, l'interesse alle macchine a vapore e ai motori elettrici dovuto alla rivoluzione industriale; in terzo luogo, la diffusione di idee legate al movimento filosofico detto "Naturphilosophie", che sosteneva l'esistenza di un principio unificante ogni manifestazione materiale e non.

Secondo Kuhn, le radici della scoperta della conservazione dell'energia risiederebbero quindi non solo nella ricerca scientifica "pura", ma anche nello sviluppo tecnico-economico e nella riflessione filosofica. Nelle pagine che seguono vorrei offrire alcuni esempi del variegato e (per noi) sfuggente concetto di forza dei pensatori della prima età moderna. Questa panoramica vuole offrire un'occasione per comprendere meglio il legame passato, presente e futuro fra scienza, tecnica e filosofia.

<sup>1</sup> T. S. Kuhn, "Energy conservation as an example of simultaneous discovery", in: M. CLAGETT (Ed.), *Critical problems in the history of science* (Madison e. a. 1969) p. 321-356.

## La forza di Leibniz: la conservazione metafisica e la sua misura

Alla fine del Seicento il filosofo tedesco Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) si trovò impegnato in una discussione con vari pensatori di scuola cartesiana su quale fosse la vera misura della forza di un corpo in moto. Cosa intendevano per vera misura? Cosa era la forza di un corpo per loro?

Sia Leibniz sia i suoi avversari partivano dall'indiscusso presupposto che la forza, intesa da entrambi come la capacità di essere causa di moto, non potesse venire in natura né creata né distrutta, ma solamente trasmessa da un corpo all'altro.

Per i cartesiani la forza di un corpo era proporzionale alla sua massa ( $M$ ) ed alla sua velocità ( $V$ ): la misura della forza non era dunque altro che la quantità di moto  $MV$ . Per Leibniz le cose stavano invece diversamente: il moto era per lui una quantità relativa e quindi irrealizzabile, la forza, invece, no; e si trattava di una differenza dotata di profondo significato metafisico.

Questa considerazione della forza distinta dalla quantità di moto è assai importante non soltanto in fisica, [...] ma anche in metafisica; [...] il moto infatti, se si considera solo ciò che esso comprende precisamente e formalmente, cioè un cambiamento di luogo, non è una cosa interamente reale [...] Invece la forza o causa prossima di questi cambiamenti, è qualcosa di più reale, e vi è un serio fondamento per attribuirle a un corpo piuttosto che ad un altro<sup>2</sup>.

Leibniz, rifacendosi ai risultati di Galileo Galilei (1564-1642) sulla caduta dei gravi, sosteneva che la vera misura della forza fosse la quantità  $MV^2$ , da lui detta "forza viva". Dato che la "forza viva" è proporzionale all'odierna energia cinetica ( $1/2MV^2$ ),

si è voluto vedere in Leibniz il primo "scopritore" della legge di conservazione dell'energia. Eppure per lui la conservazione osservata e misurabile della "forza viva" non costituiva affatto un argomento a favore della conservazione della forza. Quest'ultima era dimostrabile solo sulla base di considerazioni metafisiche, e sperimentalmente si poteva solo stabilire in quale forma sensibile e misurabile essa si manifestasse.

## La forza di Newton: matematica, fisica e volontà divina

Nelle sue opere Isaac Newton (1642-1727) utilizzò il termine "forza" (lat. *vis*, ingl. *force*) in modi molto disparati, la cui interpretazione ha suscitato e suscita ancora ampi dibattiti. Nell'opera "Philosophiae naturalis principia mathematica" (1687), in cui introdusse il concetto di forza gravitazionale, Newton si sforzò di sottolineare come quest'ultima non fosse altro che un "concetto matematico" e non andasse in alcun modo confusa con le forze "vere e fisiche":

Per brevità è consentito chiamare le quantità delle forze semplicemente "forze motrici", "acceleratrici" ed "assolute" [...] Nonostante ciò, si tratta comunque di concetti matematici: infatti non faccio alcuna affermazione sulle cause delle forze e su dove queste risiedono fisicamente. [...] Perciò, che il lettore si guardi bene dal pensare, sulla base di questa terminologia, che io definisca da qualche parte nel testo la forma o il modo o la causa delle azioni, o anche la loro ragione fisica<sup>3</sup>.

Cosa fossero per Newton le "forze vere e fisiche" non è affatto chiaro, e nel corso della sua vita espresse opinioni molto varie in proposito. Nel suo lavoro sull'Ottica scrisse ad esempio:

<sup>2</sup> "Cette consideration de la force distinguée de la quantité de mouvement est assez importante non seulement en physique, [...] mais encor dans la metaphysique; [...] car le mouvement, si on n'y considere que ce qu'il comprend precisement et formellement, c'est à dire un changement de place, n'est pas une chose entierement reelle [...] Mais la force ou cause prochaine de ces changements est quelque chose de plus reelle, et il y a assez de fondement pour l'attribuer à un corps plus qu'à l'autre." da: G.W. Leibniz, *Discours de métaphysique* (1686), in: G.W. Leibniz, *Kleine Schriften zur Metaphysik*, ed. H. H. Holz (1996) p. 108-110.

<sup>3</sup> "Hasce virium quantitates, brevitatis gratia, nominare licet vires motrices, acceleratrices, et absolutas [...] Mathematicus duntaxat est hic conceptus: nam virium causas et sedes physicas jam non expendo. [...] Unde caveat lector, ne per hujusmodi voces cogitet me speciem vel modum actionis causamve, aut rationem physicam, alicubi definire." da: I. Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, in: *Opera omnia* Vol. 2, ed. da S. Horsley (1779-1785) p. 5-6.

Mi sembra inoltre che queste particelle [le particelle di materia] non possiedano solamente una “vis inertiae” [forza d’inerzia], accompagnata da quelle leggi passive del moto che risultano naturalmente da una tale forza; ma ritengo che esse siano anche mosse da alcuni principi attivi, come quello di gravità, o quello che causa fermentazione e coesione di corpi. Io considero questi principi non come qualità occulte, che si suppone risultino dalla forma specifica delle cose, ma come leggi generali di Natura per mezzo delle quali le cose stesse sono formate: la loro verità ci appare per mezzo dei fenomeni, sebbene le loro cause non siano ancora state scoperte. Si tratta dunque di qualità manifeste, di cui solo le cause sono occulte.<sup>4</sup>

Quali che fossero le idee di Newton sulle vere forze della natura, una cosa è certa: Newton non credeva affatto alla conservazione della forza, anzi era convinto che, senza un costante intervento di “principi attivi” non materiali, ogni moto dell’universo sarebbe venuto a cessare. Tali “principi attivi” erano a loro volta espressione diretta della volontà divina: solamente il costante intervento divino poteva garantire la stabilità del sistema solare.

A questa posizione si oppose veementemente Leibniz, sostenendo che il filosofo inglese “costringesse” Dio a fare di continuo miracoli e mettesse così in dubbio l’onnipotenza di Dio:

Secondo il mio sentire, nel mondo sussistono sempre la stessa forza e lo stesso vigore, che passano soltanto da materia a materia, seguendo le leggi

della natura ed il bell’ordine prestabilito. Io sostengo che, quando Dio fa dei miracoli, li fa non per sostenere i bisogni della natura, ma per quelli della grazia. Giudicare altrimenti sarebbe avere un’idea molto bassa della saggezza e della potenza di Dio.<sup>5</sup>

### Forza e confusione: metafisica, astrologia, matematica, macchine e cavalli

Le riflessioni matematiche, metafisiche e teologiche di Leibniz e Newton sulla forza si confusero nei primi decenni del Settecento non solo con quelle di altri pensatori, ma anche con i risultati di vari procedimenti atti a determinare empiricamente varie quantità, anche loro dette “forza”. Il naturalista inglese Stephen Hales (1677-1761) paragonò sperimentalmente la forza di salita della linfa delle piante con quella della circolazione del sangue negli animali:

La forza di salita della linfa al mattino è chiaramente dovuta all’energia della radice e del gambo [...] Questa forza è circa cinque volte più grande della forza del sangue nella grande arteria crurale di un cavallo; sette volte più grande della forza del sangue nella stessa arteria di un cane; e otto volte più grande della forza del sangue nella medesima arteria di una cerva.<sup>6</sup>

Nella *Encyclopédie* (35. Bde, 1751-1780) di Denis Diderot (1713-1784) vennero esposti vari metodi per quantificare la forza degli animali e paragonarla a quella di lavoratori di varie nazionalità:

Un cavallo in quanto a forza da tiro è uguale a cinque lavoratori inglesi, se-

<sup>4</sup> “It seems to me farther, that these particles [= le particelle di materia] have not only a *Vis inertiae*, accompanied with such Passive laws of motion as naturally result from that force; but also that they are moved by certain Active principles, such as is that of gravity, and that which causes fermentation, and the cohesion of bodies. These principles I consider not as Occult qualities, supposed to result from the specific forms of things, but as general laws of Nature, by which the things themselves are formed: their truth appearing to us by phenomena, though their causes be not yet discovered, for these are manifest qualities, and their causes only are occult” da: I. Newton, *Optics*, in: *Opera omnia* Vol. 4, ed. da S. Horsley (1779-1785) p. 260-261.

<sup>5</sup> “Selon mon sentiment, la même force et vigueur y [= nel mondo] subsiste tousjours, et passe seulement de matiere en matiere, suivant les loix de la nature, e le bel ordre preétabili. Et je tiens, quand Dieu fait des miracles, que ce n’est pas pour soutenir les besoins de la nature, mais pour ceux de la grace. En juger autrement, ce seroit avoir une idée fort basse de la sagesse et de la puissance de Dieu” da: G. W. Leibniz e S. Clarke, *Streitschriften zwischen Leibniz und Clarke 1715, 1716*, in: G.W. Leibniz., *Philosophischen Schrifte* Vol. 7, ed. da C.I. Gerhardt (1890) p. 352.

<sup>6</sup> “The force of the rising sap in the morning is plainly owing to the energy of the root and stem. [...] Which force is near five times greater than the force of the blood in the great crural artery of a Horse; seven times greater than the force of the blood in the like artery of a Dog; and eight times greater than the blood’s force in the same artery of a fallow Doe” da: S. Hales, *Vegetable Staticks* (1726-27), ed. da M. A. Hoskin (1961) p. 60-61.

condo le osservazioni di Jonas Moore; a sei o sette francesi, secondo i nostri autori, o a sette olandesi secondo Desaguliers; ma per portare un carico sul dorso, due uomini sono altrettanto forti, e qualche volta anche di più, di un cavallo.<sup>7</sup>

Allo stesso tempo si discuteva animatamente, in Europa, se l'idea newtoniana di una forza di attrazione agente a distanza fra i pianeti fosse accettabile, o se si trattasse di una ricaduta in oscure e barbare concezioni di influssi astrali. Georg Matthias Bose (1710-1761) compose proprio su questo tema una satira in versi contro la teoria newtoniana della gravitazione:

Che esista dunque l'azione a distanza?  
O vorrai impedire che una stella a distanza agisca su un talismano?  
Godi Melantone, gli oroscopi ritornano, Haly, Almutec, Athacir, Alceadenor, Hylec.<sup>8</sup>

Le parole magiche dell'ultimo verso sono apparentemente tratte da un trattato di magia talismanica medievale.

In questo contesto le discussioni sulla natura della forza, sulla sua misura e sulla sua conservazione divennero sempre più complesse, tanto che nel 1739-40 il filosofo inglese David Hume (1711-1776) scrisse:

Comincio con l'osservare che i termini "efficacy", "agency", "power", "force", "energy", "necessity", "connexion" e "productive activity" sono tutti quasi sinonimi; e quindi è un'assurdità usare uno di questi per definire gli altri.<sup>9</sup>

Negli stessi anni Voltaire riassunse la problematica della conservazione dell'energia

con queste parole:

Un uomo ha una certa quantità di forza attiva, ma dov'era questa forza prima della sua nascita? Se vogliamo dire che era nel seme del bambino, che tipo di forza è una forza che non si può esercitare? Ma quando è diventato uomo non è forse libero? Non può egli impiegare più o meno della sua forza? Supponiamo che egli eserciti una forza di trecento libbre per muovere una macchina; supponiamo, come è possibile, che egli abbia esercitato questa forza abbassando una leva e la macchina attaccata a questa leva, si ritrovi in un recipiente in cui sia stato fatto il vuoto; la macchina può acquisire facilmente una forza di duemila libbre.

Una volta compiuta l'operazione, ritirato il braccio, rialzata la leva, il peso immobile, io domando, se quel poco di materia che era nel recipiente ha ricevuto dalla macchina una forza di duemila libbre; tutte queste considerazioni non fanno forse vedere che in natura la forza attiva si acquista e si perde continuamente?<sup>10</sup>

### Illuminismo scettico: si può conoscere la vera forza?

Negli anni successivi, si parlò in Europa sempre meno della conservazione o della vera misura della forza. Nel contempo, però, si fece strada l'idea che, come Newton aveva fatto nel caso della gravità, anche altri fenomeni potessero essere meglio compresi con l'aiuto di forze matematiche.

Questo punto di vista assunse una forma particolare nel caso di Georges-Louis

<sup>7</sup> "Un cheval est égal en force, pour tirer, à cinq travailleurs anglois, suivant les observations de Jonas Moore; à six ou sept françois, suivant nos auteurs; ou à 7 hollandois, selon Desaguliers: mais pour porter une charge sur le dos, deux hommes sont aussi forts, et quelquefois plus qu'un cheval" da: Force, in: *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres* Vol. 7 (1757, Rist. 1966) p. 122.

<sup>8</sup> "Actio per distans dabitur? tunc impediens / Quo minus in distans stella Talisman agat? / Gaude Melanchton, redeunt horoscopus, Haly, / Almutec, Athacir, Alceadenor, Hylec." da: G. M. Bose, *Sympathiam attractioni...* (1757), citato da: E. Garin, *Lo Zodiaco della vita. La polemica sull'astrologia dal Trecento al Cinquecento* (Roma-Bari 1976) p. 8.

<sup>9</sup> "I begin with observing that the terms of efficacy, agency, power, force, energy, necessity, connexion and productive quality, are all nearly synonymous; and therefore 'tis an absurdity to employ any of them in defining the rest" da: D. Hume, *A treatise on human nature*, in: D. Hume, *The philosophical works* Vol. 1, ed. da T. H. Green et al. (1886, Rist. 1964) p. 451.

