

# IL DUPLICE RUOLO DELL'ENERGIA: MOTORE DELLO SVILUPPO E MINACCIA PER L'AMBIENTE

Luigi Bruzzi\*, Giordano Dominici\*

\*Dipartimento di Fisica, Università di Bologna  
Viale Berti Pichat 6/2, 40127 Bologna

## SOMMARIO

Le risorse di petrolio e di gas naturale, in quanto fonti non rinnovabili, sono destinate all'esaurimento. E' quindi estremamente importante affrontare il problema energetico attraverso un accurato disegno pianificatorio che tenga conto delle esigenze sociali primarie. Una componente importante e in costante aumento dei consumi energetici è quella elettrica, che, soprattutto nel nostro Paese, in buona misura si basa e si baserà per molti anni sull'utilizzo dei combustibili fossili, nonostante le possibilità non ancora sfruttate nei settori dell'energia nucleare, dell'energia idraulica, delle biomasse, dell'energia solare ed eolica. Occorre quindi sviluppare ricerche che ci consentano in tempi ragionevoli di poter disporre di nuove fonti energetiche, ma parallelamente rendere la convivenza con le fonti fossili la più sostenibile possibile, tenendo conto che la combustione degli idrocarburi genera danni importanti all'ambiente. Per conseguire tali obiettivi si devono soddisfare due requisiti irrinunciabili: un elevato livello di conoscenze diffuse sui problemi dell'energia e dell'ambiente e il ricorso a processi innovativi che consentano di sfruttare in modo più razionale e più ambientalmente compatibile il contenuto energetico delle fonti fossili: si tratta pertanto di elevare il più possibile i rendimenti dei processi di conversione dell'energia e di ridurre al minimo gli impatti ambientali.

## 1. INTRODUZIONE

I recenti conflitti bellici, che tanto hanno scosso l'opinione pubblica del mondo intero, richiamano l'attenzione sull'importanza delle fonti energetiche ed in particolare del petrolio che si trova in gran parte concentrato in una delle aree politicamente più instabili del nostro pianeta. Furono comunque le crisi petrolifere degli anni settanta a mettere per la prima volta in tutta evidenza l'importanza dell'energia non solo per lo sviluppo economico e industriale, ma anche per la stabilità sociale. La società si rese conto dell'importanza della disponibilità energetica quale forza trainante per lo sviluppo e per il livello di vita dei singoli cittadini. Il balzo del prezzo del petrolio a più di 40 \$ al barile creò un terribile shock in tutta la popolazione; la gente fu costretta a rinunciare nei fine settimana all'uso della automobile e a spegnere gli impianti di riscaldamento per risparmiare i prodotti petroliferi. I dati statistici divulgati in quel periodo facevano ipotizzare la fine delle risorse petrolifere in tempi dell'ordine di pochi decenni e si adombrava lo spettro di un futuro privo di energia. Molti erano convinti che le risorse energetiche erano prossime all'esaurimento e che i prezzi dell'energia sarebbero diventati sempre più cari e le fonti energetiche sempre meno disponibili. Ciò che accadde negli anni successivi sfatò in larga misura queste previsioni ed i prezzi del petrolio calarono di nuovo al di sotto dei 15 \$ al barile. L'altalena dei prezzi continua a produrre oscillazioni preoccupanti con punte che hanno superato recentemente i 50 \$/barile.

Una domanda rimane comunque aperta: quanto durerà ancora il petrolio ad un prezzo accessibile? Le risorse energetiche sono veramente finite? Le risorse di energia alle quali facciamo maggiormente ricorso sono i combustibili fossili, formati e accumulati per l'azione dell'energia solare nel corso di molti millenni. Non vi è alcun dubbio che queste risorse, consumate al ritmo al quale noi ne facciamo uso,

sono destinate ad esaurirsi. Ciò nonostante si è verificata negli ultimi decenni una crescita, che appare paradossale, delle risorse di petrolio. La spiegazione sta nel fatto che le tecnologie di prospezione e di estrazione del greggio hanno consentito di scoprire e rendere disponibile ogni anno più petrolio di quanto ne consumiamo. La scoperta di nuovi giacimenti, l'applicazione di nuove tecnologie che permettono uno sfruttamento più efficiente dei pozzi petroliferi e la crescente coltivazione di pozzi offshore hanno permesso, se non di aumentare, almeno di conservare le risorse disponibili. I dati attualmente accertati permettono pertanto di fare affidamento sul petrolio ancora per alcuni decenni. [1]

