

# Risorse energetiche ed equilibrio ambientale

## ■ La chimica dell'avvenire

Uno dei problemi più gravi che l'Umanità deve iniziare ad affrontare è quello dell'energia, motore di tutte le attività umane. Si tratta di un problema che ha dimensioni planetarie, dovuto al crescente fabbisogno di energia da parte di interi popoli e contemporaneamente all'inevitabile esaurirsi delle principali fonti di energia finora utilizzate, i combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturale).

Come ben sappiamo, l'impetuoso sviluppo dell'industria manifatturiera, iniziato in Europa con la rivoluzione industriale, è stato reso possibile per tutto il XIX secolo grazie alla disponibilità di grandi quantità di carbone, e nel XX secolo grazie soprattutto al petrolio. Dato però che i combustibili fossili sono destinati prima o poi a finire, diventa urgente ricercare e mettere a punto modi alternativi di ottenere energia da altre fonti.

Di questo problema gli scienziati sono sempre stati consapevoli. In particolare ricordiamo la figura di un grande chimico, Giacomo Ciamician. Nato a Trieste (città allora appartenente all'impero austro-ungarico) nel 1857, membro della comunità armena di questa città, professore di chimica dal 1889 presso l'Università di Bologna, fu tra i primi a teorizzare la possibilità dello sfruttamento industriale dell'energia solare e viene perciò considerato il fondatore della moderna fotochimica.

Questa materia è trattata in una celebre conferenza «La fotochimica dell'avvenire», tenuta l'11 settembre 1912 a New York ai delegati dell'VIII Congresso Internazionale di Chimica Applicata. Ciamician si spinse a formulare ipotesi ardite, enunciando profezie che sembrarono sogni, ma parlò con l'autorevolezza che gli derivava da anni di brillanti ricerche di laboratorio completate, nel primo decennio del secolo, da una nutrita serie di esperimenti pionieristici e sistematici inerenti l'azione della luce solare sulle sostanze organiche.

Ecco le sue parole:

«La civiltà moderna è figlia del carbon fossile: questo offre all'umanità civile l'energia solare nella forma più concentrata: accumulata nel tempo d'una lunga serie di secoli, l'uomo moderno se n'è servito e se ne serve con crescente avidità e spensierata prodigalità per la conquista del mondo.

Il carbon fossile è per ora la sorgente precipua di forza e di ricchezza. La terra ne possiede ancora enormi giacimenti: ma essi non sono inesauribili. Il problema dell'avvenire comincia a interessare [...]: secondo recenti calcoli l'Europa possiederebbe un patrimonio di circa 700 miliardi di tonnellate di carbon fossile e l'America altrettanto; a questi giacimenti sono da aggiungersi quelli ancora in parte sconosciuti dell'Asia. Il deposito è enorme, ma col consumo crescente lo sfruttamento si fa sempre più costoso per le crescenti profondità a cui bisogna arrivare. [...]

L'energia solare *fossile* è la sola che possa giovare alla vita e alla civiltà moderna? *That is the question.* [...]

Lo sviluppo più promettente è fornito dall'energia solare: vediamo se l'energia attuale possa in genere supplire a quella racchiusa nei combustibili fossili. Ammettendo la costante solare di circa 3 piccole calorie al minuto per centimetro quadrato, ossia 30 grandi calorie per metro quadrato al minuto e 1800 all'ora, si può comparare questa quantità di calore con quella data dalla combustione com-