<sup>10</sup> "Un homme a une certaine quantité de force active, mais où était cette force avant sa naissance? Si on dit qu'elle était dans le germe de l'enfant, qu'est-ce qu'une force qu'on ne peut exercer? Mais quand il est devenu homme, n'est-il pas libre? Ne peut-il pas employer plus ou moins de sa force? Je suppose qu'il exerce une force de trois cents livres pour mouvoir une machine; je suppose comme il est possible qu'il a exercé cette force en baissant un levier, et que la machine attachée à ce levier est dans le récipient du vide; la machine peut acquérir aisément une force de deux mille livres. L'opération étant fait, le bras retiré, le levier ôté, le poids immobile, je demande si le peu de matière qui était dans le récipient, a reçu de la machine une force de deux mille livres, toutes ces considérations ne font-elles pas voir que la force active se répare et se perd continuellement dans la nature?" da: Voltaire, *Éléments de la philosophie de Newton*, ed. da R. L. Walters et al. (1992) p. 247-248.

Leclerc Buffon (1707-1788), che riteneva fra una forza e la sua espressione matematica esistesse un legame essenziale: una forza elementare della natura non poteva avere che una forma matematica semplice:

Quale che sia il modo in cui si suppone che una qualità fisica possa variare, dato che la qualità è una, la sua variazione sarà semplice e sempre esprimibile con un solo termine, che ne sarà la misura; qualora si volessero impiegare due termini si distruggerebbe l'unità della qualità fisica, perchè questi due termini rappresenterebbero due variazioni differenti nella stessa qualità, cioè due qualità al posto di una. Due termini sono in realtà due misure, entrambe variabili, e variabili in maniera diversa; ne consegue che esse non possono essere applicate ad un soggetto semplice, ad una sola qualità; e se si ammettono due termini per rappresentare l'effetto della forza centrale di un astro, è necessario ammettere che, al posto di una forza, ce ne sono due, di cui una sarà relativa al primo termine e l'altra relativa al secondo termine.<sup>11</sup>

Al di là della sua espressione matematica e del suo effetto sensibile, la forza non poteva però essere conosciuta:

Conosciamo le forze che animano l'universo solo attraverso il movimento ed i loro effetti: la stessa parola "forza" non significa nulla di materiale, e non indica nessuna delle cose che possono influenzare i nostri organi, i quali, del resto, sono i nostri soli mezzi di comunicazione con la natura.<sup>12</sup>

L'atteggiamento di Buffon rifletteva la tendenza allo scetticismo, che, verso la metà

del Settecento, si era andata diffondendo in Europa, portando molti filosofi a dubitare di poter mai conoscere le vere forze della natura. Qualche anno più tardi il fisiologo tedesco Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840) pubblicò un'opera sull'"impulso costruttivo" dei corpi organici. Tale impulso era la forza che determinava riproduzione e crescita. Nel momento in cui designava con il nome di forza l'"impulso costruttivo", Blumenbach teneva però a precisare:

Spero che alla maggior parte dei lettori non sia necessario ricordare che il termine "impulso costruttivo", esattamente come i termini attrazione, gravità ecc., deve servire a designare né più né meno che una forza, il cui effetto costante viene riconosciuto sulla base dell'esperienza, ma la cui causa rimane per noi "qualitas occulta", esattamente come la causa delle forze naturali generalmente riconosciute che ho appena citato. A tutte queste cause si applica ciò che Ovidio dice: "Causa latet, vis est notissima".<sup>13</sup>

### Fra entusiasmo romantico e misura: la conservazione dell'energia

Come osservato da Kuhn, il tema dell'unità delle forze naturali stava al centro della "Naturphilosophie", una corrente di pensiero originariamente tedesca, che però ebbe notevole influenza anche su pensatori inglesi. Fra le principali fonti di ispirazione per la "Naturphilosophie" erano le opinioni espresse da Friedrich Wilhelm Joseph Schelling (1775-1854) nei propri scritti giovanili. In tali opere il giovane filo-

<sup>11</sup> "De quelque façon que nous puissions donc supposer qu'une qualité physique puisse varier, comme cette qualité est une, sa variation sera simple et toujours exprimable par un seul terme, qui en sera la mesure; et dès qu'on voudra employer deux termes, on détruira l'unité de la qualité physique, parce que ces deux termes représenteront deux variations différentes dans la même qualité, c'est-à-dire deux qualités au lieu d'une. Deux termes sont en effet deux mesures, toutes deux variables et inégalement variables; et dès-lors elles ne peuvent être appliquées à un sujet simple, à une seule qualité; et si on admet deux termes pour représenter l'effet de la force centrale d'un astro, il est nécessaire d'avouer qu'au lieu d'une force il y en a deux, dont l'une sera relative au premier terme, et l'autre relative au second terme" da: G.-L. Leclerc comte de Buffon, *Histoire naturelle, générale et particulière* Vol. 1, in: *Oeuvres complètes de Buffon*, ed. da A. Comte (1839) p. 206.

<sup>12</sup> "L'on ne connaît les forces qui animent l'univers, que par le mouvement et par ses effets: ce mot même de forces ne signifie rien de matériel, et n'indique rien de ce qui peut affecter nos organes, qui cependant sont nos seuls moyen de communication avec la nature". da: Buffon, *Histoire* vol. 3 p. 76.

<sup>13</sup> "Hoffentlich ist für die meisten Leser die Erinnerung sehr überflüssig, daß das Wort Bildungstrieb so gut, wie die Worte Attraction, Schwere etc. zu nichts mehr und nichts weniger dienen soll, als eine Kraft zu bezeichnen, deren Constante Wirkung aus der Erfahrung anerkannt worden, deren Ursache aber so gut wie die Ursache der genannten, noch so allgemein anerkannten Naturkräfte, für uns qualitas occulta ist. Es gilt von allen diesen Kräften was Ovid sagt: causa latet, vis est notissima." da: J. F. Blumenbach, *Über den Bildungstrieb* (1789) p. 25-26.



sofo tedesco criticava la tendenza del suo tempo a sottovalutare o dimenticare i problemi filosofici legati alla ricerca sulla natura, ed in particolare alla definizione di concetti fondamentali come quello di forza:

E così nella fisica di oggi si gioca più che mai con il concetto di forza, in particolare da quando si è cominciato a dubitare della materialità della luce e simili; già ci si è domandati più volte, se, guardacaso, l'elettricità non fosse poi la forza vitale. Per tutti questi concetti vaghi, ed introdotti nella fisica in maniera del tutto ingiustificata, non ho potuto dare, nella prima parte di quest'opera, alcuna definizione, dato che si possono chiarire solamente in ambito filosofico.<sup>14</sup>

Alla base della filosofia della natura del giovane Schelling stava il principio dell'equilibrio dinamico fra forze uguali ed opposte, che costantemente interagivano l'una con l'altra, dando luogo così non solo ad ogni trasformazione materiale, ma anche alla coscienza che gli uomini ne hanno.

Ciò che agisce liberamente su di me assume carattere di realtà solo di fronte ad una attività libera presente in me; la forza di un mondo esterno può spezzarsi solo davanti alla forza originaria del mio Io. Al contrario, però, così come il raggio di luce può divenire colore solo nei corpi, è solo nell'oggetto che l'attività originaria in me diviene pensiero e immaginazione autocosciente. [...] Le forze fondamentali della materia non sono dunque altro che l'espressione per l'intelletto di quella attività originaria, ed è così che ci diverrà facile definirle in maniera completa.<sup>15</sup>

Oltre alla "Naturphilosophie", giocarono secondo Kuhn un ruolo fondamentale nella scoperta della conservazione dell'energia

anche le nuove conoscenze sul rendimento delle macchine a vapore e sulla possibilità di trasformare calore o potenziale elettrico in lavoro meccanico. La misura della forza conservata poteva essere così ottenuta trasformando calore, elettricità e potenziale chimico in lavoro meccanico, e misurando poi quest'ultimo tramite il sollevamento di un dato peso fino ad una data altezza.

Diversamente da ciò che, più di un secolo prima, avevano sostenuto Leibniz ed i filosofi cartesiani, la forza conservata non era più definita in base ai principi metafisici di un sistema filosofico, bensì veniva ad identificarsi in pratica con il suo effetto misurabile:

Una causa che opera l'innalzamento di un carico è una forza; anche il suo effetto, il carico sollevato, è ugualmente una forza; generalizzando si può dire: la differenza spaziale di oggetti dotati di peso è una forza<sup>16</sup>.

Queste parole sono tratte dall'articolo di Julius Robert Mayer (1814-1878) "Considerazioni sulle forze della natura inanimata", considerato uno dei primi ad esporre l'idea della conservazione della forza. In questo testo il concetto di forza costituisce il punto dove filosofia teoretica, ricerca sperimentale e sapere tecnico vengono a toccarsi, sovrapporsi e confondersi in una simbiosi fruttuosa. Lo stesso può dirsi anche per i lavori di altri autori, anch'essi candidati "scopritori" della legge di conservazione dell'energia. Ad esempio Hermann von Helmholtz (1821-1894), Michael Faraday (1791-1867) e James Prescott Joule (1818-1889). Quest'ultimo scriveva sulla conservazione della "forza viva":

Così, quando un peso cade a terra, si è generalmente supposto che la sua

<sup>14</sup> "So wird mit dem Begriff von Kraft jetzt häufiger als je in der Physik gespielt, besonders seitdem man an der Materialität des Lichts u. s. w. zu zweifeln anfing; hat man doch schon einigemal gefragt: Ob nicht die Elektrizität vielleicht die *Lebenskraft* seyn möchte? Alle diese vage, in die Physik widerrechtlich eingeführten Begriffe, mußte ich, da sie nur philosophisch zu berichtigen sind, im ersten Theil dieser Schrift in ihrer Unbestimmtheit lassen." da: FWJ. Schelling, *Ideen zu einer Philosophie der Natur* (1797), ed. da M. Durner, in: FWJ. Schelling, *Historisch-kritische Ausgabe*, Vol. 1,5 (1994) p. 62-63.

<sup>15</sup> "Nur einer freyen Thätigkeit in mir gegenüber nimmt, was frey auf mich wirkt, die Eigenschaften der Wirklichkeit an; nur an der ursprünglichen Kraft meines *Ich* bricht sich die Kraft einer Außenwelt. Aber umgekehrt auch, (so wie der Lichtstrahl nur an Körpern zur Farbe wird) wird die ursprüngliche Thätigkeit in mir erst am Objekte zum *Denken*, zum selbstbewußten *Vorstellen*. [...] Die Grundkräfte der Materie sind also nichts weiter, als der Ausdruck jener ursprünglichen Thätigkeiten *für den Verstand*, und so wird es uns leicht werden, sie vollends ganz zu *bestimmen*." da: Schelling, *Ideen* p. 211 e 218.

<sup>16</sup> "Eine Ursache, welche die Hebung einer Last bewirkt, ist eine Kraft; ihre Wirkung, die gehobene Last, ist also ebenfalls eine Kraft; allgemeiner ausgedrückt heisst dies: räumliche Differenz ponderabler Objekte ist eine Kraft." da: R. Mayer, *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* (1842) p. 234.

forza viva sia completamente annichilata, e che il lavoro, che può essere stato speso per alzarlo all'altezza dalla quale è caduto, sia stato completamente gettato via e sprecato, senza la produzione di qualsivoglia effetto permanente. Noi possiamo ragionare, a priori, che una così totale distruzione di una forza viva non può assolutamente aver luogo, perchè è manifestamente assurdo supporre che i poteri [powers] dei quali Dio ha dotato la materia vengano distrutti dall'azione umana, esattamente come si ammette che non possono venirne creati; ma noi non disponiamo solo di questo argomento, per quanto decisivo esso debba essere per qualsiasi mente priva di pregiudizi. L'esperienza comune ad ognuno di noi insegna che la forza viva non è distrutta dalla frizione o collisione di corpi. Abbiamo ragione di credere che le manifestazioni di forza viva sul nostro globo sono, al momento presente, tanto estese quanto quelle che sono esistite in ogni tempo fin dalla sua creazione, o, ad ogni buon conto, dal tempo del Diluvio.<sup>17</sup>

Il pensiero di Joule e quello di Leibniz sono apparentemente simili, eppure profondamente diversi: mentre Leibniz presupponeva la conservazione della forza e ne ricercava la misura in una quantità empiricamente conservata, Joule utilizzava l'esistenza di una tale misura come argomento a favore della conservazione della forza. Eppure, per Joule come un tempo per Leibniz, la conservazione della forza non era una semplice regolarità constatabile empiricamente, bensì una necessità riconducibile a principi teologico-metafisici. La conservazione della forza derivava per Joule dalla provvidenza ed onnipotenza di-

vina, ma questo argomento, "per quanto decisivo", poteva e doveva venir corroborato dall'evidenza sperimentale.

La forza conservata tendeva così a divenire indistinguibile dalla forza misurabile.

### Epilogo: cosa resta di un glorioso passato?

Per circoscrivere il nuovo concetto scientifico di forza conservata e misurabile si affermò nella seconda metà dell'Ottocento il nome "energia". L'energia divenne così il nuovo, discusso tramite fra scienza, filosofia e tecnica - ma questa è un'altra storia.

Di "forza" si continuò a parlare in campo scientifico quasi solamente nel contesto di modelli matematici (forza meccanica, forza di gravità, campi di forza elettromagnetica), mentre pensatori come Arthur Schopenhauer (1788-1860) utilizzarono il termine "forza" per indicare concetti non misurabili (e quindi non scientifici) quali ad esempio la volontà:

Finora si è riportato il concetto di volontà a quello di forza; io faccio invece l'esatto contrario, e richiedo che ogni forza in natura venga pensata come volontà [...] Così facendo avremo riportato di fatto qualcosa di meno noto a qualcosa di infinitamente più noto, anzi: all'unica cosa che conosciamo veramente, direttamente ed in modo completo, ed avremo così ampliato di parecchio la nostra conoscenza.<sup>18</sup>

La forza cessò così di essere punto di incontro tra filosofia, scienza e tecnica: del glorioso passato rimane forse solo il vago, sbiadito, cinematografico ricordo delle parole magiche di Obi-Wan Kenobi: "La forza! Usa la forza".

<sup>17</sup> "Thus, when a weight falls to the ground, it has been generally supposed that its living force is absolutely annihilated, and that the labour which may have been expended in raising it to the elevation from which it fell has been entirely thrown away and wasted, without the production of any permanent effect whatever. We may reason, a priori, that such absolute destruction of living force cannot possibly take place, because it is manifestly absurd to suppose that the powers with which God has endowed matter can be destroyed any more than that they can be created by man's agency; but we are not left with this argument alone, decisive as it must be to every unprejudiced mind. The common experience of every one teaches him that living force is not destroyed by the friction or collision of bodies. We have reason to believe that the manifestations of living force on our globe are, at present time, as extensive as those which have existed at any time since its creation, or, at any rate, since the deluge." da: J.P. Joule, *On matter, living force and heat* (1847), in: *The scientific papers of J.P. Joule*, Vol. 1 (London 1884) p. 265-276.