Di fronte a questo scenario è estremamente importante affrontare il problema energetico attraverso un accurato disegno pianificatorio che tenga conto da un lato delle esigenze sociali e dall'altro dei vincoli posti dagli aspetti di sostenibilità.

Le esigenze sociali sono rappresentate dalla necessità di rispondere a bisogni che ormai debbono essere considerati primari quali quelli industriali ed artigianali, il riscaldamento domestico, i mezzi di trasporto, eccetera. Una componente importante dei consumi energetici è quella elettrica, che negli ultimi anni è andata aumentando in relazione ad un progressivo crescente sviluppo di settori quali:

- l'industria, per le produzioni ad alto contenuto di energia elettrica (telefoni mobili, computer, televisori, eccetera);
- i servizi, per l'uso estensivo di computer e di altre tecnologie elettroniche a basso consumo di energia elettrica ma ad altissima diffusione;
- gli usi domestici, per l'estesa dotazione di apparecchiature di illuminazione e di elettrodomestici (frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, forni, asciugacapelli, eccetera);

- gli usi pubblici, per la trazione ferroviaria e il ritorno alla trazione elettrica dei mezzi pubblici cittadini (tram, filobus e metropolitane), nonché per l'illuminazione pubblica.

Sul versante dei vincoli di sostenibilità è necessario tener conto delle seguenti considerazioni:

- la produzione di energia proviene in larghissima misura dai combustibili fossili che pongono seri problemi di esauribilità e di compatibilità ambientale;
- la minaccia dei cambiamenti climatici richiede un attento controllo delle emissioni di gas serra;
- l'inquinamento atmosferico ed acustico delle città è talmente elevato da richiedere interventi radicali che riportino la qualità ambientale a livelli accettabili;
- i cicli dei combustibili fossili, ed in particolare quelli del petrolio e del carbone, sono ancora estremamente pericolosi, specialmente nelle fasi di estrazione e trasporto transoceanico: l'incidente alla nave Prestige ne è una recente testimonianza.

Le risposte ai requisiti di utilità sociale e di sostenibilità sono tutt'altro che facili e cozzano inevitabilmente contro un dato di fatto inconfutabile: la quasi totale dipendenza della produzione di energia dai combustibili fossili. Non esistono e non esisteranno per molti anni a venire sostanziali alternative a tali fonti energetiche: la mancanza di alternative è in parte intrinseca al contesto energetico nel quale l'attuale società opera nei vari settori dell'industria, degli usi civili, dei trasporti. Esistono sacche di ricupero energetico non ancora sfruttate nei settori dell'energia nucleare, dell'energia idraulica, delle biomasse, dell'energia solare ed eolica, ma lo zoccolo consistente delle risorse energetiche rimane quello dei combustibili fossili, con i quali dovremo convivere ancora a lungo.

La constatazione di essere condizionati dai combustibili fossili è elemento di stimolo a sviluppare ricerche che ci consentano in tempi ragionevoli di poter disporre di nuove fonti energetiche, ma parallelamente siamo chiamati a rendere la convivenza con tali fonti la più sostenibile possibile.

La risorsa più efficace per conseguire gli obiettivi di sostenibilità è rappresentata dalla innovazione che, attraverso lo sviluppo di nuove tecnologie, consente di sfruttare in modo più razionale e più ambientalmente compatibile il loro contenuto energetico: si tratta pertanto di elevare il più possibile i rendimenti dei processi di conversione dell'energia e di ridurre al minimo gli impatti ambientali. Il processo è già in larga misura iniziato, ma restano ancora numerosi obiettivi da raggiungere.