G. Ciamician

## Approfondimento

pleta di un chilogrammo di carbone, che è di 8000 grandi calorie. Calcolando pei tropici la giornata di sole sei ore, si avrebbe al giorno una quantità di calore corrispondente a quella data da 1,35 chilogrammi di carbone, ossia in cifra tonda di un chilogrammo. Per un chilometro quadrato questa quantità di calore viene ad equivalere a quella prodotta dalla combustione completa di 1000 tonnellate di carbone. Sopra un territorio che abbia la superficie di soli diecimila chilometri quadrati, la quantità di energia solare che arriva in un anno, calcolando la giornata di sei ore, corrisponde quindi al calore fornito da 3650 milioni di tonnellate di carbone, dunque in cifra tonda 3 miliardi di tonnellate. La quantità di carbone fossile prodotta annualmente (1909) dalle miniere d'Europa e d'America si calcola a 925 milioni di tonnellate ed aggiungendo a questa cifra 175 milioni di tonnellate di lignite si arriva a 1100 milioni ossia a poco più di un miliardo. Però anche tenendo conto dell'assorbimento nell'atmosfera e di altre circostanze, si vede che la quantità di energia solare che arriva annualmente in un piccolo territorio tropicale – che abbia una superficie ad esempio grande come quella del Lazio, equivale alla produzione annuale mondiale di carbon fossile. Il deserto di Sahara coi suoi sei milioni di chilometri quadrati, ne riceve giornalmente per sei miliardi di tonnellate!»

Più di un secolo ci separa da queste parole davvero profetiche. Oggi dobbiamo anche aggiungere che questi cento anni hanno visto emergere un altro protagonista sulla scena dell'energia: il petrolio, che ha garantito per decenni uno sviluppo industriale senza precedenti. Ora però anche l'era del petrolio sta per finire, proprio per gli stessi motivi che indicava Ciamician. In più dobbiamo aggiungere il grave problema dell'inquinamento, legato all'uso dei combustibili fossili, problema di cui oggi siamo più consapevoli e informati. Anche l'effetto serra e il conseguente aumento della temperatura dell'atmosfera dipende principalmente dall'enorme quantità di gas che si producono nelle combustioni.

L'Umanità è oggi costretta, pena la stessa sopravvivenza del nostro Pianeta, a ricercare nuove e alternative modalità per ottenere energia. La strada indicata da Ciamician è quella di imbrigliare in diversi modi la principale fonte di energia che da sempre giunge in abbondanza sulla Terra, l'energia del Sole.

### ■ Le fonti di energia tradizionale

La fonte più importante dalla quale oggi attingiamo per soddisfare i bisogni di energia è rappresentata dai *combustibili fossili*, veri e propri magazzini di energia chimica: il petrolio, il carbone e il gas naturale. Parliamo di combustibili perché questi materiali sono in grado di liberare grandi quantità di energia attraverso reazioni di combustione. I giacimenti di combustibili fossili, nonostante le ricerche continuino in ogni parte del mondo, sono destinati prima o poi a esaurirsi; per esempio, è stato stimato che le riserve di petrolio si esauriranno nel giro di alcuni decenni. Per questo motivo i combustibili fossili sono un esempio di **fonti di energia non rinnovabili** o **esauribili** (figura ►1).

La natura ha impiegato milioni di anni per accumulare l'energia chimica nei combustibili fossili. Infatti questi materiali si sono formati in seguito alla lenta decomposizione di sostanze contenute negli organismi viventi, soprattutto vegetali, vissuti alcune centinaia di milioni di anni fa. La decomposizione di questi organismi, avvenuta in assenza di ossigeno, ha consentito di creare sostanze particolarmente ricche di energia chimica: l'energia che ricaviamo oggi dai combustibili fossili non è altro che l'energia di origine fotosintetica immagazzinata nelle piante milioni e milioni di anni fa. Per esempio, l'era geologica nella quale si è formata la maggior parte dei depositi di carbone è stata denominata appunto *carbonifero*



▲ **Figura 1**  
 Anche sfruttando il petrolio contenuto in alcune rocce (scisti bituminosi) e quello che si trova sotto i fondali marini e ai poli, o il gas più nascosto e il carbone che si trova alle profondità maggiori, le *fonti esauribili* prima o poi sono destinate a finire!

## Approfondimento

(360-290 milioni di anni fa). Possiamo quindi dire che la nostra vita «biologica» dipende dal Sole di oggi, ma gran parte dell'energia che usiamo per far fronte ai nostri bisogni quotidiani proviene dal Sole di ieri!