<sup>18</sup> "Bisher subsumierte man den Begriff Wille unter den Begriff Kraft; dagegen mache ich es gerade umgekehrt und will jede Kraft in der Natur als Wille gedacht wissen, [...] so haben wir in der That ein Unbekannteres auf ein unendlich Bekannteres, ja, auf das einzige uns wirklich unmittelbar und ganz und gar Bekannte zurückgeführt und unsere Erkenntniß um ein sehr großes erweitert." da: A. Schopenhauer, *Die Welt als Wille und Vorstellung*, Vol. I (3<sup>a</sup> ed. Lipsia 1859) p. 165-166.



## La tecnologia HF-CVD per la sintesi di diamante e nanotubi di carbonio

ROSSELLA GIORGI

ENEA, UTS Materiali e Nuove Tecnologie

Il grande impatto dei materiali in settori che contribuiscono a migliorare la qualità della vita e ad aumentare la competitività del sistema produttivo rende sempre più necessario lo sforzo nello sviluppo di tecnologie di sintesi di nuovi materiali con proprietà superiori e insolitamente combinate tra loro. In questa classe vanno annoverati i materiali a base di carbonio, in particolare il diamante e i nanotubi di carbonio, le cui potenzialità applicative spaziano nei più svariati settori, dalle applicazioni strutturali, che richiedono principalmente nelle eccezionali proprietà meccaniche, a quelle funzionali, che sfruttano proprietà elettroniche ed ottiche altrettanto straordinarie.

La tecnologia della deposizione chimica da fase vapore attivata da filamento caldo (Hot Filament-Chemical Vapour Deposition) è nata come metodo di crescita di film di diamante<sup>1</sup>, ma più recentemente è stata utilizzata anche per la sintesi di nanostrutture e di nanotubi di carbonio.

Presso i laboratori dell'Unità Materiali è operante un reattore HF-CVD progettato e realizzato interamente, attraverso la collaborazione della Sezione TEC del Centro Ricerche della Casaccia con la Sezione ING del Centro Ricerche di Faenza.

L'impianto ha una camera di 100 litri di volume, raffreddata ad acqua e pompata da un gruppo da vuoto rotativa-turbomolecolare, in grado di portare il sistema ad una pressione base inferiore a  $5 \times 10^{-7}$  mbar. L'ingresso dei gas di reazione avviene attraverso regolatori di flusso MKS a controllo digitale. La miscela di gas è riscaldata da una serie di filamenti di tantalio, sino a 12 di numero, cui può essere impartita una potenza elettrica fino a 5 kW. Numero, diametro, lunghezza e temperatura di lavoro determinano la potenza elettrica totale.

Affacciato ai filamenti è posto il substrato, che viene riscaldato e mantenuto alla temperatura opportuna sia per irraggiamento dai filamenti che, indipendente-

mente, per mezzo di un elemento riscaldante resistivo. Le temperature del filamento e del substrato sono misurate rispettivamente con un pirometro a due colori e con una termocoppia. La pressione di processo è regolata mediante una valvola a spillo che determina l'equilibrio tra il flusso di gas in ingresso e l'aspirazione di una seconda pompa rotativa.

In generale i metodi di crescita di film di diamante mediante CVD a bassa pressione e bassa temperatura si basano su processi controllati cineticamente piuttosto che termodinamicamente<sup>2</sup>, che si sviluppano sia in fase gassosa, attraverso reazioni chimiche tra i componenti dei gas precursori sia sulla superficie solida del substrato opportunamente preparata per favorire la sedimentazione dei nuclei di diamante. La dissociazione delle molecole dei gas in radicali reattivi e atomi è causata dall'attivazione della miscela gassosa da parte di una sorgente di energia come filamenti caldi, scariche elettriche (microonde, radio-frequenza o in corrente continua) o anche combustione.

Il diagramma di fase H-C-O<sup>3</sup> mostra che soltanto all'interno di una stretta regione ben delimitata, in cui carbonio, idrogeno e ossigeno siano nel rapporto appropriato, è possibile la crescita del diamante, indipendentemente dal tipo di precursore e di metodo usato. In eccesso di ossigeno non vi è crescita, mentre in eccesso di carbonio è possibile sintetizzare fasi carboniose diverse dal diamante. L'idrogeno atomico è un ingrediente essenziale dell'atmosfera di processo, in quanto stabilizza la formazione del diamante attraverso un meccanismo di rimozione continua della grafite

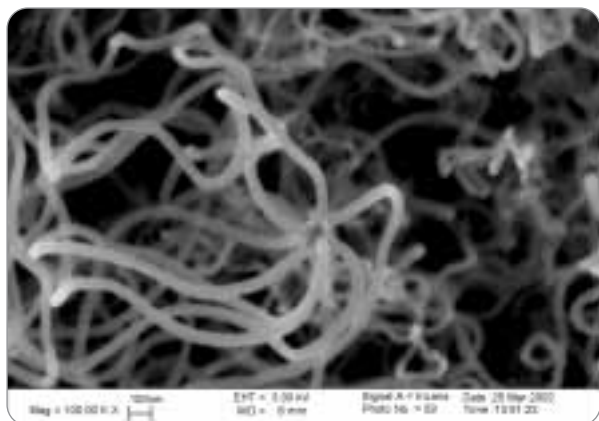
**Figura 1**  
Micrografia SEM della superficie di un film di diamante



che si deposita in concorrenza. L'idrogeno atomico viene prodotto a partire da idrogeno molecolare per dissociazione termica o per processi collisionali in un plasma.

Nel sistema HF la dissociazione dell'idrogeno avviene ad opera di filamenti, che devono raggiungere temperature comprese tra 2000 e 2300 °C, mentre la temperatura del substrato deve essere mantenuta tra 700 e 900 °C per favorire le reazioni tra radicali e atomi di carbonio sulla superficie. Variazioni all'interno degli intervalli sopra riportati permettono di controllare la cristallinità del materiale, l'"habit" cristallino, le dimensioni dei cristallini, la purezza del materiale. Con l'impianto del Centro della Casaccia sono stati depositati, con velocità di crescita di circa 1 micron/ora, film di diamante di spessore sino a 50 micron, su superfici di 5x5 cm<sup>2</sup>, con cristalli di dimensioni variabili da pochi nanometri sino ad alcune decine di micron, utilizzando una miscela di metano fortemente diluito in idrogeno (circa

**Figura 2**  
Micrografia SEM di nanotubi di carbonio cresciuti su nichel



1:100). La figura 1 mostra la superficie di un film di diamante con orientazione prevalente dei cristalli secondo le facce (111). Tra i diversi metodi di sintesi dei nanotubi di carbonio, attualmente le tecniche CVD su catalizzatori sono: le più promettenti per un eventuale trasferimento su scala industriale della produzione; le uniche che permettano di sintetizzare matrici ordinate di nanotubi allineati<sup>4</sup>, necessarie per la realizzazione di display piatti ad emissione di campo e nanotubi allineati su lunghezze macroscopiche<sup>5</sup> per future applicazioni strutturali (per la grande leggerezza e resistenza del materiale).

Il processo di crescita mediante CVD termico o "plasma enhanced" si basa sulla dissociazione di molecole di idrocarburi catalizzata da metalli di transizione, a temperature tra 500 °C e 1000 °C, e la successiva dissoluzione degli atomi di carbonio nelle particelle di metallo catalizzatore. Il meccanismo di formazione non è del tutto noto e non vi è in letteratura unanime consenso sui modelli proposti.

La composizione del catalizzatore, la morfologia e l'interazione con il substrato influiscono sulle caratteristiche morfologiche dei nanotubi<sup>6,7</sup> e sono importanti parametri da ottimizzare per ottenere una larga produzione a basso costo.

Nanotubi di carbonio di diametro compreso tra 5 e 50 nm e di lunghezza sino a 20 micron sono stati sintetizzati con il reattore sopra descritto partendo dagli stessi gas precursori usati per il diamante, metano e idrogeno, in rapporto di circa 10:100. È stata studiata l'influenza della morfologia del catalizzatore sulla crescita. Sono stati utilizzati sia film sottili di nichel di diverso spessore, depositati

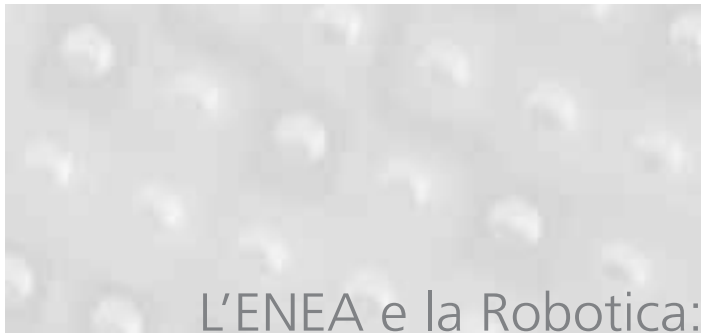
su substrati di silicio, sia fogli di nichel massivo. I film sono stati trattati termicamente in atmosfera di idrogeno, prima del processo di crescita dei nanotubi, allo scopo di trasformare il film continuo in una struttura a cluster su scala nanometrica. La crescita è risultata omogenea su superfici di qualche cm<sup>2</sup> ed è inoltre caratterizzata da una elevata densità e purezza dei nanotubi, come si osserva in figura 2. Una peculiarità è costituita dalla presenza di strutture a "stella marina", in cui da un nucleo centrale di Ni si dipartono più nanotubi di carbonio spesso terminati da una particella di catalizzatore.

I risultati sinora conseguiti mettono in evidenza la versatilità del sistema HF-CVD messo a punto presso i laboratori del Centro della Casaccia. L'obiettivo delle attività future è la produzione di film di diamante e nanotubi di carbonio con caratteristiche microstrutturali controllate, per poter arrivare alla dimostrazione di alcune applicazioni.

## Bibliografia

1. M. MATSUMOTO, Y. SATO, M. KAMO, N. SETAKA, *Jpn. J. Appl. Phys.* 21, (1982), L 183.
2. J.C. ANGUS, E.A. EVANS. *The Physics of Diamond*, pp 31-44, ed. Società Italiana di Fisica (1997).
3. P.K. BACHMANN, D. LEERS, H. LYDTIN, D.U. WIECHERT, *Diam. Rel. Mat.* 1, (1991), 1.
4. Z.F. REN, Z.P. HUANG, J.W. XU, J.H. WANG, P. BUSH M.P. SIEGAL, P.N. PROVENCIO, *Science* 282, 1998, 1105.
5. H.W. ZHU, C.L. XU, D.H. WU, B.Q. WIE, R. VAJTAI, P.M. AJAYAN, *Science* 296, (2002), pp. 884-886.
6. Y.Y. WEI, GYULA ERES, V.I. MERKULOV, D.H. LOWNDES, *Appl. Phys. Lett.* 78, (2001), 1394.
7. M. CHHOWALLA, K.B.K. TEO, C. DUCATI, N.L. RUPESLINGHE, G.A.J. AMARATUNGA, A.C. FERRARI, D. ROY, J. ROBERTSON, W.I. MINLE, *Jour. Applied Physics* 90, (2001), 5308.





## L'ENEA e la Robotica: tre eventi presso il Centro Ricerche di Frascati

RAMIRO DELL'ERBA  
CLAUDIO MORICONI  
ENEA, UTS Fusione

*L'ENEA ha organizzato una conferenza nazionale, una mostra, un workshop internazionale ed un meeting dello IARP (International advanced robotics program) nei mesi di ottobre e novembre 2002. Tra gli scopi di questi eventi rileviamo la necessità d'interazione tra le diverse realtà scientifiche e industriali della robotica italiana con le istituzioni governative; interazione le cui motivazioni giacciono nel riprovato valore internazionale della tecnologia robotica italiana.*

*I risultati ottenuti ci fanno sperare in una maggiore sensibilità della pubblica amministrazione e in una maggiore coesione tra i mondi accademici, tecnologico e industriale.*

**N**ei giorni 29-31 ottobre 2002, 6-8 novembre e 8-9 novembre appena trascorsi la sezione FUS-ROB dell'ENEA ha organizzato tre eventi di rilevanza nazionale ed internazionale riguardanti la robotica. Il primo evento, in ordine temporale, è stata una Con-

ferenza Nazionale ed Exhibition sui Sistemi Autonomi Intelligenti e sulla Robotica Avanzata (<http://www.fusione.enea.it/Robotics/ROBO2002/>) del quale faceva parte integrante una mostra delle realizzazioni nazionali del settore. Pochi giorni dopo ha avuto luogo il secondo evento: un workshop internazionale (<http://www.fusione.enea.it/Robotics/HUROIN2002/>) sul tema Human Robot Interfaces Technologies and Applications, in cui le già accennate capacità nazionali sono state collegate e confrontate con progetti internazionali; al workshop hanno partecipato numerosi scienziati e tecnologi provenienti dai maggiori paesi industrializzati. Il terzo ed ultimo evento organizzato ha riguardato una riunione del Joint Coordination Forum (JCF) (<http://www.fusione.enea.it/Robotics/JCF2002/index.html>), costituito da rappresentanti governativi della robotica nei vari paesi aderenti. Il JCF è la riunione dei delegati dello IARP (International Advanced Robotics Program, [\[www.eng.nsf.gov/roboticsorg/\]\(http://www.eng.nsf.gov/roboticsorg/\)\) i quali hanno l'incarico di favorire la cooperazione fra le strutture di ricerca dei diversi paesi; l'organizzazione è stata a carico quest'anno del rappresentante italiano \(dott. Claudio Moriconi\). Pur essendo distinti, e avendo protagonisti diversi, questi tre eventi hanno un loro filo conduttore: si è voluto, infatti, collegare tra loro gli aspetti ricerca nazionale ed internazionale oltre alle politiche di collaborazione internazionale fornendo un quadro di riferimento particolarmente significativo tanto dal punto di vista della Pubblica Amministrazione che da quello industriale.](http://</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

### La I Conferenza Nazionale ed Exhibition sui Sistemi Autonomi Intelligenti e Robotica Avanzata

La Robotica ha subito negli ultimi anni una rapidissima evoluzione, stimolata dai progressi delle molte e diverse "enabling technologies" che ne costituiscono i fondamenti. Tra queste ricordiamo le metodologie di controllo, la sensorialità, la visione artificiale, i sistemi intelligenti, la comunicazione con l'uomo, le sorgenti d'energia portatili ad alta densità, i materiali, la microelettronica e le microtecnologie. Tale evoluzione ha generato, in modo del tutto singolare, una sorta di perdita d'identità di questa disciplina. Tuttavia i documenti che hanno fissato negli anni precedenti le linee guida dei Piani Nazionali della Ricerca, hanno raccolto questi elementi in modo discontinuo. Infatti, mentre nel piano dello scorso anno questa tecnologia era del tutto assente dalle attività ritenute prioritarie dall'Amministrazione, nel documento di quest'anno (2002)



essa è invece indicata come un elemento d'eccellenza nel nostro Paese.