## 2. L'ENERGIA: IMPATTI AMBIENTALI E SOSTENIBILITÀ

Le enormi quantità di energia di cui facciamo uso hanno effetti particolarmente rilevanti sull'ambiente e fanno nascere negli osservatori attenti nuovi interrogativi: l'ambiente è in grado di sopportare i rilevanti impatti che l'elevata produzione di inquinanti comporta? Esistono limiti non dipendenti dalla esauribilità delle risorse ad un uso così massiccio dell'energia? Le recenti preoccupazioni sui cambiamenti climatici e sull'inquinamento atmosferico sembrano porre limiti connessi soprattutto alla produzione delle enormi quantità di anidride carbonica che vengono immesse in atmosfera.

La pressione ambientale di una sempre crescente produzione di energia proviene non solo dai Paesi sviluppati, ma anche da quelli in via di sviluppo che richiedono sempre maggiore disponibilità di energia per raggiungere un adeguato livello di sviluppo. Da alcuni anni l'UNDP (United Nation Development Program) ha introdotto l'indice di sviluppo umano (HDI = Human Development Index) [2] che esprime il livello complessivo di qualità della vita di una popolazione considerandone gli aspetti sanitari, di istruzione e di benessere economico. Recenti studi hanno messo in relazione tale indice con il consumo di energia pro capite; l'andamento che si ottiene, illustrato in Figura 1, mostra che oltre un certo livello di consumo la qualità della vita non cambia; ci si domanda quindi se il valore oltre il quale non si hanno miglioramenti non possa essere preso come obiettivo per una società che si colloca a livelli intermedi nel consumo energetico.

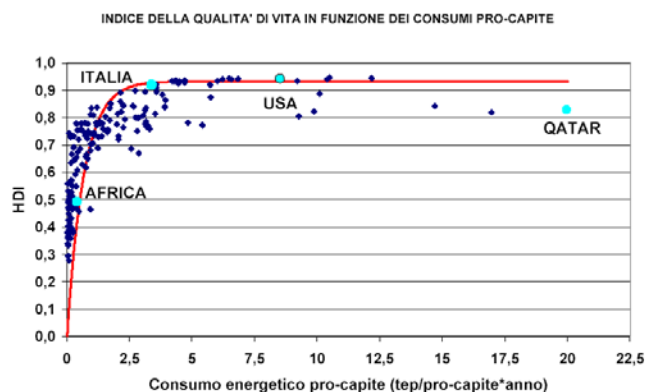


Figura 1. Indice di sviluppo umano in funzione del consumo energetico.

La mancanza di valide alternative all'uso dei combustibili fossili rende il problema particolarmente complesso, in quanto produzione e consumo di energia compatibili con l'ambiente sono difficilmente coniugabili con lo sviluppo sostenibile. La sostenibilità di ogni attività umana viene così ad essere in gran parte garantita da bassi valori della intensità energetica (definita come quantità di energia necessaria per unità di prodotto o servizio) della attività medesima (Figura 2).

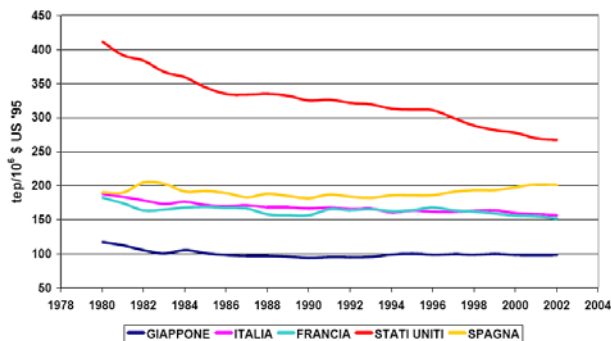


Figura 2. Intensità energetica e sua evoluzione per diversi Paesi

Gli andamenti mostrano un notevole calo dell'intensità energetica nei Paesi ad alto livello di sviluppo come gli Stati Uniti, che hanno registrato il massimo della pendenza a ridosso delle maggiori crisi energetiche degli anni '70 ed '80. I Paesi europei già assestati su valori ridotti hanno mantenuto livelli abbastanza costanti [3].