### Trasformazioni di energia e impatto ambientale

Come sappiamo, per utilizzare il contenuto di energia chimica dei combustibili fossili è necessario convertire questa energia in altre forme. Il modo più rapido è quello di bruciare i combustibili e ottenere così energia termica (figura ►2). Purtroppo le reazioni di combustione di questi materiali hanno sempre creato anche molti problemi a causa del loro non trascurabile *impatto ambientale*. Questa espressione significa che i prodotti della reazione di combustione sono sostanze che hanno effetti negativi sull'equilibrio ambientale. E ancora oggi, nonostante i progressi della scienza e della tecnologia, questi problemi permangono, anzi, alcuni di essi si sono aggravati.

Consideriamo per esempio il gasolio, un combustibile ottenuto dalla lavorazione del petrolio; il gasolio è una miscela di idrocarburi utilizzata come carburante per molte automobili e autocarri e per alimentare impianti di riscaldamento e centrali termoelettriche. La combustione di uno dei tanti idrocarburi presenti nel gasolio può essere rappresentata con la seguente equazione:



Come si vede, per ogni molecola di idrocarburo che brucia si formano ben 15 molecole di anidride carbonica, una sostanza gassosa che, come sappiamo, contribuisce al cosiddetto *effetto serra* dell'atmosfera.

Il gasolio (e ancora di più il carbone) contiene anche piccole quantità di zolfo, perciò nei prodotti della combustione è presente anche l'anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ ). L'anidride solforosa può ossidarsi ad anidride solforica ed entrambi questi composti, a contatto con l'acqua presente nell'atmosfera, formano sostanze acide.



▲ **Figura 2**  
 Utilizzare il petrolio e i suoi derivati (benzina, gasolio, kerosene) solamente come combustibili è uno spreco imperdonabile; il petrolio è una materia prima preziosa per moltissime produzioni di manufatti sintetici come per esempio le materie plastiche.

### Per saperne di più

#### I rischi delle centrali nucleari

Una riflessione particolare merita l'impatto ambientale causato dalle centrali elettronucleari. A differenza delle centrali termoelettriche nelle quali vengono bruciati combustibili fossili, le centrali nucleari di fissione non emettono fumi ma il combustibile nucleare residuo, le famigerate *scorie radioattive*, è ricco di isotopi radioattivi altamente tossici: si tratta di atomi instabili, che possono «rimanere in vita» emettendo radiazioni pericolose, per moltissimo tempo, fino ad alcune migliaia di anni. Pertanto è necessario prevedere zone di stoccaggio per lo smaltimento di questi isotopi ma purtroppo non si è ancora

riusciti a garantire che ciò possa avvenire in condizioni di piena sicurezza. Un ulteriore motivo di preoccupazione è legato al fatto che i materiali utilizzati nelle centrali nucleari di fissione possono essere usati per fabbricare ordigni nucleari a scopo bellico.



Inoltre rilevanti problemi di sicurezza sono legati al funzionamento delle centrali nucleari; nonostante le notevoli precauzioni e la sofisticata tecnologia impiegata, i reattori nucleari non possono ancora dimostrarsi intrinsecamente sicuri tanto che nell'anno 2011 un referendum popolare ha ribadito la volontà degli italiani di non costruire più centrali elettronucleari.

A seguito di eventi naturali, nella primavera del 2011 a Fukushima (Giappone) si è verificata la fuoriuscita di materiale radioattivo.

## Approfondimento

Inoltre durante la combustione, a causa dell'elevata temperatura, avvengono la reazione di sintesi tra l'azoto e l'ossigeno presenti nell'aria e una successiva reazione di ossidazione:



I prodotti di queste ossidazioni, l'ossido e il diossido di azoto, sono talvolta indicati genericamente con la formula  $\text{NO}_x$ . Queste sostanze, oltre a essere tossiche e a provocare disturbi all'apparato respiratorio anche in basse concentrazioni, formano sostanze acide con l'acqua presente nell'atmosfera.

Gli ossidi di azoto e gli ossidi di zolfo sono dunque responsabili delle cosiddette *piogge acide*, i cui effetti corrosivi risultano particolarmente evidenti sulla vegetazione, sui manufatti di ferro e sui monumenti ed edifici di pietra calcarea.

Occorre ricordare che oggi carbone e derivati del petrolio vengono «desolforati», e ciò consente di ridurre sensibilmente le emissioni di  $\text{SO}_2$ . Maggiori difficoltà si riscontrano nell'eliminazione degli ossidi di azoto, che si producono sempre durante la combustione.