È sembrato pertanto opportuno avviare un dibattito a livello nazionale per valutare la situazione della robotica in tutte le sue ramificazioni, le conseguenze della mancanza di una sicura indicazione da parte della Pubblica Amministrazione in questo importante settore della Ricerca, l'opportunità di proporre eventuali azioni correttive.

Una mostra è stata collegata alla Conferenza per sottolineare la raggiunta capacità tecnologica della ricerca nazionale.

Gli obiettivi che abbiamo voluto conseguire sono stati pertanto i seguenti.

- Una presentazione con relativa analisi dello scenario italiano e mondiale del settore e degli sviluppi potenziali previsti, dal punto di vista della ricerca della produzione e del mercato.
- Aprire un Forum sul ruolo di spinta e d'indirizzo del governo per favorire l'individuazione, attraverso una tavola rotonda, di percorsi di sviluppo che coniughino le prerogative del sistema ricerca nazionale e dell'industria.
- Fornire una panoramica dei più importanti risultati nazionali in termini di know-how mediante sessioni scientifiche dedicate.
- Proporre e stimolare la creazione di network nazionali, che abbiano il doppio obiettivo di far circolare meglio l'informazione e di facilitare il raggiungimento di dimensioni critiche. Ciò per affrontare progetti dimensionati adeguatamente in modo da ottenere oggetti di reale utilità e non più solo dimostratori.
- Una mostra in cui esporre gli obiettivi realizzativi di mag-

gior prestigio e/o di maggior immagine pubblica ottenuti sino ad ora.

### Il workshop human-robot interfaces: technologies and applications

L'interazione uomo-robot (HRI) ha subito anch'essa, come la robotica, grandi progressi.

L'applicazione degli ultimi risultati della HRI nella robotica, con particolare attenzione ai robot per apparecchiature medicali e all'assistenza di disabili sono stati tra i temi principali del workshop.

Sono ormai molti anni che nella robotica la HRI tende ad espandersi al di fuori della propria sfera di competenza tradizionale, una volta riservata ai sistemi di controllo dei robot industriali. Le ragioni di questa tendenza sono molte, una delle principali è certo il crollo dei prezzi dell'elettronica di supporto che ne permette una maggiore diffusione.

Possiamo ipotizzare come la crescita dei sistemi intelligenti nell'industria può essere paragonata a quella del personal computer il quale ha avuto una spinta propulsiva determinante dalla realizzazione di un'interfaccia "friendly" quale quella a finestre iniziata dalla Apple. L'industria del giocattolo è già molto avanti nella direzione della comunicazione emozionale (basti ricordare l'uscita dei nuovi giochi e "pet" elettronici come AIBO della Sony) usando differenti tecnologie e materiali. Abbiamo quindi ritenuto maturi i tempi per discutere questi temi in un workshop internazionale con l'obiettivo di fare il punto sullo stato dell'arte della ricerca nel campo della HRI. Ciò ha contribuito alla diffusione della conoscenza, all'interno dell'Ente, delle nuove tecnolo-

gie e dei nuovi progetti per la cooperazione tra uomo e robot (o in generale nei confronti di sistemi ed agenti intelligenti) con particolare enfasi verso le tecniche che possono essere impiegate in supporto delle persone disabili ("friendly robotics", un particolare settore della robotica cosiddetta "di servizio").

### La riunione del Joint Coordination Forum

Nel 1982 durante la conferenza economica di Versailles dei paesi del G7 furono avviati 18 progetti tra cui lo Iarp; in seguito si aggiunsero altre nazioni perciò attualmente i paesi partecipanti sono Australia, Austria, Brasile, Canada, Cina, Corea, Francia, Germania, Italia, Giappone, Spagna, Russia, UK e USA. L'Unione Europea è un membro "osservatore". Lo scopo dello Iarp è promuovere la cooperazione internazionale per lo sviluppo di sistemi robotici avanzati capaci di minimizzare l'esposizione umana ad attività rischiose o in ambienti ostili.

In pratica l'attività dello Iarp consiste nello scambio d'informazioni, tramite un resoconto annuale sullo stato dell'arte della robotica nei diversi paesi, nella creazione di gruppi di lavoro operanti su temi specifici (ad esempio lo sminamento), nella promozione di workshop internazionali con la partecipazione dei personaggi più illustri al convegno. Inoltre vengono promosse missioni di studio chieste da uno stato membro allo scopo di avviare una competenza, o una struttura di ricerca precedentemente mancante nel proprio paese, tramite il supporto della visita a Stati membri che l'abbiano già sviluppata.

I delegati dello Iarp (uno per paese membro) hanno una investitura diretta dal governo del loro paese, per cui riferiscono ad esso lo stato dell'arte della robotica mondiale e suggeriscono le strade da intraprendere.

Il singolo delegato Iarp ha il compito di scrivere e diffondere il resoconto annuale relativo al proprio paese, di fungere da centro di connessione tra le comunità scientifiche dei diversi paesi nonché di assistenza generale per i gruppi di lavoro specifici che operano nel suo paese.

Nei giorni 8 e 9 novembre 2002 si è tenuta a Frascati, presso il Centro Ricerche dell'Enea, la 21ª riunione annuale dei delegati dello Iarp, nella quale, dopo alcuni scambi di informazioni ed altre formalità, sono stati discussi i temi prioritari della robotica cui dare diffusione nell'anno successivo.

I temi di punta quest'anno sono risultati essere l'assistenza ai disabili e lo sminamento. I seguenti workshop internazionali sono stati fissati per il 2003 ed il 2004, con il sostegno di alcuni dei paesi membri.

- Safety, Security, Rescue Robotics: proposto da US, Florida, 19-20/2/2003. SPONSOR: IARP
- Micro-Robots cooperation Moscow (Russia) 4/2003. SPONSOR: Russia, Italy, China, France.
- Robot in Medicine, Pittsburgh (USA) 6/2003. SPONSOR: Italy, Japan, Russia, Germany, Spain, Korea, Canada.
- Service robotics, Madrid, Spain, 6-8/10/2003 SPONSOR: Spain, Japan, Korea, France, USA, Germany, Italy, China, Belgium.
- Human Demining, Belgium, end of 11/2003, connesso con un breve Workshop in Pristina (Bosnia) per test sul campo il 6/2003. SPONSOR: Spain, Japan, Korea, France, UK, Germany, Italy.
- Underwater robotics, Genova (Italy), July 2004. SPONSOR: Italy, Canada, China, France, Russia, Spain, Usa.
- On Environmental manteing and protection. Germany 6/2004. SPONSOR: Belgium, China, France, Italy, Spain.

Maggiori informazioni sono disponibili sul sito dello Iarp.

## Conclusioni

I tre eventi di robotica organizzati dall'ENEA hanno posto l'Ente in una posizione di centralità sino ad ora mai raggiunta nello scenario nazionale; le realizzazioni effettuate all'interno dell'ENEA sono state portate a compimento nell'ambito di progetti di ricerca internazionali, quali ROTIS, Aramis, o nazionali quali il piano nazionale per la ricerca in Antartide o i progetti PON-TECSIS, Reverie, Calcolo ad alto Parallelismo per la Robotica e molti altri.

La Robotica è una disciplina che, più di molte altre, unisce in sé risultati e studi provenienti da settori estremamente diversi ed anche lontani di tutto lo spettro di conoscenze che costituiscono la moderna "tecnologia".

Confluiscono in essa gli apporti che vengono dalla scienza dei materiali, dall'intelligenza artificiale e più in generale dall'Informatica, dalle micro e dalle nanotecnologie, dalla microelettronica, dai laser, dalla tecnologia energetica nonché da tutta quella branca della chimica che ha portato importanti risultati anche al settore della sensoristica.

# ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE

dal **MONDO****Diminuisce il prezzo del gas****Come cambia il clima****Buco dell'ozono: sottostimate le emissioni di cloro****I costi ambientali del traffico aereo****DIMINUISCE IL PREZZO DEL GAS**

Nel 2001, in quasi tutti i paesi del mondo il costo del gas per uso industriale è diminuito, spesso in misura significativa.

Una indagine condotta dalla multinazionale americana Nus Consulting Group in 14 paesi sulle utenze professionali (la ricerca non copre i consumi domestici) evidenzia che gli Stati Uniti, con una riduzione del 44%, sono i maggiori "beneficiari", ma anche l'Europa registra decrementi a due cifre, con riduzioni nel prezzo del 16,7% nei Paesi Bassi, del 14,5% in Germania, del 13,6% in Svezia, del 12,4 in Finlandia, dell'11,2% in Belgio.

Allineata alla media europea

anche l'Italia che evidenzia per le utenze industriali una diminuzione del 17,5%, con un costo medio di 20,55 c/euro per metro cubo, calcolato su imprese con un carico medio annuo di 2.770 mila metri cubi e al netto delle imposte non recuperabili.

Ben diversa è, invece, nel nostro Paese la situazione per le forniture di gas destinate ad uso civile (servizi, commercio, Pubblica Amministrazione, Enti Pubblici) escluse, anche in questo caso, le utenze domestiche.

In questo mercato, dove i prezzi sono tuttora imposti dal CIP (Comitato Interministeriale Prezzi), l'Italia è in controtendenza con un costo medio di 52,7 c/euro per metro cubo, con una riduzione del 3%, a fronte di 8,3% in Germania, 9,1% in Svezia, 4,1% in Francia; mentre la Spagna registra abbattimenti di costi che arrivano al 37,8%.

C'è da considerare che i parametri internazionali del settore civile tengono conto di imprese con un carico medio annuo di 274 mila metri cubi, mentre nel nostro Paese le utenze civili si attestano su carichi medi annui molto più bassi, nell'ordine dei 75 mila metri cubi.

Inoltre, mentre in tutti i paesi hanno avuto i maggiori risparmi è in atto la deregulation delle forniture (sancita anche da una Direttiva Europea), l'Italia è ancora, di fatto, condizionata da un fornitore monopolista (la Snam) e da quattro soli punti di approvvigionamento gestiti da Eni.

**COME CAMBIA IL CLIMA**

Se le acque dell'oceano si riscaldano le sardine abbondano; se si raffreddano abbondano invece le acciughe.

Questa alternanza nel passato ha avuto un ciclo di 25 anni, almeno per l'Oceano Pacifico. Ora si è osservata una abbondanza

di acciughe. Forse le acque sono ancora un po' fredde per le sardine, ma, niente paura: con i futuri cambiamenti del clima ci sarà abbondanza di sardine, per gli estimatori di questo pesce.

È questo il nocciolo della scoperta ottenuta a seguito di una attività di ricerca sull'Oceano Pacifico condotta da un team di ricercatori del Monterey Bay Aquarium Research Center, situato a Moss Point in California e pubblicata il 10 gennaio sul giornale "Science".

**BUCO DELL'OZONO: SOTTOSTIMATE LE EMISSIONI DI CLORO**

Dal 1987 il protocollo di Montreal obbliga i paesi firmatari a interrompere l'utilizzo di sostanze che danneggiano lo strato di ozono; la maggior parte di queste sostanze contengono cloro, che partecipa poi alle reazioni che distruggono l'ozono. Nel 1996 un emendamento del protocollo impose che i paesi industrializzati eliminassero il cloroformio di metile (MCF), un solvente molto usato nell'industria. Da allora si pensava che in Europa le emissioni di questa sostanza, misurate dalle concentrazioni atmosferiche rilevate in Irlanda e dai dati relativi all'utilizzo di MFC, fossero ormai eliminate.

Ma nell'agosto del 2000 un aereo sorvolando la Germania e l'Europa centrale ha trovato concentrazioni di MCF molto più alte di quelle note. Da alcune simulazioni numeriche dei flussi atmosferici si è visto allora che la circolazione atmosferica non trasporta in Irlanda tutto l'MFC presente e si sono anche individuate probabili sorgenti della sostanza in distese di rifiuti sepolti.

Come indicano alcuni ricercatori olandesi dell'Università di

Utrecht che si sono occupati di queste analisi, le tracce di cloroformio di metile trovate sono piccole in confronto alle quantità di inizio anni novanta, ma averne sottostimato i livelli potrebbe aver distorto la comprensione di come interagiscono e vengono assorbite nell'atmosfera l'MCF e altre sostanze inquinanti.

### I COSTI AMBIENTALI DEL TRAFFICO AEREO

Uno studio tedesco dell'Ufficio Federale dell'Ambiente ha stimato i costi ambientali che il traffico aereo genera. Questi costi, causati da rumore ed emissioni inquinanti (tra le quali la CO<sub>2</sub>), non vengono pagati né dalle compagnie aeree né dai passeggeri: vengono, invece, riversati sulla collettività o lasciati in eredità alle generazioni future.

Lo studio ha preso in esame diverse categorie di aerei su diverse distanze (200-6000 km) e ha stimato i relativi costi ambientali per passeggero. Ad esempio, per un volo di 500 km con aereo da 100 posti (tutti occupati) il costo ambientale per passeggero risulta di 10 €; mentre per un volo transatlantico (6000 km e 400 posti) si arriva a 43 €.

Le stime sono del tutto cautelative, infatti comprendono l'inquinamento atmosferico e acustico in fase di decollo e atterraggio e il contributo del traffico aereo all'effetto serra; non viene considerato, invece, il vapore acqueo generato in quota dagli aerei e indicato da altre fonti notevolmente rilevante dal punto di vista climatico.

I ricercatori tedeschi propongono perciò di tassare il traffico aereo in funzione dell'impatto ambientale e di eliminare anche le sovvenzioni a favore dell'aviazione, quali la detassazione del kerosene per aerei.