Gran parte dell'impatto ambientale globale è attribuibile alle emissioni di gas serra ed in particolare di anidride carbonica nell'atmosfera. L'andamento negli ultimi 50 anni delle emissioni di carbonio equivalente si presentano in progressiva crescita.

Una delle principali fonti di impatto ambientale nella gestione dell'energia è la combustione: gli effetti sulla sostenibilità prodotti dalla combustione dei combustibili fossili sono riferibili sia al fatto che si tratta di risorse esauribili, sia alla produzione di anidride carbonica e degli inquinanti che si generano durante la combustione. La quantità di anidride carbonica che si forma è strettamente correlata al tipo di combustibile utilizzato: il gas naturale è quello che ne produce di meno a parità di energia resa; seguono nell'ordine i derivati del petrolio ed il carbone. Un altro impatto inevitabile nella produzione di lavoro meccanico e di energia elettrica è l'inquinamento termico che provoca un innalzamento della temperatura del mezzo in cui vengono scaricate le enormi quantità di calore a bassa temperatura (aria, acqua di fiume, di lago o di mare) con possibili effetti dannosi sugli ecosistemi interessati.

Per tutti questi aspetti (impoverimento delle riserve, produzione di anidride carbonica e cessione di grandi quantità di calore all'ambiente) una limitazione dell'impatto può essere ottenuta in gran parte limitando i consumi. La riduzione dei consumi a sua volta può essere ottenuta mediante rinunce, che vanno in direzione opposta all'aumento del benessere, oppure mediante risparmi.

Il potenziale del risparmio è enorme. Per la produzione dell'energia termoelettrica, grazie all'evoluzione della tecnologia avvenuta negli ultimi decenni, è possibile adottare i cicli combinati basati su turbogas anziché i cicli a solo vapore, aumentando il rendimento di trasformazione dell'energia dal 38-40% al 55-60%. Risultati simili sono stati ottenuti in vari casi nell'industria petrolchimica e nella raffinazione, con risparmi dal 30 al 50% dei valori iniziali a parità di produzione. Poiché il fabbisogno di energia degli impianti chimici è soddisfatto prevalentemente con vapore di cogenerazione, ottenuto appunto in centrali termoelettriche integrate, l'evoluzione tecnologica consente talvolta di cumulare i due risparmi. Questi sviluppi tecnologici non sono stati ancora pienamente realizzati nella pratica e la loro applicazione è una riserva in buona parte non ancora utilizzata.

Accanto agli effetti ambientali inevitabili, la gestione dell'energia ne produce altri che si possono evitare o perlomeno controllare. Fra questi l'immissione in atmosfera di particelle sospese, degli ossidi tossici dello zolfo ( $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ ) e dell'azoto ( $\text{NO}_x$ ), tutte sostanze che provocano effetti sanitari sull'uomo e vari effetti nocivi sulle diverse componenti ambientali. Ad esse vanno aggiunti il monossido di carbonio e gli idrocarburi incombusti. Gli ossidi di zolfo, inoltre, contribuiscono al fenomeno delle piogge acide, che sono causa di gravi danni alla vegetazione. Gli ossidi d'azoto, assieme agli idrocarburi volatili, giocano inoltre un ruolo importante nella formazione dello smog fotochimico, che porta alla formazione di ozono troposferico.

Per tutelare l'ambiente nei confronti dei potenziali effetti ambientali prodotti nella gestione dell'energia, la società si è

dotata di specifiche normative; gli strumenti ai quali la collettività fa ricorso comprendono:

- gli accordi internazionali, rivolti specialmente agli effetti globali;
- le normative della Unione Europea, che tendono a creare una legislazione uniforme in tutti gli stati membri;
- le leggi dello Stato italiano, che recepiscono le Direttive europee;
- le norme delle singole Regioni, che precisano e rendono applicative quelle dello Stato.

