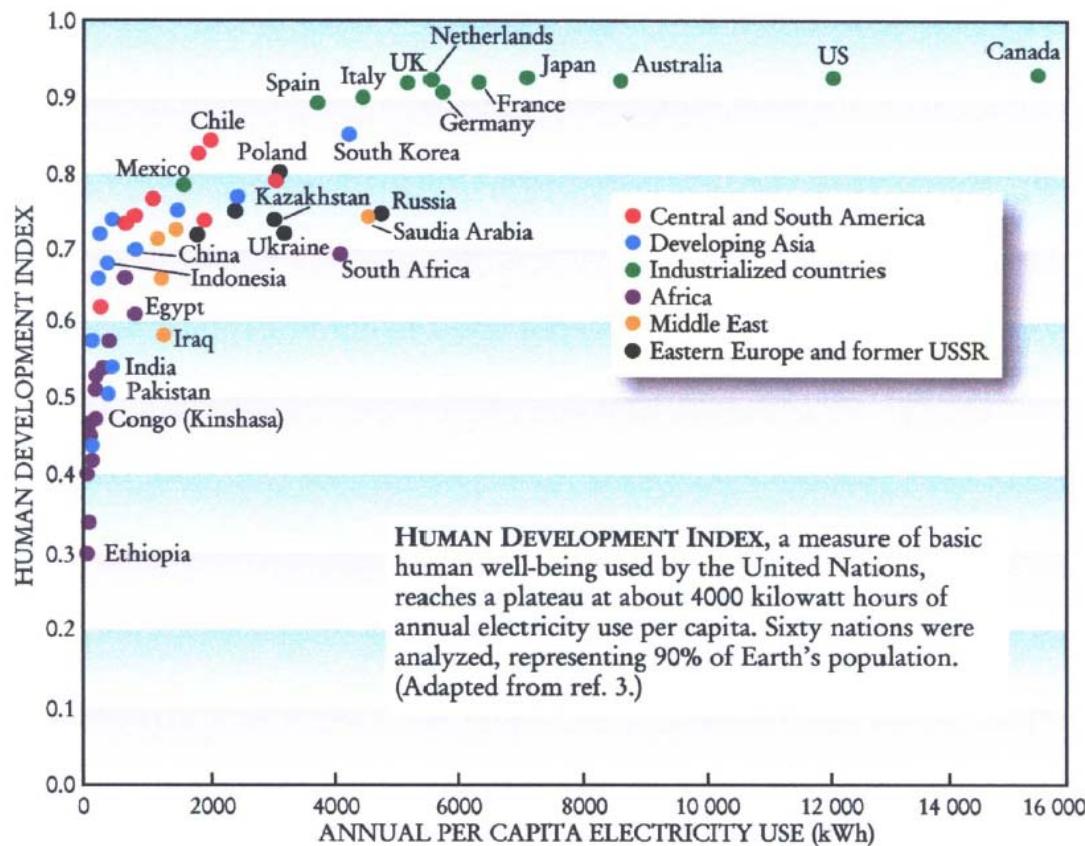


The Energy Challenge

Physics Today, Aprile 2002

Nella società moderna l'energia è uno dei parametri essenziali per garantire un buon livello di vita della popolazione



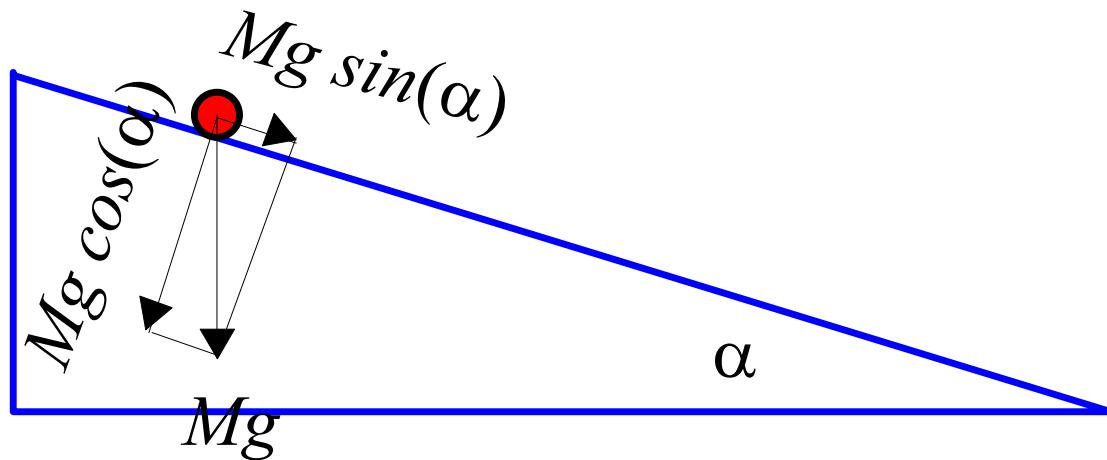
L'energia è un settore in cui è importante una corretta informazione ma anche un'adeguata capacità critica. La popolazione non può essere priva di cultura scientifica e deve saper valutare autonomamente.

Da una pubblicità apparsa su una rete televisiva nazionale:

Sta per entrare in produzione un'auto ad aria compressa che ovviamente non inquina e fa molti più chilometri di un'auto tradizionale a parità di spesa.

L'energia e le regole di conservazione non hanno aspetti misteriosi. La conservazione è evidente nella caduta dei gravi. La presenza dell'attrito introduce le trasformazioni irreversibili che poi si incontrano quando si incontrano altre forme di energia, quella termica in particolare.