## Arrivo: Berlino, Aprile 2003

Gas è Big Business - grazie ai suoi straordinari vantaggi economici ed ambientali il Gas è diventato una delle risorse energetiche più importanti nel mondo: ragione vitale per visitare GAS Berlin 2003. Incontrate gli esperti e gli operatori provenienti da tutto il mondo - allacciate nuovi contatti. **Preparate la Vostra valigia, GAS Berlin 2003 Vi aspetta.**



## GAS BERLIN 2003

Salone Internazionale dell'Industria del Gas

dal 7 all' 11 Aprile 2003

Berlino  
[www.gas-berlin.com](http://www.gas-berlin.com)

in Italia: Promoevents srl  
Via Privata Pomezia 10/A-20127 Milano-  
Tel. 02.33402131 Fax 02.33402130  
[messeberlin@promoevents.com](mailto:messeberlin@promoevents.com)

Messe Berlin

## dall'UNIONE EUROPEA

**Le donne sono sottorappresentate nella ricerca industriale**

**Obiettivi di Lisbona: investire in R&S**

### LE DONNE SONO SOTTORAPPRESENTATE NELLA RICERCA INDUSTRIALE

La "sottorappresentanza delle donne nella scienza impedisce la piena realizzazione del potenziale del SER [Spazio europeo della ricerca] e il raggiungimento degli obiettivi di Lisbona", recita la prefazione di una relazione dal titolo "Le donne nella ricerca industriale. Un appello all'azione rivolto all'industria europea" pubblicata il 23 gennaio.

La relazione è stata preparata da un gruppo di esperti composto da 50 rappresentanti delle principali società di ricerca e sviluppo (R&S) e delle piccole e medie imprese innovative, nonché da illustri ricercatori.

Gli autori della relazione definiscono "allarmanti" i risultati dello

studio. Su 500.000 ricercatori occupati nell'industria europea, solo 50.000 sono donne, per una media del 15 per cento nei 10 paesi che dispongono di dati specifici.

Alcuni paesi sono più avanzati di altri in questo settore. Mentre la percentuale di donne impiegate nella ricerca industriale è pari al 28,2 per cento in Irlanda e supera il 23 per cento in Grecia e Portogallo, in Germania e in Austria scende rispettivamente al 9,6 e al 9 per cento.

Gli impegni familiari delle donne costituiscono una delle principali cause della loro limitata presenza nel mondo della ricerca; lo conferma anche il basso numero di donne con figli in questo settore rispetto ad altri ambiti professionali.

Affinché sia possibile utilizzare il talento femminile la relazione raccomanda di:

- stimolare l'interesse di un numero maggiore di ragazze nei confronti della scienza e dell'ingegneria;
- creare strutture a sostegno di politiche per un salutare equilibrio fra vita privata e professionale;
- promuovere un cambiamento culturale e aziendale nel settore;
- elaborare indicatori per monitorare i progressi compiuti e raffrontare gli effetti delle politiche pubbliche e private;
- raccogliere e divulgare esempi di aziende che, per attività di R&S, hanno assunto personale femminile dal "talent pool" europeo.

### OBIETTIVI DI LISBONA: INVESTIRE IN R&S

Il presidente della Commissione Romano Prodi ha esortato gli Stati membri a non ridurre la spesa per la ricerca e l'innovazione durante l'attuale congiuntura economica incerta.

Presentando la Relazione di pri-

mavera al Parlamento europeo di Strasburgo il 14 gennaio, Prodi ha sottolineato l'importanza di tali investimenti per il raggiungimento dell'obiettivo di Lisbona, ovvero trasformare l'Europa nell'economia basata sulla conoscenza più competitiva al mondo entro il 2010.

"In periodi di transizione e di difficoltà non è facile resistere alla tentazione di tagliare o rimandare questo tipo di investimenti per far fronte a problemi che sembrano più urgenti. Si tratta di un errore che dobbiamo evitare. La conoscenza e l'innovazione [...] sono i presupposti della crescita, della competitività, dell'occupazione e di un ambiente più vivibile", ha dichiarato Prodi. E ha proseguito, "per raggiungere i nostri obiettivi dobbiamo stimolare la ricerca sui prodotti all'avanguardia a livello mondiale e sulle tecnologie pulite e dobbiamo aiutare le imprese a trasformare le conoscenze in opportunità economiche".

Prodi ha annunciato il prossimo lancio di un piano d'azione per la ricerca e sviluppo (R&S), e ha esortato gli Stati membri a coordinare gli sforzi volti a fissare degli obiettivi nazionali in materia di istruzione, ricerca, innovazione e imprese. "Per avere buone garanzie di successo, dobbiamo dimostrare sin da subito una volontà politica più forte", ha dichiarato il Presidente della Commissione, criticando il fatto che alcuni Stati membri non abbiano ancora attuato molte delle riforme politiche nazionali necessarie al raggiungimento degli obiettivi di Lisbona.

Come evidenziato da Prodi, Stati Uniti e Giappone dispongono di un numero di ricercatori superiore a quello dell'UE, e le società europee che investono nella ricerca spesso svolgono tali attività al di fuori dell'Unione; le grandi imprese europee, infatti, conducono il 40 per cento delle attività di ricerca nei paesi terzi.



dall'ITALIA

La riforma  
degli enti di ricercaEsame in ambiente  
per l'Italia**LA RIFORMA DEGLI ENTI DI RICERCA**

Il Consiglio dei Ministri il 31 gennaio scorso, su proposta del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, Moratti, ha approvato i tre schemi di decreto legislativo per la riforma ed il riordino del Consiglio Nazionale delle Ricerche, dell'Istituto Nazionale di Astrofisica e dell'Agenzia Spaziale Italiana con il fine di adeguarne la missione e la struttura al contesto europeo e di favorirne l'inserimento nelle grandi reti di ricerca europee ed internazionali.

L'organizzazione e la struttura degli enti viene sostanzialmente basata su strutture omogenee, con compiti definiti in modo puntuale, la cui funzionalità

viene assicurata da un assetto spiccatamente manageriale, riservando alla componente scientifica la formulazione dei progetti e dei piani di attività.

Nell'ambito della riorganizzazione di CNR e INAF, ha funzione essenziale il Dipartimento, affidato a un Direttore responsabile della programmazione, ed è previsto un Comitato di valutazione dei risultati dell'attività di ricerca; per l'ASI, che svolge attività di Agenzia, è previsto un Consiglio scientifico con compiti propositivi e consultivi, ed un modello organizzativo strutturato in settori tecnici.

Nel CNR confluiranno alcuni enti di ricerca preesistenti, quali l'Istituto internazionale di diritto agrario comparato, l'Istituto nazionale di fisica della materia, l'Istituto nazionale di ottica applicata, Istituto papirologico "G. Vitelli".

Nell'INAF è prevista la confluenza di Istituti scorporati dal CNR, quali l'Istituto di astronomia, l'Istituto di astrofisica spaziale e l'Istituto di fisica dello spazio interplanetario.

Sui tre provvedimenti verrà acquisito il parere della Commissione bicamerale per la riforma amministrativa.

"Con particolare riferimento al CNR, per il quale è previsto un più complesso processo di riordino, il Ministro Moratti ha informato il Consiglio che è suo intendimento procedere allo scioglimento dei relativi Organi di gestione e, contestualmente, alla nomina del prof. Adriano De Maio a Commissario straordinario del CNR fino alla riorganizzazione dello stesso e comunque non oltre il 31 gennaio 2004. Il Consiglio ha condiviso". Le decisioni prese dal Consiglio dei Ministri hanno suscitato reazioni nel mondo della ricerca che paventa limitazioni nei gradi di libertà della ricerca fondamentale.

**ESAME IN AMBIENTE PER L'ITALIA**

L'OCSE, l'Organizzazione per la Cooperazione allo Sviluppo Economico, ha pubblicato il rapporto sulle performance ambientali dell'Italia che prende in esame gli eco-risultati del Paese dal 1994 al febbraio del 2002.

Buoni voti sono stati ottenuti dall'Italia in efficienza energetica (la migliore performance tra i paesi OCSE), in protezione della natura (in 10 anni è raddoppiata la superficie tutelata), in agricoltura biologica (il 7% del totale), in raggiungimento di obiettivi nazionali e internazionali sulla riduzioni delle emissioni di SO<sub>2</sub>, di metalli pesanti e di Pops, le sostanze organiche persistenti.

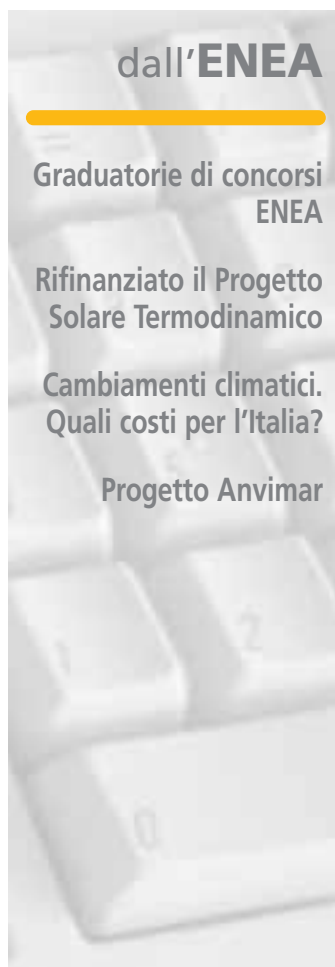
C'è, invece, ancora da lavorare: sull'inquinamento dell'aria in città, soprattutto per le polveri sottili e l'ozono; sulla qualità delle acque e sulla depurazione; sulla quantità dei rifiuti e sul loro smaltimento in discariche fuori norma; sulle specie animali minacciate di estinzione.

Il rapporto, presentato il 29 gennaio, fa parte di un programma dell'OCSE, avviato nel 1991, che ha l'obiettivo di valutare lo stato dell'ambiente e i progressi in campo ambientale di ogni paese membro, sia a livello nazionale che nei confronti degli impegni assunti in ambito internazionale.

La valutazione viene fatta tenendo conto del contesto ambientale storico precedente, delle condizioni economiche del paese e dell'evoluzione demografica.

Oltre all'Italia nel suo complesso, il rapporto esamina anche due realtà particolari: una regione, il Friuli-Venezia Giulia e un comune, Roma.

cronache



10) Fiorani Luca	82,20	Pereno Massimiliano, celibe	82,13
11) Pulvirenti Lucio nato il 28 /05/1969	80,60	36) Capotorto Valeria	81,50
Bastiano Maurizio nato il 26/11/1965	80,60	37) Raia Natale	81,25
13) Sereno Mauro	79,60	38) Capecchi Gabriella	81,00
De Luca Salvatore	78,80	39) Masetti Olimpia	80,63
15) Di Francia Dario, coniugato con 1 figlio	78,40	40) La Deda Massimo	80,13
Pisati Roberto, celibe	78,40	41) Millione Stefano nato il 26/11/1971	79,38
17) Jossa Andrea nato il 03/06/1971	78,00	Pietroangelo Adriana nata il 23/07/1971	79,38
Tini Brunozzi Paolo nato il 27/07/1967	78,00	43) Capone Mauro, 78,88	
19) Venezia Antonio nato il 20/12/1974	77,20	44) Accoto Grazia, 78,75	
Menchini Francesca nata il 18/12/1971	77,20	45) Amati Mario nato il 25/08/1973	78,50
21) Mercuri Mario	76,40	Colangiuli Donato nato il 20/02/1971	78,50
22) Elia Lorella	76,20	47) Curatolo Marcella	78,13
23) Principe Assunta	76,00	48) Delle Fratte Chiara	77,75
24) D'Agosta Gianluca	74,40	49) Donnoli Maria Irene	77,25
25) Bagagiolo Marco	71,20	50) Presta Biagio nato il 25/10/1969	77,13
		D'Amico Maria Lucia nata il 12/12/1968	77,13

**Posizione A2****N. 2 Laureati in Chimica**

1) Sau Giovanni Salvatore	95,75	52) Pinto Valentina nata il 26/01/1974	76,75
2) Favuzza Paolo	93,50	Ambrosini Paolo nato il 02/09/1970	76,75
3) Romoli Debora	93,00	54) Ciotti Giuliano nato il 18/06/1970	76,50
4) Renier Alessandro Maria	92,63	Chirco Paolo nato il 25/09/1968	76,50
5) De Pinto Dario Alessandro	92,13	56) Calderone Giovanni	74,50
6) Muscio Francesco	91,50	57) Emanuele Maria Carmela	74,00
7) Calabrese Alessandro	91,25	58) Bruno Maria Rosaria	73,13
8) Lazzerini Oliviero	90,63	59) Villano Rosaria	72,25
9) Mangano Giuseppe	90,38	60) Boccaletti Giovanni	72,00
10) Tesser Luisa	90,25		
11) Di Landa Giuseppe	90,13		
12) Tosi Marina	89,88		
13) Montereali Maria Rita	89,38		
14) Modestia Francesco	89,13		
15) Laera Giuseppe	88,88		
16) Cemmi Alessia	88,25		
17) Nardiello Donatella	88,00		
18) Leo Giuseppe	87,75		
19) Avallone Elvira	87,13		
20) De Angelis Doina	87,00		
21) Arcesi Luca	86,88		
22) Pellegrino Caterina	86,75		
23) Carella Antonio	85,00		
24) Coluccini Carmine	84,88		
25) Sangiorgio Paola	84,75		
26) Aliboni Andrea	84,13		
27) Savo Giuseppe	84,00		
28) Cecere Giuseppe	83,88		
29) Griffone Luca	83,50		
30) Mangia Daniele	83,38		
31) Albergo Roberto	83,25		
32) Magliano Alessandro	82,75		
33) Bruno Luigi	82,38		
34) Nardella Alessandro coniugato con 1 figlio	82,13		

**Posizione A3****N. 1 Laureato in Informatica**

1) De Vito Saverio	100,00
2) Fucci Michele	91,80
3) Santucci Giovanni	91,40
4) Fiumara Maurizio	90,40
5) Paladino Carmela	88,40
6) Pisano Domenico	87,40
7) Surano Donato	85,20
8) Sorrentino Gregorio	85,00
9) Biscardi Giuliana	84,40
10) D'Alò Teodoro	78,40
11) Santangelo Maria Angela	76,80
12) Santoro Laura Bianca	76,00
13) Buonocore Antonio	73,60

**Posizione A4****N. 1 Laureato in Scienze Agrarie o Scienze Naturali**

1) Fancello Giulio	95,50
2) Colucci Federica	92,13
3) Cerioni Stefano	90,13

**GRADUATORIE DI CONCORSI ENEA**

**Graduatorie di merito del concorso per esami per l'assunzione in prova a tempo indeterminato di 49 unità di personale laureato e diplomato (G.U. del 1° giugno 2001 - 4ª serie speciale concorsi ed esami n. 43 e G.U. del 20 luglio 2001 - 4ª serie speciale concorsi ed esami n. 57)**