Nel quadro dello sviluppo sostenibile l'energia gioca un ruolo importante; la società moderna sta da tempo cercando di dare risposta al problema della crescente domanda di energia, rendendo al tempo stesso possibile un adeguato sviluppo economico, particolarmente per i Paesi più poveri, e una sufficiente tutela ambientale. La domanda di energia cresce rapidamente nei Paesi in via di sviluppo, mentre rimane ad un livello abbastanza costante nei Paesi industrializzati. L'attenzione è rivolta anche verso le fonti rinnovabili: il loro potenziale appare enorme, ma il possibile sfruttamento - comunque non generalizzabile per qualunque tipo di applicazione - dipende largamente dalla fattibilità economica che sembra, allo stato attuale di sviluppo, non ancora provata; non va sottovalutato il fatto che la produzione di energia, per essere sostenibile, deve poter soddisfare contestualmente i requisiti non solo sociali ed ambientali, ma anche economici.

La gestione sostenibile dell'energia costituisce dunque una delle maggiori sfide della moderna società; i requisiti della sostenibilità possono così brevemente riassumersi:

- soddisfare la domanda di energia di un mondo in via di progressivo sviluppo;
- rendere possibile lo sviluppo economico, in particolare per i Paesi più poveri;
- tutelare adeguatamente un ambiente sempre più fragile.

Il soddisfacimento di questi obiettivi, potenzialmente in contrasto fra loro, richiede in primo luogo un forte riferimento etico (i principi dello sviluppo sostenibile) e, come conseguenza, il sostegno di una idonea legislazione e l'impiego di tecnologie specifiche.

### **3. SOSTENIBILITÀ DEL SETTORE ENERGETICO: IL RUOLO DELLE INNOVAZIONI**

La criticità ambientale del settore energetico non è un fatto nuovo: gli effetti sanitari ed ambientali connessi allo sfruttamento dei combustibili fossili sono noti fin dagli inizi della rivoluzione industriale. La nocività degli inquinanti emessi dai sistemi di combustione è evidente e conosciuta già da molti decenni, così come non sono un mistero per nessuno la pericolosità del lavoro nelle miniere di carbone, gli incidenti in mare delle petroliere, le esplosioni e gli incendi dei sistemi di stoccaggio di idrocarburi liquidi e gassosi. Negli anni più recenti gli impatti prodotti dall'uso dei combustibili fossili sono divenuti più consistenti, a causa del loro accresciuto consumo, nonostante il notevole miglioramento delle tecnologie efficaci per la sicurezza e la tutela ambientale.

Parallelamente alle preoccupazioni per l'impatto ambientale, sta emergendo in tutta evidenza il problema della esauribilità dei combustibili fossili, per i quali le previsioni attuali stimano una vita di alcuni decenni per il petrolio e il gas naturale e di alcune centinaia di anni per il carbone.

Il problema della sostenibilità dei sistemi energetici è affrontato con un duplice approccio: da un lato si sviluppano specifiche leggi e procedure e dall'altro si applicano tecnologie sempre più efficaci. In questa sede ci si limita all'analisi dei sistemi di combustione, per i quali il conseguimento degli obiettivi di sostenibilità può realizzarsi attraverso la riduzione dei consumi di combustibile e la limitazione degli impatti ambientali per unità di servizio energetico reso.

Il primo requisito risponde al principio di sostenibilità in quanto limita il consumo di una fonte esauribile. Il secondo è di portata molto più ampia e comprende i numerosi impatti ambientali relativi all'intero ciclo dei combustibili fossili. Come si vede entrambi i requisiti fanno riferimento all'unità di servizio energetico reso, che cambia a seconda dell'uso al quale l'energia è destinata; tra le unità di più frequente uso si citano: il kWh per l'energia elettrica; il km per i mezzi di trasporto; il kJ o la kcal per il calore reso agli ambienti da riscaldare. E' evidente pertanto che un primo indicatore di sostenibilità energetica potrà esprimersi attraverso i quantitativi di combustibile impiegato per unità di servizio reso (kg di combustibile consumato per kWh prodotto, per km percorso, per kcal resa all'ambiente). La sostenibilità ovviamente diminuisce al crescere di tali indicatori, i cui valori dipendono dal rendimento dei sistemi che convertono l'energia primaria in una forma di energia praticamente utilizzabile.