Preoccupano, inoltre, altri fattori inquinanti associati alla combustione dei materiali fossili. La combustione, infatti, ben difficilmente avviene in modo completo, cioè non si arriva mai a trasformare tutto il combustibile in acqua e diossido di carbonio. In particolare nei motori a scoppio la reazione di combustione avviene in modo esplosivo ed è quindi troppo rapida per poter arrivare a completarsi: tra i prodotti della reazione sono presenti quindi anche *ossido di carbonio* (sostanza tossica), gli idrocarburi che non hanno reagito completamente (i cosiddetti *incombusti*) e il *particolato*. Si tratta di materiali inquinanti che, diversamente da  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , possono provocare danni immediati per la salute, in particolare quella degli anziani e dei bambini.

L'ossido di carbonio è una sostanza tossica perché si può legare saldamente agli atomi di ferro dell'emoglobina riducendo la capacità del sangue di trasportare ossigeno.

Gli idrocarburi incombusti, combinandosi con gli ossidi di azoto, possono dare luogo allo *smog fotochimico*, un particolare inquinamento dell'aria che si produce nelle giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche di stabilità e di forte insolazione. I principali effetti sono una forte irritazione agli occhi e difficoltà nella respirazione.

Il particolato è costituito da minuscole particelle solide e liquide sospese nell'aria. Si tratta soprattutto di particelle carboniose impregnate di idrocarburi e di sottoprodotti della combustione (tra i quali il benzopirene), di acqua, di rugGINE, di solfati e molte altre sostanze ancora (figura ►3). Queste particelle sono classificate in base alla loro dimensione, che determina la loro pericolosità: più sono piccole più sono penetranti e quindi dannose. Esse vengono indicate con la sigla **PM** (*Particulate Matter*), seguita dal diametro massimo espresso in micrometri ( $\mu\text{m}$ ) (tabella ►1).



▲ **Figura 3**

Il *particolato* è il principale componente degli sbruffi di fumo che si vedono uscire spesso dal tubo di scappamento dei veicoli. Questo accade soprattutto nella combustione del gasolio nei motori diesel.

▼ **Tabella 1** Dimensione delle particelle e loro pericolosità. In genere, più sono alte le temperature di combustione e più aumenta la frazione di particolato fine e ultrafine. Per questo motivo le maggiori emissioni di polveri fini e ultrafini provengono dagli scarichi dei veicoli, dalla combustione di carbone o legna, dai processi industriali e dalle combustioni di biomasse negli inceneritori.

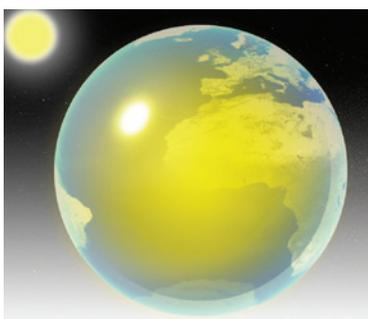
Particolato grossolano	PM10	PM2,5 particolato fine	PM1 particolato ultrafine	Nanopolveri
È costituito da particelle sedimentabili di diametro superiore a $10 \mu\text{m}$ ; non è in grado di penetrare nell'apparato respiratorio.	È costituito da particelle di diametro uguale o inferiore a $10 \mu\text{m}$ ; è una <i>polvere inalabile</i> , cioè in grado di penetrare nel naso e nella laringe.	È costituito da particelle di diametro uguale o inferiore a $2,5 \mu\text{m}$ ; è una <i>polvere toracica</i> , cioè in grado di penetrare nei polmoni.	È costituito da particelle di diametro uguale o inferiore a $1 \mu\text{m}$ ; è una <i>polvere respirabile</i> , cioè in grado di penetrare fino agli alveoli dei polmoni.	Sono costituite da particelle di diametro compreso fra 2 e 200 nm.