(in centesimi)

**Posizione A1****N. 2 laureati in Fisica**

1) Grena Roberto	98,00
2) Contento Gaetano	94,00
3) Perroni Carmine Antonio	93,40
4) Gambassi Andrea	93,00
5) De Benedetti Massimo	91,20
6) Scardigli Fabio	87,40
7) Dell'Erba Ramiro	85,60
8) Bonifazi Paolo	85,40
9) Cecilia Angelica	83,20

4) Matarazzo Enrico	89,50	7) Marcoccia Sabrina	90,00	8) Guadagno Francesco	88,29
5) Massini Giulia	88,75	8) Negri Nicola	89,80	9) Leone Gian Paolo	87,71
6) Robusto Alfredo	88,00	9) Porena Massimiliano	89,60	10) Addamo Maurizio	87,57
7) De Guido Maria Antonietta	86,38	10) Minervino Ivana	89,40	11) Ursino Antonino	
8) Marannino Pierdomenico	85,75	11) Morinelli Andrea	88,40	nato il 08/02/1973	86,29
9) Erriquens Flora	85,25	12) Troccoli Alessandro		Iacuzio Giovanni	
10) Lisabettini Simona	84,88	nato il 03/10/1971	88,00	nato il 07/01/1972	86,29
11) Del Bono Enrico	84,38	Di Pace Antonio,		13) D'Antonio Rosaria	81,71
12) Tumino Vito		nato il 18/04/1966	88,00	14) Fragale Francesco	
nato il 25/10/1971	83,88	14) Proposito Marco		nato il 25/01/1973	81,57
Buzi Andrea		nato il 04/03/1965	87,40	Pataro Gianpiero	
nato il 21/05/1969	83,88	Barsanti Mattia		nato il 05/01/1971	81,57
14) Ciancio Roberto	83,38	nato il 21/03/1965	87,40	16) Di Fede Fabio	81,43
15) Latorraca Michele	83,25	16) Marinoni Luigi Tito	87,20	17) Paturzo Luca	81,00
16) Mingo Antonio	82,75	17) Chiocchini Francesca		18) Frioni Valerio	79,71
17) Mascia Michele	82,13	nata il 12/01/1970	87,00	19) Vinci Raimondo	79,14
18) Antonelli Marco	79,25	D'Agostino Gennaro		20) Rea Gennaro	78,43
19) Repole Fausta Graciela	78,88	nato il 31/05/1969	87,00	21) Dell'Era Alessandro	77,71
20) Moretti Riccardo	78,75	19) Grana Mario	86,80	22) Riondato Leonello	76,00
21) Finamore Francesca	78,38	20) Nisi Marco Fulvio	86,00	23) Gallo Maria Grazia	75,86
22) Bonci Daniele	78,25	21) Giangipoli Nicola	85,40	24) Goffredo Francesco	
23) Croce Antonio		22) Somma Renato	85,00	nato il 01/06/1975	74,57
nato il 18/11/1974	77,88	23) Piccini Chiara	84,80	D'Avino Rossella	
Fucito Renato		24) Melfa Riccardo	84,40	nata il 08/03/1974	74,57
nato il 12/05/1969	77,88	25) Gafà Rossella Maria		26) Tomisti Silvia	
25) Cocco Pietro		nata il 30/11/1971	83,60	nata il 28/11/1975	73,29
nato il 25/02/1970	77,38	25) Rapisarda Francesco		Giordano Francesca	
Todaro Enzo		nato il 20/11/1971	83,60	nata il 09/01/1974	73,29
nato il 25/08/1968	77,38	27) Grechi Giampaolo	83,20	28) Zito Francesco	72,57
27) Minardi Alessandra	77,25	28) Corami Alessia	82,60	29) Capone Claudia	72,00
28) Orioli Lorenzo	76,63	29) Gnucci Lucia	82,40		
29) Magliocco Emanuele Lucio		30) Lugari Alessandro	82,20		
nato il 13/12/1976	76,50	31) Nappi Michele	81,60		
Caroli Ilena		32) Arcasenza Marina	81,20		
nata il 23/11/1974	76,50	33) Schiavi Cecilia	81,00		
D'Alessandro Antonietta		34) Arcieri Massimiliano	80,00		
nata il 17/05/1970	76,50	35) De Santis Vincenzo	79,80		
32) Paradiso Annalisa	75,63	36) Matteucci Marzia	79,40		
33) Capitoni Bruno		37) Mangiolfi Antonio	78,20		
nato il 13/06/1974	74,25	38) Cappucci Sergio	76,80		
33) Moliterni Stefania		39) Arboretti Giancristofaro			
nata il 18/06/1973	74,25	Lucio	76,40		
35) Aprea Luigi	74,00	40) Castronovi Domenico			
36) Buffa Rosalia		Leonardo	76,00		
nata il 29/05/1975	73,38	41) Polizzi Marco	75,60		
Maggiorelli Paola		42) Campo Valentina	74,00		
nata il 26/11/1973	73,38	43) Cuccurullo Francesco	71,20		
38) Ballarò Christian	73,13	44) Lucarini Mauro	70,00		
39) Sartori Alisea	72,25				

**Posizione A5****N. 1 Laureato in Scienze Geologiche**

1) Falconi Luca	94,00
2) Di Niro Annunziata	92,40
3) Armiento Giovanna	91,60
4) Manzo Carlo	91,40
5) Pizzi Roberto	
nato il 09/08/1972	90,40
Maffei Alfredo,	
nato il 05/07/1969	90,40

**Posizione A6****N. 2 Laureati in Ingegneria Chimica**

1) Visentin Valentina	95,00
2) Giaconia Alberto	94,71
3) Manganelli Giuseppe	94,43
4) Cafiero Lorenzo Maria	93,43
5) Marsili Enrico	91,00
6) Ricci Esmeralda	90,29
7) Fatta Vittoria	90,14

**Posizione A7****N. 6 Laureati****in Ingegneria Meccanica**

1) Cancro Carmine	87,54
2) Canneto Giuseppe	86,31
3) Deiana Paolo	86,08
4) Carro Giuseppe	85,31
5) Arcieri Giuseppe	85,15
6) Ciniglio Gabriele	85,08
7) Moretti Paolo	84,85
8) Frosi Paolo	84,46
9) Carretto Matteo	83,08
10) Fiorenza Giuseppe	82,77
11) Di Battista Lorenzo	
nato il 03/11/1970	82,69
Molinari Luca	
nato il 27/03/1974	82,69
13) Cardiello Domenico	82,54
14) Affortunato Massimo	
nato 14/10/1969	81,77
Cavanna Mauro	
nato 17/06/1968	81,77
16) Di Santo Dario	81,69
17) Federico Vincenzo	78,92
18) Mainieri Andrea	78,15
19) Costantino Stefano	76,92
20) D'Antonio Pierangelo	76,77
21) Gentile Giovan Battista	
coniugato con 1 figlio	75,54

Garrì Domenico celibe	75,54
23) Rotta Sebastiano nato il 22/05/1973	74,77
Santarcangelo Gianni nato il 06/08/1975	74,77
25) Venezia Francesco Saverio	72,77
26) Tancredi Domenico	71,38
27) Cormano Luigi	70,00

**Posizione A8****N. 1 Laureato in Ingegneria Civile**

1) Pugliese Luigi	92,80
2) Bosco Maurizio	91,00
3) Renzi Emanuele	88,80
4) Tito Salvatore	87,20
5) Ponticelli Luca	87,00
6) Tarquini Luigi	86,60
7) Bonomo Gerardo	86,00
8) Morelli Corrado	85,40
9) Giberti Gianluca	82,80
10) Porfido Rocco	82,40
11) Pozzi Davide	82,20
12) Berardi Nicola	81,80
13) Pisciotta Caleca Salvatore nato il 15/09/1975	79,20
Di Maio Luigi nato il 18/02/1973	79,20
15) Boccia Francesco	78,40
16) Andreano Noè nato il 14/06/1971	77,20
Saltalamacchia Vincenzo nato il 09/02/1966	77,20
18) Scardigno Vincenzo	77,00
19) Viscovo Luigi	75,80
20) Tataranno Marco	75,60
21) Di Domenica Fernando	74,80
22) Mangiapane Salvatore	74,40
23) Iaria Raffaele	74,00

**Posizione A9****N. 1 Laureato in Ingegneria Civile Edile o Laureato in Architettura**

1) Pianese Luigi	93,38
2) Buonaiuto Vincenzo	92,63
3) Romano Sabrina	90,88
4) Morotti Gian Paolo	88,00
5) Clemente Rocco Luigi	85,50
6) Scognamiglio Alessandra nata il 18/04/1972	84,50
Pescatore Eliana nata il 18/08/1969	84,50
8) Serio Maria Michela	83,38
9) Casalino Stefania	82,75
10) Da Rold Danila	82,25
11) Atorino Flavia	81,00
12) Consani Franco	80,88
13) Del Paradiso Gabriella	80,13
14) Tundo Antonella	79,38
15) Vinci Domenico	77,88

16) Materazzo Serena	77,63
17) Paolicelli Alessandra	76,75
18) Cappellato Barbara	76,13
19) Lombardo Stefano	75,63
20) Rizzacasa Rosaria	74,00
21) Cuccarese Armando Domenico	73,38
22) Schipani Gianfranco	73,13
23) Romeo Domenico nato il 08/11/1976	72,25
Nesi Eleonora nata il 31/08/1973	72,25
Rubino Maria Antonietta nata il 10/02/1972	72,25
26) Dibitonto Francesca	71,00

**Posizione A10****N. 4 Laureati in Ingegneria Elettronica**

1) Bucci Luigi	100,00
2) Marongiu Alessandro	92,80
3) Palumbo Domenico	92,00
4) Tassini Paolo	91,60
5) Alonge Giuseppe	90,40
6) Genovese Francesco	89,60
7) Mattia Antonio	88,80
8) Sansone Mario	87,80
9) Faedda Andrea	87,60
10) Ciaccio Nicasio	84,00
11) Cusmano Pietro	80,40
12) Montesano Giuseppe	79,60
13) Cesinaro Stefano	79,40
14) Scaldara Antonio nato il 13/06/1970	78,40
De Lia Francesco nato il 24/10/1961	78,40
16) Palumbo Antonio	78,00
17) Cetrullo Eugenio	77,20
18) Loconsolo Giuseppe	75,60
19) Loiacono Massimo	73,20
20) Pollastrone Fabio	72,40

**Posizione A11****N. 1 Laureati in Ingegneria Elettrotecnica**

1) Graditi Giorgio	91,60
2) Moro Alberto	90,80
3) Acanfora Claudio	90,60
4) Girolamini Andrea	89,60
5) Fantini Luca Ruben	88,60
6) Stoica Emilia	88,00
7) Santi Federico	87,80
8) Molinaro Tonino	83,60
9) Grieco Giambattista	82,60
10) Vanacore Giuseppe	81,40/110
11) Gentile Daniela	80,40
12) Pasqualini Claudio	80,20
13) De Ceglia Pasquale Giovanni	79,40
14) Ranieri Annamaria	79,20

15) Gaggioli Walter	78,00
16) Quinci Damiano	73,60
17) Valente Mario	72,40

**Posizione B1****N. 4 Periti Chimici o Maturità Professionale per le Industrie Chimiche**

1) Sarli Francesco	100,00
2) Nasti Ivana	95,75
3) Baldassarre Francesco	92,38
4) Cerioli Antonio	91,88
5) De Angelis Rossano	91,50
6) Santantonio Claudio	90,50
7) Romanelli Assunta	88,00
8) Lazzaro Francesco	87,63
9) Farneti Tiziana	86,63
10) Piovi Marco	86,25
11) Esposito Ilaria	86,13
12) Ceccarelli Piergiorgio	85,88
13) Zampoli Mariarosaria	85,63
14) Montanucci Federica	83,00
15) Ghilandi William	81,00
16) Dimaggio Pasqua	80,38
17) Tennina Sabrina	79,00
18) Lagreca Anna	74,25
19) Chianese Concetta	73,13
20) Cento Cinzia	72,25
21) Freda Rosa nata il 28/06/1970	72,00
21) Corradi Luca nato il 07/02/1969	72,00

**Posizione B2****N. 9 Periti Elettronici o Periti Elettronici e Telecomunicazioni o Maturità Professionale Tecnica per le Industrie Elettriche ed Elettroniche**

1) Calò Oronzo	97,60
2) Menicucci Ivano	96,60
3) Centonze Michele	95,20
4) Merola Angelo	94,00
5) Scianna Giovanni	93,40
6) Peloso Alessandro	91,60
7) Di Lorenzo Paolo	90,20
8) Mastrella Stefano	88,40
9) Sica Vincenzo	88,00
10) Petrolini Piero	87,60
11) Formisano Fabrizio	86,60
12) Cappadozzi Gianluca	83,60
13) Nicosia Tommaso	80,80
14) Ferrara Giuseppe	79,60
15) Roppo Giuliano nato il 05/12/1975	79,20
Affinito Luigi nato il 08/03/1971	79,20
17) Ratto Nicolò	78,40
18) Militano Roberto	76,80
19) Bolognesi Stefano	73,20
20) Valente Alessandro	71,20



**Posizione B3****N. 6 Periti Elettrotecnici o Periti Elettrotecnici e Automazione**

1) Regina Pasquale	100,00
2) Caretto Flavio	88,40
3) Flaminio Giovanni	87,00
4) Messina Giuseppe	86,40
5) Scardigno Mauro nato il 07/10/1973	85,60
Camporeale Giuseppe nato il 05/05/1969	85,60
7) Azzone Gaetano	84,20
8) Assettati Andrea nato il 24/06/1969	82,80
Surrenti Vincenzo Francesco nato il 10/12/1968	82,80
10) Felici Claudio	82,00
11) Vendola Giuseppe	81,60
12) Caria Giuseppino	81,20
13) Pioli Fabrizio	80,80
14) Dragano Amedeo	78,00
15) Amerise Francesco	73,60

**Posizione B4****N. 3 Periti in Informatica**

1) Diana Benedetto Filippo	100,00
2) Favoino Marco	98,80
3) Pugliese Francesco	97,60
4) D'Amico Giacomo Dario	96,00
5) Andreoli Fabrizio	95,40
6) Sabbatino Massimo	89,00
7) De Concilio Giovanni	87,80
8) De Cubellis Silvana	84,60
9) Tommasi Fabrizio	83,60
10) Tomasino Giuseppe	77,20
11) Melissano Egidio	75,60
12) Scalas Federico	72,20
13) Spisto Pasqua Liana	71,20
14) Lacanna Egidio	70,00