Il secondo requisito risponde anch'esso al principio di sostenibilità in quanto richiede una riduzione degli impatti ambientali a parità di servizio reso. L'indicatore di sostenibilità è in questo caso il rapporto fra la grandezza che esprime l'impatto ambientale e quella che esprime il servizio reso; esso rappresenta in certa misura il risultato di una valutazione rischi-benefici attraverso il rapporto tra l'entità della grandezza rischio (impatto) e l'unità di beneficio ottenuto. In questo caso l'indicatore di sostenibilità energetica può essere espresso attraverso i quantitativi di anidride carbonica e di inquinanti emessi per unità di servizio energetico reso (kWh, km, kcal). Ancora una volta la sostenibilità diminuisce al crescere di tali indicatori, i cui valori dipendono dal rendimento dei sistemi che convertono l'energia primaria in una forma di energia praticamente utilizzabile. Attraverso la Tabella 1 e la Tabella 2 è illustrata l'evoluzione degli indicatori di sostenibilità per le automobili secondo le recenti direttive europee [4].

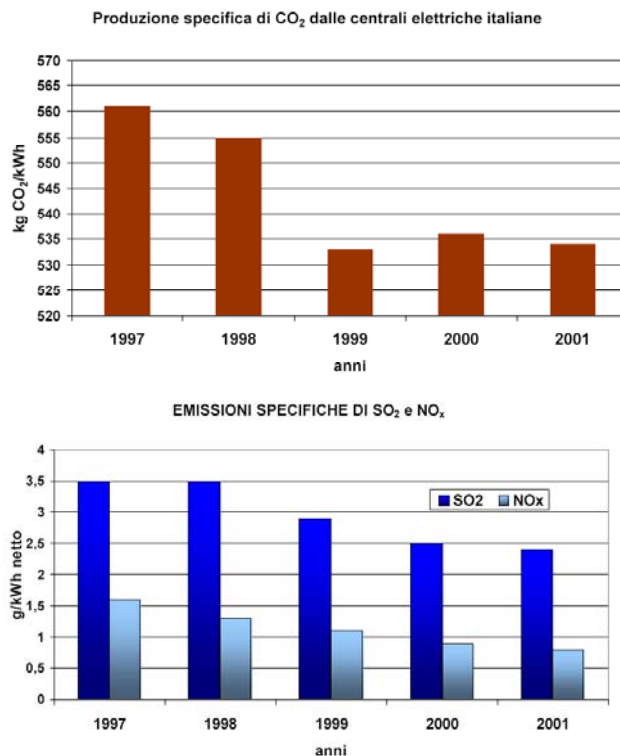
**Tabella 1. Indicatori di sostenibilità per le auto a benzina.**  
(g/km)

BENZINA	vigore da	CO	HC	NO <sub>x</sub>
EURO I	1-7-1992	4.05	0.66	0.45
EURO II	1-1-1996	3.28	0.34	0.25
EURO III	1-1-2000	2.30	0.20	0.15
EURO IV	1-1-2005	1.00	0.10	0.08

**Tabella 2. Indicatori di sostenibilità per le auto a gasolio.**  
(g/km)

DIESEL	vigore da	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
EURO I	1-7-1992	2.88	0.20	0.78	0.14
EURO II	1-1-1996	1.06	0.19	0.73	0.10
EURO III	1-1-2000	0.64	0.06	0.50	0.05
EURO IV	1-1-2005	0.50	0.05	0.25	0.025

Nei grafici rappresentati in Figura sono illustrati due esempi di indicatori di sostenibilità per la produzione di elettricità [5].



**Figura 3. Indicatori di sostenibilità per le centrali elettriche italiane.**

Da quanto esposto si può concludere che per avere alta sostenibilità sono necessari alti rendimenti di conversione e limitazione delle emissioni.

Il primo obiettivo è di natura prevalentemente termodinamica: si tratta in pratica di trasformare con la massima efficienza l'energia chimica contenuta nel combustibile in energia termica od elettrica. E' un processo che procede da più di 200 anni ed ancora esistono spazi per migliorarlo. Come già ricordato, fino a pochi anni fa la produzione di energia elettrica mediante i cicli a vapore non consentiva di superare un'efficienza del 40%, mentre oggi con gli impianti a ciclo combinato si sfiora il 60%. Percorsi analoghi si sono avuti per il riscaldamento e per i trasporti.