## Approfondimento

Oltre agli effetti negativi sull'ambiente, occorre sempre tener presente che i combustibili fossili sono esauribili e non si possono ripristinare in tempi rapidi. Di conseguenza, per soddisfare il crescente fabbisogno mondiale di energia, le nazioni devono prendere con urgenza provvedimenti che vanno nel senso della ricerca di una maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse, di una politica di risparmio energetico, dello sviluppo di una pluralità di fonti alternative. Occorre cioè immaginare e costruire un nuovo modello di sviluppo.

### ■ Ricerca scientifica e risparmio energetico

Il fatto che le riserve dei combustibili fossili stiano esaurendo e che il petrolio in particolare si trovi in aree circoscritte e politicamente instabili ha portato a incrementare negli ultimi decenni la ricerca, lo sviluppo e il recupero di fonti alternative. La caratteristica che accomuna alcune di queste fonti alternative è che esse sono potenzialmente inesauribili e quindi sono chiamate **fonti di energia rinnovabili** (figura ►4).



◀ **Figura 4**

Le fonti di energia rinnovabili non pregiudicano le risorse naturali per le generazioni future; per loro caratteristica intrinseca esse si rigenerano e non sono «esauribili» nella scala dei tempi «umani».

▼ **Figura 5**

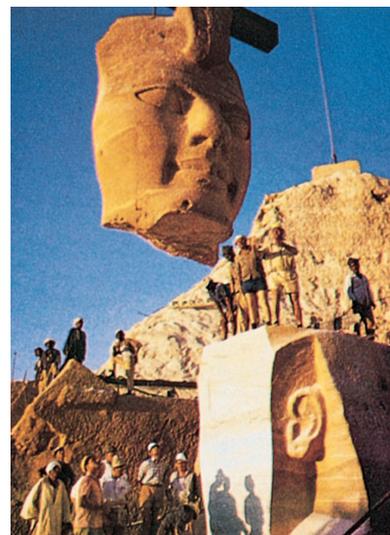
Le grandi centrali idroelettriche assicurano ingenti produzioni di energia elettrica ma possono determinare notevoli problemi da un punto di vista dell'equilibrio ambientale. La diga di Assuan (a sinistra), costruita in Egitto lungo il corso del fiume Nilo, forma un grandissimo bacino artificiale utilizzato per alimentare centrali idroelettriche che contribuiscono in modo significativo a coprire il fabbisogno energetico del paese. La formazione del lago ha però obbligato 90 000 persone ad abbandonare le zone successivamente sommerse e l'UNESCO ad intervenire per il salvataggio di numerosi siti archeologici, tra cui il tempio di Abu Simbel, «smontato» e «rimontato» in posizione sopraelevata (a destra).

Il decreto del Consiglio dei ministri del 3 marzo 2011, in attuazione della Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, definisce «*energia da fonti rinnovabili*» l'energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas.

Inoltre, un'importante caratteristica delle fonti rinnovabili è che esse presentano un ridotto impatto ambientale per quanto riguarda il rilascio di inquinanti nell'ambiente. Le fonti energetiche rinnovabili sono quindi fonti di energia che possono permettere all'umanità uno sviluppo sostenibile, che non danneggi in modo irreparabile la natura e l'ecosistema.

Come sappiamo, l'**energia idroelettrica** viene generata dal movimento dell'acqua che scende a valle da un bacino posto in alto (figura ►5). Sempre per produrre energia idroelettrica possono essere utilizzati anche i movimenti delle acque del mare, come i movimenti delle onde, delle maree e delle correnti oceaniche.

Per **energia solare** si intende l'energia irraggiata dal Sole verso la Terra. La quantità di energia radiante che arriva sul suolo terrestre è enorme, tanto che da sola equivale a circa 15 000 volte il consumo energetico mondiale.



## Approfondimento


**◀ Figura 6**

La centrale solare termodinamica utilizza specchi che provvedono a convogliare l'energia radiante su un condotto che contiene un fluido che si riscalda fino a 500 °C. Questo fluido viene utilizzato per produrre il vapore necessario per far funzionare la turbina, che farà muovere l'alternatore per la produzione di energia elettrica.