**Posizione B5****N. 4 Periti Meccanici o Maturità Professionale di Tecnico delle Industrie Meccaniche**

1) Dedola Agostino	95,00
2) Alessandrini Stefano	86,14
3) Terranova Gaetano	83,29
4) Bruno Agatino	74,86
5) Corrado Mario	74,00
6) Fiscante Marcello	73,86
7) Simone Flavio	73,00

**Posizione B6****N. 1 Perito Fisica Ambientale e Sanitaria o Perito Energia Nucleare**

1) Chirico Roberto	84,71
2) Duranti Leonardo	82,86
3) Barbini Fabio	82,29
4) Negrisolò Sara	74,86

**Graduatorie definitive del concorso per esami per l'assunzione in prova a tempo indeterminato di 49 unità di personale laureato e diplomato (G.U. del 1° giugno 2001 - 4ª serie speciale concorsi ed esami n. 43 e G.U. del 20 luglio 2001 - 4ª serie speciale concorsi ed esami n. 57)****Posizione A1****N. 2 Laureati in Fisica**

1) Grena Roberto
2) Contento Gaetano
3) Perroni Carmine Antonio
4) Gambassi Andrea
5) De Benedetti Massimo
6) Scardigli Fabio
7) Dell'Erba Ramiro
8) Bonifazi Paolo
9) Cecilia Angelica
10) Fiorani Luca
11) Pulvirenti Lucio
12) Bastiano Maurizio
13) Sereno Mauro
14) De Luca Salvatore
15) Di Francia Dario
16) Pisati Roberto
17) Jossa Andrea
18) Tini Bruno Paolo
19) Venezia Antonio
20) Menchini Francesca
21) Mercuri Mario
22) Elia Lorella
23) Principe Assunta
24) D'Agosta Gianluca
25) Bagagiolo Marco

**Posizione A2****N. 2 Laureati in Chimica**

1) Sau Giovanni Salvatore
2) Favuzza Paolo
3) Romoli Debora
4) Renier Alessandro Maria
5) De Pinto Dario Alessandro
6) Muscio Francesco
7) Calabrese Alessandro
8) Lazzerini Oliviero
9) Mangano Giuseppe
10) Tesser Luisa
11) Di Landa Giuseppe
12) Tosi Marina
13) Montereali Maria Rita
14) Modestia Francesco
15) Laera Giuseppe
16) Cemmi Alessia
17) Nardiello Donatella
18) Leo Giuseppe
19) Avallone Elvira
20) De Angelis Doina
21) Arcesi Luca
22) Pellegrino Caterina

23) Carella Antonio
24) Coluccini Carmine
25) Sangiorgio Paola
26) Aliboni Andrea
27) Savo Giuseppe
28) Cecere Giuseppe
29) Griffone Luca
30) Mangia Daniele
31) Albergo Roberto
32) Magliano Alessandro
33) Bruno Luigi
34) Nardella Alessandro
35) Pereno Massimiliano
36) Capotorto Valeria
37) Raia Natale
38) Capecchi Gabriella
39) Masetti Olimpia
40) La Deda Massimo
41) Millione Stefano
42) Pietrodangelo Adriana
43) Capone Mauro
44) Accoto Grazia
45) Amati Mario
46) Colangiuli Donato
47) Curatolo Marcella
48) Delle Fratte Chiara
49) Donnoli Maria Irene
50) Presta Biagio
51) D'Amico Maria Lucia
52) Pinto Valentina
53) Ambrosini Paolo
54) Ciotti Giuliano
55) Chirco Paolo
56) Calderone Giovanni
57) Emanuele Maria Carmela
58) Bruno Maria Rosaria
59) Villano Rosaria
60) Boccaletti Giovanni

**Posizione A3****N. 1 Laureato in Informatica**

1) De Vito Saverio
2) Fucci Michele
3) Santucci Giovanni
4) Fiumara Maurizio
5) Paladino Carmela
6) Pisano Domenico
7) Surano Donato
8) Sorrentino Gregorio
9) Biscardi Giuliana
10) D'Alò Teodoro
11) Santangelo Maria Angela
12) Santoro Laura Bianca
13) Buonocore Antonio

**Posizione A4****N. 1 Laureato in Scienze Agrarie o Scienze Naturali**

1) Fancello Giulio
2) Colucci Federica



- 3) Cerioni Stefano
- 4) Matarazzo Enrico
- 5) Massini Giulia
- 6) Robusto Alfredo
- 7) De Guido Maria Antonietta
- 8) Marannino Pierdomenico
- 9) Erriquens Flora
- 10) Lisabettini Simona
- 11) Del Bono Enrico
- 12) Tumino Vito
- 13) Buzi Andrea
- 14) Ciancio Roberto
- 15) Latorraca Michele
- 16) Mingo Antonio
- 17) Mascia Michele
- 18) Antonelli Marco
- 19) Repole Fausta Graciela
- 20) Moretti Riccardo
- 21) Finamore Francesca
- 22) Bonci Daniele
- 23) Croce Antonio
- 24) Fucito Renato
- 25) Cocco Pietro
- 26) Todaro Enzo
- 27) Minardi Alessandra
- 28) Orioli Lorenzo
- 29) Maggiocco Emanuele Lucio
- 30) Caroli Ilena
- 31) D'Alessandro Antonietta
- 32) Paradiso Annalisa
- 33) Capitoni Bruno
- 34) Moliterni Stefania
- 35) Aprea Luigi
- 36) Buffa Rosalia
- 37) Maggiorelli Paola
- 38) Ballarò Christian
- 39) Sartori Alisea

**Posizione A5****N. 1 Laureato in Scienze Geologiche**

- 1) Falconi Luca
- 2) Di Niro Annunziata
- 3) Armiento Giovanna
- 4) Manzo Carlo
- 5) Pizzi Roberto
- 6) Maffei Alfredo
- 7) Marcoccia Sabrina
- 8) Negri Nicola
- 9) Porena Massimiliano
- 10) Minervino Ivana
- 11) Morinelli Andrea
- 12) Troccoli Alessandro
- 13) Di Pace Antonio
- 14) Proposito Marco
- 15) Barsanti Mattia
- 16) Marinoni Luigi Tito
- 17) Chiocchini Francesca
- 18) D'Agostino Gennaro
- 19) Grana Mario
- 20) Nisi Marco Fulvio
- 21) Giangipoli Nicola

- 22) Somma Renato
- 23) Piccini Chiara
- 24) Melfa Riccardo
- 25) Gafà Rossella Maria
- 26) Rapisarda Francesco
- 27) Grechi Giampaolo
- 28) Corami Alessia
- 29) Gnucci Lucia
- 30) Lugari Alessandro
- 31) Nappi Michele
- 32) Arcasenza Marina
- 33) Schiavi Cecilia
- 34) Arcieri Massimiliano
- 35) De Santis Vincenzo
- 36) Matteucci Marzia
- 37) Mangiolfi Antonio
- 38) Cappucci Sergio
- 39) Arboretti Giancristofaro Lucio
- 40) Castronovi Domenico  
Leonardo
- 41) Polizzi Marco
- 42) Campo Valentina
- 43) Cuccurullo Francesco
- 44) Lucarini Mauro

**Posizione A6****N. 2 Laureati in Ingegneria Chimica**

- 1) Visentin Valentina
- 2) Giaconia Alberto
- 3) Manganelli Giuseppe
- 4) Cafiero Lorenzo Maria
- 5) Marsili Enrico
- 6) Ricci Esmeralda
- 7) Fatta Vittoria
- 8) Guadagno Francesco
- 9) Leone Gian Paolo
- 10) Addamo Maurizio
- 11) Ursino Antonino
- 12) Iacuzio Giovanni
- 13) D'Antonio Rosaria
- 14) Fragale Francesco
- 15) Pataro Gianpiero
- 16) Di Fede Fabio
- 17) Paturzo Luca
- 18) Frioni Valerio
- 19) Vinci Raimondo
- 20) Rea Gennaro
- 21) Dell'Era Alessandro
- 22) Riondato Leonello
- 23) Gallo Maria Grazia
- 24) Goffredo Francesco
- 25) D'Avino Rossella
- 26) Tomisti Silvia
- 27) Giordano Francesca
- 28) Zito Francesco
- 29) Capone Claudia

**Posizione A7****N. 6 Laureati in Ingegneria Meccanica**

- 1) Cancro Carmine

- 2) Canneto Giuseppe
- 3) Deiana Paolo
- 4) Carro Giuseppe
- 5) Arcieri Giuseppe
- 6) Ciniglio Gabriele
- 7) Moretti Paolo
- 8) Frosi Paolo
- 9) Carretto Matteo
- 10) Fiorenza Giuseppe
- 11) Di Battista Lorenzo
- 12) Molinari Luca
- 13) Cardiello Domenico
- 14) Affortunato Massimo
- 15) Cavanna Mauro
- 16) Di Santo Dario
- 17) Federico Vincenzo
- 18) Mainieri Andrea
- 19) Costantino Stefano
- 20) D'Antonio Pierangelo
- 21) Gentile Giovan Battista
- 22) Garri Domenico
- 23) Rotta Sebastiano
- 24) Santarcangelo Gianni
- 25) Venezia Francesco Saverio
- 26) Tancredi Domenico
- 27) Cormanò Luigi

**Posizione A8****N. 1 Laureato in Ingegneria Civile**

- 1) Pugliese Luigi
- 2) Bosco Maurizio
- 3) Renzi Emanuele
- 4) Tito Salvatore
- 5) Ponticelli Luca
- 6) Tarquini Luigi
- 7) Bonomo Gerardo
- 8) Morelli Corrado
- 9) Giberti Gianluca
- 10) Porfido Rocco
- 11) Pozzi Davide
- 12) Berardi Nicola
- 13) Pisciotta Caleca Salvatore
- 14) Di Maio Luigi
- 15) Boccia Francesco
- 16) Andreano Noè
- 17) Saltalamacchia Vincenzo
- 18) Scardigno Vincenzo
- 19) Viscovo Luigi
- 20) Tataranno Marco
- 21) Di Domenica Fernando
- 22) Mangiapane Salvatore
- 23) Iaria Raffaele

**Posizione A9****N. 1 Laureato in Ingegneria Civile Edile o Laureato in Architettura**

- 1) Pianese Luigi
- 2) Buonaiuto Vincenzo
- 3) Romano Sabrina
- 4) Morotti Gian Paolo

- 5) Clemente Rocco Luigi
- 6) Scognamiglio Alessandra
- 7) Pescatore Eliana
- 8) Serio Maria Michela
- 9) Casalino Stefania
- 10) Da Rold Danila
- 11) Atorino Flavia
- 12) Consani Franco
- 13) Del Paradiso Gabriella
- 14) Tundo Antonella
- 15) Vinci Domenico
- 16) Materazzo Serena
- 17) Paolicelli Alessandra
- 18) Cappellato Barbara
- 19) Lombardo Stefano
- 20) Rizzacasa Rosaria
- 21) Cuccarese Armando  
Domenico
- 22) Schipani Gianfranco
- 23) Romeo Domenico
- 24) Nesi Eleonora
- 25) Rubino Maria Antonietta
- 26) Dibitonto Francesca

**Posizione A10****N. 4 Laureati in  
Ingegneria Elettronica**

- 1) Bucci Luigi
- 2) Marongiu Alessandro
- 3) Palumbo Domenico
- 4) Tassini Paolo
- 5) Alonge Giuseppe
- 6) Genovese Francesco
- 7) Mattia Antonio
- 8) Sansone Mario
- 9) Faedda Andrea
- 10) Ciaccio Nicasio
- 11) Cusmano Pietro
- 12) Montesano Giuseppe
- 13) Cesinaro Stefano
- 14) Scaldara Antonio
- 15) De Lia Francesco
- 16) Palumbo Antonio
- 17) Cetrullo Eugenio
- 18) Loconsolo Giuseppe
- 19) Loiacono Massimo
- 20) Pollastrone Fabio

**Posizione A11****N. 1 Laureati in  
Ingegneria Elettrotecnica**

- 1) Graditi Giorgio
- 2) Moro Alberto
- 3) Acanfora Claudio
- 4) Girolamini Andrea
- 5) Fantini Luca Ruben
- 6) Stoica Emilia
- 7) Santi Federico
- 8) Molinaro Tonino
- 9) Grieco Giambattista

- 10) Vanacore Giuseppe
- 11) Gentile Daniela
- 12) Pasqualini Claudio
- 13) De Ceglia Pasquale Giovanni
- 14) Ranieri Annamaria
- 15) Gaggioli Walter
- 16) Quinci Damiano
- 17) Valente Mario

**Posizione B1****N. 4 Periti Chimici o Maturità  
Professionale per le Industrie  
Chimiche**

- 1) Sarli Francesco
- 2) Nasti Ivana
- 3) Baldassarre Francesco
- 4) Cerioli Antonio
- 5) De Angelis Rossano
- 6) Santantonio Claudio
- 7) Romanelli Assunta
- 8) Lazzaro Francesco
- 9) Farneti Tiziana
- 10) Piovi Marco
- 11) Esposito Ilaria
- 12) Ceccarelli Piergiorgio
- 13) Zampoli Mariarosaria
- 14) Montanucci Federica
- 15) Ghilandi William
- 16) Dimaggio Pasqua
- 17) Tennina Sabrina
- 18) Lagreca Anna
- 19) Chianese Concetta
- 20) Cento Cinzia
- 21) Freda Rosa
- 22) Corradi Luca

**Posizione B2****N. 9 Periti Elettronici o Periti  
Elettronici e Telecomunicazioni o  
Maturità Professionale Tecnica per  
le Industrie Elettriche ed  
Elettroniche**

- 1) Calò Oranzo
- 2) Menicucci Ivano
- 3) Centonze Michele
- 4) Merola Angelo
- 5) Scianna Giovanni
- 6) Peloso Alessandro
- 7) Di Lorenzo Paolo
- 8) Mastrella Stefano
- 9) Sica Vincenzo
- 10) Petrolini Piero
- 11) Formisano Fabrizio
- 12) Cappadozzi Gianluca
- 13) Nicosia Tommaso
- 14) Ferrara Giuseppe
- 15) Roppo Giuliano
- 16) Affinito Luigi
- 17) Ratto Nicolò
- 18) Militano Roberto