Il secondo obiettivo viene realizzato in tre possibili modi: prima, durante e dopo la combustione. L'esempio più significativo di intervento a monte è rappresentato dai processi di desolfurazione che consistono nella rimozione dello zolfo dai combustibili gassosi liquidi o solidi. La rimozione dello zolfo, che ha raggiunto punte molto spinte (fino a ridurlo a poche decine di ppm per i derivati del petrolio), presenta vantaggi enormi dal punto di vista ambientale: evita l'emissione della anidride solforosa, un inquinante che non solo è dannoso per la salute umana, per le componenti biotiche e per i monumenti, ma per di più inibisce il buon funzionamento delle marmitte catalitiche.

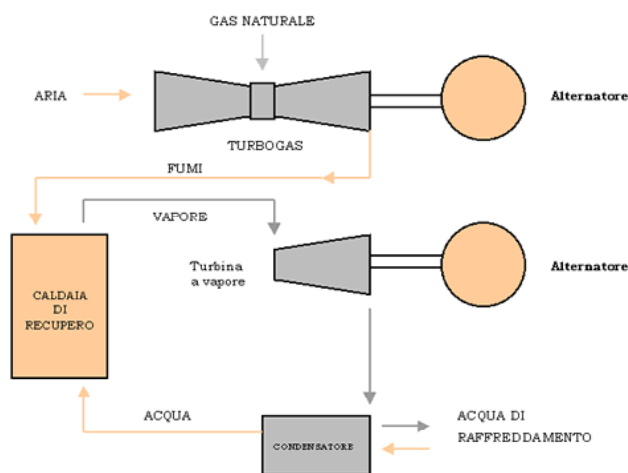
Come esempio di intervento che si può attuare durante la combustione, si può citare il controllo dell'emissione di ossidi di azoto che si producono dalla combinazione dell'azoto e dell'ossigeno atmosferici con una reazione endotermica: il mantenimento della temperatura di

combustione a valori relativamente bassi, ad esempio attraverso l'introduzione di piccoli e dosati flussi di acqua, riduce la produzione degli  $\text{NO}_x$ .

A valle della combustione è possibile ridurre la concentrazione degli inquinanti nei gas di scarico mediante idonei sistemi di abbattimento; un esempio significativo sono i filtri elettrostatici e i filtri a maniche che riducono drasticamente il contenuto di polveri.

Le tecnologie utili per raggiungere gli obiettivi della sostenibilità sono state e sono l'oggetto di numerose ricerche e applicazioni che divengono di giorno in giorno sempre più diffuse. L'adozione di soluzioni tecnologiche ispirate alla sostenibilità diviene ogni giorno sempre più importante ai fini di rispettare i limiti imposti dalla legislazione e da quanto richiesto dagli organismi autorizzativi.

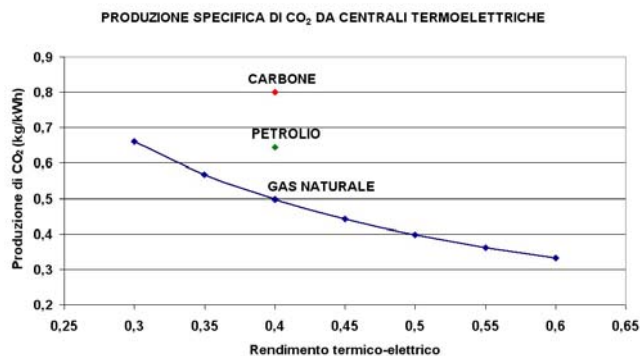
Tra queste soluzioni, una delle più significative è rappresentata dall'adozione di centrali elettriche a ciclo combinato alimentate a gas naturale (Figura 4).