Purtroppo, gran parte di essa attualmente non viene sfruttata, anche perché è molto difficile convertirla in modo continuativo ed efficiente in altre forme di energia, soprattutto in quella elettrica. Oltre che dai vegetali, l'energia solare viene sfruttata dall'uomo attraverso i *pannelli solari* (dispositivi in grado di trasformare l'energia radiante direttamente in energia termica che scalda l'acqua a temperature sufficientemente alte per l'uso civile) e attraverso i *pannelli fotovoltaici* (dispositivi in grado di convertire l'energia solare direttamente in energia elettrica mediante l'effetto fotoelettrico).

In genere con i pannelli fotovoltaici si ottengono piccole quantità di energia elettrica, di bassa potenza, utili soprattutto per fornire elettricità nelle zone isolate.

Per costruire una vera e propria centrale elettrica basata sulle radiazioni solari è necessario raccogliere energia da aree molto vaste (figura ▶6).

L'**energia eolica** è l'energia posseduta dal vento e si può sfruttare attraverso *impianti a pale*. Il mulino eolico o *aerogeneratore* converte direttamente, tramite l'alternatore, l'energia cinetica del vento in energia elettrica. Molti mulini collocati a distanza ravvicinata possono determinare un certo impatto ambientale: in questo caso i danni possono riguardare la rumorosità del movimento delle pale oppure possono essere di natura estetica per l'alterazione del paesaggio (figura ▶7).

L'**energia geotermica** è l'energia generata da fonti geologiche di calore dovute al fatto che in particolari zone la temperatura del sottosuolo è più alta della media. Il vapore naturale proveniente dal sottosuolo può essere utilizzato nelle centrali geotermiche, tramite la turbina e l'alternatore, per la produzione di energia elettrica oppure direttamente per il riscaldamento civile o industriale.

Un interessante campo di fonti rinnovabili è costituito dai combustibili alternativi a quelli di origine fossile.

I **biocombustibili** sfruttano l'energia chimica di composti ottenibili da materiali vegetali, che sono rinnovabili in tempi rapidi. Essendo di origine vegetale, i biocombustibili quando bruciano immettono nell'atmosfera una quantità di anidride carbonica uguale a quella assimilata dalle piante durante la fotosintesi clorofilliana, quindi non contribuiscono ad aumentare l'effetto serra. Sono privi di zolfo e inoltre, contenendo ossigeno nelle loro molecole, garantiscono una ossidazione completa degli atomi di carbonio e quindi consentono una significativa riduzione delle emissioni di CO e di incombusti. Inoltre sono totalmente biodegradabili.


**▲ Figura 7**

Per catturare meglio l'energia eolica, gli aerogeneratori, moderni mulini a vento, hanno un'altezza che varia tra i 20 e i 60 m. Inoltre, le pale sono progettate in modo da poter essere orientate per intercettare al massimo la spinta del vento.

## Approfondimento

Il *biodiesel* è un carburante simile al gasolio ed è ottenuto, attraverso un processo chimico, da fonti rinnovabili quali oli vegetali vergini (per esempio, oli di colza e di soia), oli vegetali di scarto e grassi animali.

Il *bioetanolo* è un combustibile che viene ottenuto mediante un processo di fermentazione di materiali rinnovabili come i prodotti agricoli ricchi di glucidi (cereali, colture zuccherine, amidacei, vinacce), i residui di coltivazioni agricole e forestali, i residui di lavorazioni delle industrie agrarie e agroalimentari, i rifiuti urbani.

Occorre però ricordare gli inevitabili inconvenienti legati ai costi energetici della produzione dei biocombustibili: soprattutto occorre considerare che queste produzioni richiedono l'utilizzo di aree vastissime, aree sottratte alla coltivazione di prodotti agricoli destinati all'alimentazione umana. Inoltre permangono i problemi che derivano dalla loro combustione: emissione di polveri sottili e produzione di ossidi di azoto.

Tra i combustibili alternativi può essere inserito anche l'**idrogeno**, una sostanza che bruciando non produce inquinanti e quindi potrebbe sostituire gli attuali combustibili di origine fossile utilizzati nei motori dei veicoli.

Si stanno già realizzando prototipi di auto elettriche che utilizzano l'energia elettrica prodotta da una pila a combustibile in cui viene fatto affluire proprio l'idrogeno (figura ►8).