- 19) Bolognesi Stefano
- 20) Valente Alessandro

**Posizione B3****N. 6 Periti Elettrotecnici  
o Periti Elettrotecnici e  
Automazione**

- 1) Regina Pasquale
- 2) Caretto Flavio
- 3) Flaminio Giovanni
- 4) Messina Giuseppe
- 5) Scardigno Mauro
- 6) Camporeale Giuseppe
- 7) Azzone Gaetano
- 8) Assettati Andrea
- 9) Surrenti Vincenzo Francesco
- 10) Felici Claudio
- 11) Vendola Giuseppe
- 12) Caria Giuseppino
- 13) Pioli Fabrizio
- 14) Dragano Amedeo
- 15) Amerise Francesco

**Posizione B4****N. 3 Periti in Informatica**

- 1) Diana Benedetto Filippo
- 2) Favoino Marco
- 3) Pugliese Francesco
- 4) D'Amico Giacomo Dario
- 5) Andreoli Fabrizio
- 6) Sabbatino Massimo
- 7) De Concilio Giovanni
- 8) De Cubellis Silvana
- 9) Tommasi Fabrizio
- 10) Tomasino Giuseppe
- 11) Melissano Egidio
- 12) Scalas Federico
- 13) Spisto Pasqua Liana
- 14) Lacanna Egidio

**Posizione B5****N. 4 Periti Meccanici o Maturità  
Professionale di Tecnico delle  
Industrie Meccaniche**

- 1) Dedola Agostino
- 2) Alessandrini Stefano
- 3) Terranova Gaetano
- 4) Bruno Agatino
- 5) Corrado Mario
- 6) Fiscante Marcello
- 7) Simone Flavio

**Posizione B6****N. 1 Perito Fisica Ambientale e  
Sanitaria o Perito Energia Nucleare**

- 1) Chirico Roberto
- 2) Duranti Leonardo
- 3) Barbini Fabio
- 4) Negrisolo Sara

### RIFINANZIATO IL PROGETTO SOLARE TERMODINAMICO

Con la pubblicazione sul Supplemento ordinario alla *Gazzetta Ufficiale* n. 293 del 14 dicembre scorso, si è concluso l'iter della legge sulla concorrenza durato oltre un anno. Il provvedimento, infatti, era stato approvato dal Consiglio dei Ministri nel novembre 2001 nell'ambito dei collegati alla legge finanziaria del 2002. La legge n. 273 del 12 dicembre 2002, "Misure per favorire l'iniziativa privata e lo sviluppo della concorrenza", è entrata in vigore il 29 dicembre 2002. Tra le innovazioni più significative la riforma della RC auto, i fondi per l'installazione di alimentazione a metano e gpl su auto a benzina, gli incentivi per l'acquisto di biciclette, la riforma dei brevetti e gli incentivi per la promozione di Internet tra le piccole e medie imprese.

Di particolare interesse è l'articolo 31 che ridetermina il contributo straordinario all'ENEA fissato dalla precedente legge n. 388/2000 per la realizzazione del progetto dimostrativo di un impianto di potenza nel campo del solare termico a concentrazione.

Per l'anno 2002 è assegnato all'ENEA un contributo straordinario nella misura di 25.822.844 euro, mentre per l'anno 2003 è di 20.658.275 euro da impiegare, in misura pari almeno ad un terzo, per la realizzazione degli interventi nel settore dell'uso efficiente dell'energia, definiti da un apposito accordo di programma tra il Ministro delle Attività Produttive e l'ENEA.

L'erogazione delle quote avviene su presentazione di relazioni nelle quali sono indicati lo sviluppo della ricerca e lo stato di avanzamento del progetto rispetto al semestre precedente.

Nella fase di realizzazione del progetto dimostrativo di potenza devono essere indicati i soggetti con i quali è realizzato l'impianto e il relativo impegno finanziario.

### CAMBIAMENTI CLIMATICI: QUALI COSTI PER L'ITALIA?

Presso la Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università "Roma Tre", si è svolto il 28 gennaio un seminario sulla vulnerabilità climatica dell'Italia organizzato da ENEA e FEEM, la Fondazione Eni Enrico Mattei.

La collaborazione tra i due Enti nasce dall'esigenza di integrare il lavoro di ricercatori di scienze del clima con la ricerca socio-economica, con l'obiettivo di condurre uno studio sulla vulnerabilità dell'Italia e definire una metodologia per una valutazione dei costi delle eventuali misure di adattamento e di mitigazione forestale ai cambiamenti climatici.

Dopo la definizione del Protocollo di Kyoto nel 1997, l'attenzione della ricerca, ma anche dei decisori pubblici, è stata focalizzata soprattutto sulla valutazione dei costi della riduzione delle emissioni antropogeniche di CO<sub>2</sub> basata, essenzialmente, sull'analisi dei sistemi di produzione ed utilizzo dell'energia da combustibili fossili.

Ma non minore è l'importanza di strategie di adattamento per la prevenzione e la minimizzazione dei possibili danni alle popolazioni ed al territorio e, nell'ambito delle misure di mitigazione, la valutazione, anche in termini economici, dei "sinks", i bacini forestali assorbitori di CO<sub>2</sub>.

La necessità di ricorso ad una metodologia di approccio integrato è importante per l'ENEA anche nell'ambito dell'incarico ricevuto dal Ministero dell'Ambiente

per la predisposizione del capitolo, riguardante la valutazione della vulnerabilità, gli impatti del cambiamento climatico e le strategie di adattamento, della "Terza Comunicazione nazionale sui cambiamenti climatici".

Nel corso del seminario sono stati presentati i lavori dei ricercatori ENEA e FEEM, che, partendo da due case study specifici, uno relativo al problema dell'innalzamento del livello del mare (nel territorio della Piana di Fondi) e l'altro al rischio di desertificazione (nei comuni siciliani di Licata, Cammarata e Ribera), mirano a valutarne il costo e le possibili ripercussioni economiche nei settori produttivi del Paese.

### PROGETTO ANVIMAR

La società Isnova, partecipata dall'ENEA, ha vinto un bando comunitario per il Progetto CDM Anvimar relativo allo sviluppo degli scambi di "certificati verdi" tra paesi del bacino del Mediterraneo. Al progetto, di cui Isnova è capofila, partecipano, oltre all'Italia e alla Spagna, la Turchia, il Marocco, la Tunisia, il Libano, e la Palestina.

CDM Anvimar, della durata di due anni, ha come obiettivo generale quello di esaminare ed agevolare le possibilità di scambio, tra le imprese dei paesi partecipanti, dei certificati verdi basati sul Clean Development Mechanism.

Tale meccanismo di flessibilità, previsto dall'attuazione del protocollo di Kyoto, consente di ridurre complessivamente le emissioni dei "gas serra" nel quadro di una nuova forma di cooperazione internazionale che apporti risultati economici, oltre che ambientali, positivi per entrambe le parti.

## INCONTRI

### Valutazione strategica di impatto ambientale

Il fotovoltaico va in treno

Regolazione dell'energia

Coordinamento per l'energia tra Italia e Russia

### VALUTAZIONE STRATEGICA DI IMPATTO AMBIENTALE

Il futuro recepimento della direttiva sulla VAS (2001/42/CE), la valutazione di impatto ambientale strategica di piani e programmi, è il quadro di riferimento del Corso, che si terrà al Politecnico di Milano (dal 26 al 30 maggio) che analizzerà i metodi previsionali più utilizzati riguardanti gli impatti sulle acque, l'aria, il suolo, il rumore, il paesaggio, la pianificazione, i grandi rischi naturali e antropici, la fauna, la flora, gli ecosistemi. Verranno presentati i relativi modelli matematici, le scale di valutazione, gli strumenti informatici più aggiornati e alcuni esempi significativi di studio.

Informazioni dettagliate nel sito <http://www.amb.polimi.it>.

### IL FOTOVOLTAICO VA IN TRENO

L'Associazione di Protezione Ambientale ha assegnato il 20 dicembre 2002 il premio nazionale per l'ambiente 2002 "Gianfranco Merli", a Trenitalia per il progetto PVTRAIN che rappresenta un "incentivo generale ad un maggiore e concreto impegno per l'ambiente". Il progetto, per la prima volta in Europa, sperimenta sui treni l'uso di pannelli fotovoltaici, utilizzati per mantenere in carica gli accumulatori di bordo non solo durante la marcia ma anche durante lo stazionamento dei convogli.

L'uso di questi pannelli permette di allungare la vita degli accumulatori e, anche, di ridurre le emissioni di gas serra eliminando il ricorso alle fonti termiche primarie per mantenere le batterie cariche durante la sosta.

Il progetto PVTRAIN, che riceve un contributo dall'Unione Europea nell'ambito del programma "Life Ambiente", prevede due anni di sperimentazione su un campione di 10 tipi di carrozze, locomotori e carri merci.

### REGOLAZIONE DELL'ENERGIA

Dal 5 al 9 ottobre 2003 si svolgerà a Roma, al nuovissimo Auditorium - Parco della Musica, la seconda edizione del Forum Mondiale sulla Regolazione dell'Energia, una occasione in cui i regolatori di mercati energetici discuteranno e analizzeranno le proprie esperienze nell'ambito dei processi di liberalizzazione in una prospettiva internazionale.

Il Forum viene organizzato dall'Autorità per l'Energia elettrica e il gas, con il patronato delle maggiori associazioni di regola-

tori, il Consiglio mondiale dell'energia, la Commissione Europea e la Banca Mondiale. Verranno affrontate le tematiche di maggiore attualità, con una attenzione particolare alla sicurezza degli approvvigionamenti energetici, allo sviluppo delle infrastrutture, ai diritti degli investitori finanziari e alle opportunità per i consumatori. Il precedente Forum si è svolto in Canada nel maggio del 2000 con la partecipazione dei rappresentanti di oltre 20 paesi e di 20 organizzazioni internazionali.

### COORDINAMENTO PER L'ENERGIA TRA ITALIA E RUSSIA

Si è riunita a Roma a metà dicembre la settima sessione del Consiglio italo-russo per la cooperazione economica, industriale e finanziaria che ha preso in esame la riattivazione dei gruppi di lavoro (investimenti, cooperazione scientifica-tecnologica, legislazione, formazione) secondo quanto stabilito in novembre a Mosca nella riunione del Comitato di coordinamento per l'energia. Il Consiglio ha riaffermato l'impegno nei settori dell'efficienza e del risparmio energetico, della fornitura e del trasporto di gas, della ristrutturazione e ammodernamento di centrali elettriche. Il programma concordato prenderà in esame, in particolare: i progetti di assistenza alle imprese dei due paesi per l'ammodernamento della centrale TEZ-2 di Kalinigrad; i progetti di investimento comune già avviati, quali il gasdotto Blue Stream e l'attività di prospezione sul giacimento di Astrakhan; le problematiche per la gestione delle forniture elettriche russe e di paesi terzi in Italia; gli interventi nel settore del rendimento energetico e quelli per l'applicazione del Protocollo di Kyoto.

## LETTURE

**ECO-ECONOMY**  
 Una nuova economia  
 per la Terra


La prova che l'economia è in conflitto con i sistemi naturali della Terra si osserva ogni giorno nei resoconti di cronaca sul tracollo dell'industria della pesca, la diminuzione delle foreste, l'erosione del suolo, l'innalzamento dei livelli di CO<sub>2</sub>, l'aumento della temperatura, i ghiacciai che si restringono, l'innalzarsi del livello del mare, la distruzione delle barriere coralline e la scomparsa delle specie. Questi *trend* parlano di rapporti sempre più tesi fra economia ed ecosistema terrestre e inducono costi economici sempre maggiori.

E l'incompatibilità diviene sempre più distruttiva quanto maggiori sono le pressioni dell'economia sui limiti naturali della Terra.

Un'economia sostenibile per l'ambiente, una *eco-economia*, richiede che i principi ecologici definiscano il quadro entro cui formulare la politica economica e che economisti ed ecologi lavorino assieme nel modellare una appropriata economia.

Proprio le informazioni che arrivano dalla Cina aiutano a capire perché la nostra economia non ci può portare dove vorremmo andare. In effetti la Cina sta "concentrando" la storia, dimostrando cosa accade quando un gran numero di persone passa velocemente da uno stato di povertà a uno di benessere.

Se ogni cinese possedesse una o due autovetture consumando benzina nelle stesse quantità americane, la Cina avrebbe bisogno di 80 milioni di barili di petrolio al giorno, circa 74 milioni di barili in più della odierna produzione quotidiana mondiale.

Se un'economia basata sui combustibili fossili, sulle automobili e sullo spreco non funziona per la Cina, non funziona neppure

per il miliardo di abitanti dell'India o per i due miliardi di abitanti dei paesi in via di sviluppo.

Per trasformare un'economia che distrugge l'ambiente in una che possa sostenere il progresso, ribadisce Lester Brown, si deve, per esempio, fare in modo che il costo della distruzione climatica, delle piogge acide e dell'inquinamento atmosferico si rifletta in una tassa sull'elettricità prodotta dalle centrali a carbone, che aggiunta al prezzo corrente, mostri il vero costo dell'uso del carbone.

Una tale procedura seguita alla lettera, darebbe a chi è responsabile delle politiche economiche, le informazioni necessarie a prendere decisioni più intelligenti ed ecologicamente consapevoli.

Possiamo costruire una *eco-economia* con le tecnologie esistenti, ed è economicamente fattibile, se riusciamo a far sì che il mercato ci dica il costo complessivo dei prodotti e dei servizi che acquistiamo.

In estrema sintesi, con questo volume Lester Brown si impegna a tracciare la struttura generale di una possibile *eco-economia* e a definirne alcuni dettagli, illustrando anche una strategia per arrivare a cambiare concretamente le cose nel tempo (poco) a disposizione.

"Costruire una *eco-economia* è sia entusiasmante che appagante. Significa che si può vivere in un mondo in cui l'energia è generata dal vento invece che dal carbone, dove l'industria del riciclo rimpiazza quella estrattiva, e dove le città sono a misura d'uomo e non di auto. E forse, soprattutto, avremmo la soddisfazione di creare per le generazioni future un'economia in grado di sostenerle, non di metterle a rischio".

**ECO-ECONOMY**  
 Una nuova economia per la  
 Terra

Lester R. Brown  
 Editori Riuniti,  
 novembre 2002,  
 pagine 380, euro 20,00

"Se vogliamo che il progresso economico continui nei prossimi decenni, non abbiamo altra alternativa che ristrutturare l'economia". È questa la tesi prioritaria che l'autore vuole far comprendere con questo suo primo libro come Presidente dell'Earth Policy Institute, un organismo di ricerca interdisciplinare che ha fondato dopo aver lasciato l'altra sua creatura, il Worldwatch Institute.