**Figura 4. Schema di funzionamento di una centrale a ciclo combinato.**

L'impiego del gas naturale comporta già di per sé diversi vantaggi ambientali:

- la combustione in fase gassosa è facilitata e ciò comporta una minore produzione di monossido di carbonio e di idrocarburi incombusti;
- il controllo della temperatura di combustione è più agevole e ciò comporta una minore produzione di ossidi di azoto;
- l'assenza di zolfo nel combustibile evita l'emissione di anidride solforosa;
- la possibilità di utilizzare il gas di combustione - che non contiene polveri né ossidi acidi - per alimentare una turbina a gas permette di ottenere, mediante un successivo ciclo a vapore, un rendimento complessivo che può sfiorare il 60%;
- il basso contenuto di carbonio nel metano rispetto al carbone e al petrolio permette una forte riduzione delle emissioni di anidride carbonica (Figura 5).



**Figura 5. Emissioni di diossido di carbonio da centrali a combustibili fossili.**

Se a ciò si aggiunge che le moderne centrali a ciclo combinato smaltiscono il calore di scarico in atmosfera, riducendo drasticamente in tal modo il consumo di acqua, si può affermare che esse rappresentano un condensato di tutti i requisiti di sostenibilità. Un esempio di sostenibilità ancora più spinta è rappresentata da un sistema di cogenerazione che sfrutta il contenuto termico del combustibile per produrre contestualmente energia elettrica e calore per riscaldamento, con rendimenti che possono raggiungere l'80%. Un percorso analogo si sta sviluppando per gli autoveicoli che presentano sempre più bassi consumi e sempre più ridotte emissioni.

#### 4. CONCLUSIONI

Le scelte politiche che riguardano l'ambiente, ed in particolare le problematiche ambientali connesse ai sistemi energetici, sono talmente importanti che non è concepibile che la società non abbia la piena capacità di affrontarli, sia dal punto di vista tecnico che da quello della consapevolezza e della partecipazione. Non è accettabile che in un paese progredito e democratico si possa arrivare alle emergenze ambientali con una classe dirigenziale e tecnica o con una popolazione non sufficientemente preparate. È necessario sviluppare una crescita culturale in tutti i cittadini tenendo conto che la comunicazione non è un processo di facile attuazione: l'impostazione tradizionale che prevede un soggetto attivo (l'esperto) ed un soggetto passivo (ad esempio il pubblico) ha mostrato, in particolare nel settore dell'educazione ambientale, forti limiti. Le esperienze maturate nelle campagne di informazione su temi scottanti in alcuni Paesi del mondo, tra i quali l'Italia, hanno dimostrato che una comunicazione impostata su questo criterio ha dato risultati non soddisfacenti sia sul piano della trasmissione delle conoscenze, sia in termini pratici (tranquillizzare la popolazione), sia sotto il profilo di un comportamento corretto nelle scelte di politica ambientale.

La presunzione da parte del mondo scientifico che la razionalità tecnica sia l'unico tipo di razionalità che porta a scelte corrette si è dimostrata insufficiente a risolvere i conflitti ambientali: si sta facendo strada la convinzione che nei processi decisionali, accanto ad una razionalità tecnica, deve esservi posto per una razionalità culturale che è quella che caratterizza il pensiero e l'opinione dell'individuo medio della società.

Se si accetta questo presupposto la comunicazione diviene un processo che si svolge nei due sensi con un mutuo arricchimento da entrambe le parti.

## 5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1]. BP Statistical Review, in  
<http://www.bp.com/subsection.do?categoryId=95&contentId=2006480>.

[2].  
[http://hdr.undp.org/reports/global/2004/pdf/hdr04\\_HDI.pdf](http://hdr.undp.org/reports/global/2004/pdf/hdr04_HDI.pdf).

[3].  
[http://www.scb.se/templates/tableOrChart\\_\\_\\_\\_83924.asp](http://www.scb.se/templates/tableOrChart____83924.asp).

[4]. Direttiva Europea 1998/69/CE.

[5]. ENEL Rapporto Ambientale, in  
[http://magazine.enel.it/ambiente/leggi\\_documenti/doc/Rapp.Amb/Relazione%20Ambientale%202001\\_it.pdf](http://magazine.enel.it/ambiente/leggi_documenti/doc/Rapp.Amb/Relazione%20Ambientale%202001_it.pdf).