Si deve ricordare però che l'idrogeno non si trova in natura, per cui è necessario ricavarlo da altre sostanze (per esempio, acqua o metano) con notevole dispendio di energia.

L'**energia nucleare** prodotta attraverso le *reazioni di fusione* è la sfida del terzo millennio. È una via pulita per ottenere energia, senza rischio di esplosioni devastanti o di irraggiamento da scorie radioattive. È ancora in fase sperimentale e persegue l'obiettivo di riprodurre il medesimo processo che avviene sulle stelle e sul Sole.

Nelle reazioni di fusione i nuclei di atomi con basso numero atomico, come l'idrogeno, si uniscono per dare origine ad atomi con nuclei più pesanti; la massa di questi ultimi è minore della somma delle masse di quelli originari e a questa differenza di massa corrisponde una grande quantità di energia che viene emessa sotto forma di raggi  $\gamma$  ad alta frequenza e perciò pericolosi.

Per fare avvenire la fusione occorre però superare la forza repulsiva tra i nuclei, che hanno carica positiva; occorre pertanto operare a temperature elevatissime (dell'ordine di milioni di gradi Celsius) affinché alcuni nuclei acquistino energia cinetica sufficiente per innescare la reazione di fusione. A causa di queste difficoltà, a tutt'oggi non si è ancora riusciti a far avvenire la fusione in modo

cella a combustione



### ◀ Figura 8

I veicoli a idrogeno sono mezzi a trazione elettrica che utilizzano come motore le *celle a combustibile* (fuel cell). Una cella a combustibile è un apparecchio capace di trasformare direttamente l'energia chimica dell'idrogeno in energia elettrica, senza che avvenga alcuna combustione. L'altro reagente è l'ossigeno dell'aria e quindi l'unico prodotto è l'acqua, oltre a una piccola dispersione di calore.

## Approfondimento

controllato e affidabile (quello incontrollato esiste già: la bomba atomica termoneucleare).

In attesa che le nuove tecnologie di sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile si sviluppino, è indispensabile limitare i consumi di energia sia modificando in parte le nostre abitudini di vita sia costruendo macchine (per esempio elettrodomestici e automobili) e anche abitazioni che comportino un minor consumo di energia.

Possiamo ben dire che il risparmio energetico è una considerevole fonte di energia rinnovabile «virtuale», ed è anche la più immediata e accessibile a tutti.

Il risparmio può essere ottenuto sia modificando i processi di produzione dei beni di consumo, in modo che ci siano meno sprechi, sia utilizzando tecnologie in grado di convertire l'energia da una forma all'altra in modo più efficiente.

Già da adesso, grazie a nuove modalità costruttive, vengono introdotte classificazioni di prodotti basate sul criterio dell'efficienza energetica: per esempio negli elettrodomestici, nelle lampadine e persino negli edifici.

Il consumo energetico di una abitazione può essere valutato e in questo senso è previsto che le nuove abitazioni abbiano l'attestato di certificazione energetica, cioè il documento che descrive nel dettaglio i consumi dell'immobile. Il risparmio può essere ottenuto usando specifici materiali e particolari criteri costruttivi: per esempio, la giusta esposizione solare, l'isolamento termico e la ventilazione consentono un risparmio energetico del 20-25%.

Per continuare a realizzare il contrasto al cambiamento climatico per il periodo successivo al termine degli impegni presi con il Protocollo di Kyoto, l'Unione Europea con la Direttiva 2009/29/CE "20 20 20" si prefigge di raggiungere entro il 2020 i seguenti obiettivi:

- ridurre i gas ad effetto serra di almeno il 20% rispetto ai livelli del 1990;
- incrementare l'uso delle energie rinnovabili giungendo a una quota del 20% di energia rinnovabile sul totale dei consumi di energia per usi elettrici, termici e per il trasporto (attualmente nel 2013 le fonti rinnovabili forniscono circa l'8-9% dell'energia totale);
- diminuire il consumo di energia da fonti primarie del 20% rispetto ai livelli previsti per il 2020 grazie a una migliore efficienza energetica.