In assenza di attrito il moto sul piano inclinato è utile:



La forza gravitazionale è conservativa, infatti esiste una funzione $V(x)$ tale che:

$$F = -\frac{dV}{dx} \quad V = -Mg \sin(\alpha)x$$

$$F_x = Mg \sin(\alpha)$$

$$v = g \sin(\alpha) t \quad x = \frac{1}{2} Mg \sin(\alpha) t^2$$

$$T = \frac{1}{2} M v^2 \quad T = -V$$

In questo fenomeno la conservazione dell'energia appare come un fatto automatico e matematico: l'introduzione dell'energia potenziale è utile nella descrizione delle forze (conservative) e appare nella conservazione.

È opportuno notare che la conservazione dell'energia si scrive anche come:

$$\Delta T = -\Delta V$$

Dove ΔT è la variazione di energia cinetica e ΔV è la variazione di energia potenziale su un certo percorso.

Conviene introdurre $-\Delta V$ come lavoro L effettuato lungo il percorso.

$$L = \int_S (F_x dx + F_y dy + F_z dz)$$

Si ha quindi la conseguenza:

Per far variare l'energia cinetica di un corpo la **forza deve compiere un lavoro**

Quando sono presenti processi dissipativi, parte del lavoro non si trasforma in energia cinetica.

A quanto detto si aggiunge il secondo principio della termodinamica (in realtà un teorema per i sistemi macroscopici):

Non è possibile - *nemmeno in linea di principio* - realizzare una macchina (termica) il cui rendimento sia pari al 100%.

Sottoprodotto: esiste la *freccia del tempo*, l'entropia (in un sistema isolato) non decresce.

Infine

Non è possibile - *nemmeno in linea di principio* - realizzare una macchina di qualunque natura che *NON* abbia sottoprodotti.

Il pianeta Terra non è un sistema completamente isolato:

Riceve:

radiazione elettromagnetica e di altra natura dal sole e dal resto del cosmo.

Materia interplanetaria ed interstellare varia.

Emette:

Radiazione elettromagnetica a bassa energia.

Gas vari e materia che si disperde nello spazio.

La temperatura del pianeta rimane costante se, e solo se, l'energia ricevuta è uguale all'energia emessa.

I processi di assorbimento ed emissione sono punti interessanti di **discussione**: non tutta l'energia che la Terra riceve viene assorbita. L'energia assorbita viene utilizzata in varie maniere e, poi, totalmente emessa nello spazio.

Se non tutta l'energia fosse ri-emessa la temperatura non sarebbe costante.

Nel bilancio energetico va considerata anche l'energia endogena del pianeta. Questo è un altro punto di **discussione**.

L'uso di energia per impieghi umani è strettamente legato a vari problemi collaterali.

Il pianeta è **comunque** destinato a perdere tutte le sue caratteristica ma in un tempo comparabile alla durata del sistema solare, cioè **miliardi di anni**.

L'energia ricevuta dalla Terra è prevalentemente luminosa (lunghezze d'onda del visibile) e la quantità di energia è pari a circa 1400 W/m^2 (200 W/m^2 in media sulla superficie del pianeta).

L'energia disponibile per vari usi proviene da risorse accumulate di varia natura, oltre all'energia solare e quella endotermica.

L'Italia ha impiegato nel 2003 (dati DoE, <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/contents.html>) circa $8 \cdot 10^{18}$ J. Questa quantità di energia si potrebbe confrontare con l'energia solare che raggiunge il paese. Questa è infatti circa 250-500 volte superiore a quella impiegata.

In Italia vi sono circa 70.000 MW elettrici installati. In linea di principio, se fossero sempre disponibili sarebbe sufficienti a tutti gli usi. In realtà è necessario importare energia perché l'impiego fluttua molto. Il sistema di distribuzione deve quindi essere integrato al livello internazionale per tutti i paesi.

Tuttavia questo rende il sistema molto soggetto a possibili incidenti dovuti anche a piccole fluttuazioni locali. Il sistema di distribuzione di energia è molto fragile.

Energia elettrica.

Nel 2007 l'Italia ha impiegato circa 316 miliardi di kWh, con una produzione di 291 miliardi di kWh (8.5% di energia importata). La produzione corrisponde ad una media di 33000 MW di potenza, da confrontare con i 70000 MW installati che servono a fronteggiare i massimi di consumo.

La rete, durante i minimi di consumo deve ridistribuire l'energia in eccesso (**esaminare**).

L'entità dell'energia necessaria alle moderne società è enorme. È evidente che almeno 5000 kWh di energia elettrica per anno e per persona sono necessari per garantire un buon livello di vita (vedere grafico iniziale). L'energia totale necessaria è quasi 10 volte maggiore in molti casi (40000 kWh in Italia). Le dimensioni delle necessità energetiche rendono molto complessa la produzione e la distribuzione dell'energia. L'energia ha comunque un ruolo fondamentale ed una società come quella moderna e con una popolazione mondiale elevata. L'energia serve alla produzione e distribuzione del cibo e degli altri generi essenziali.

Attualmente le fonti principali sono i combustibili fossili.

Vantaggi (da esaminare):

Sono facilmente reperibili. Ad esempio il petrolio ed il gas naturale, una volta che gli impianti di estrazione siano stati realizzati, hanno costi di produzione trascurabili.

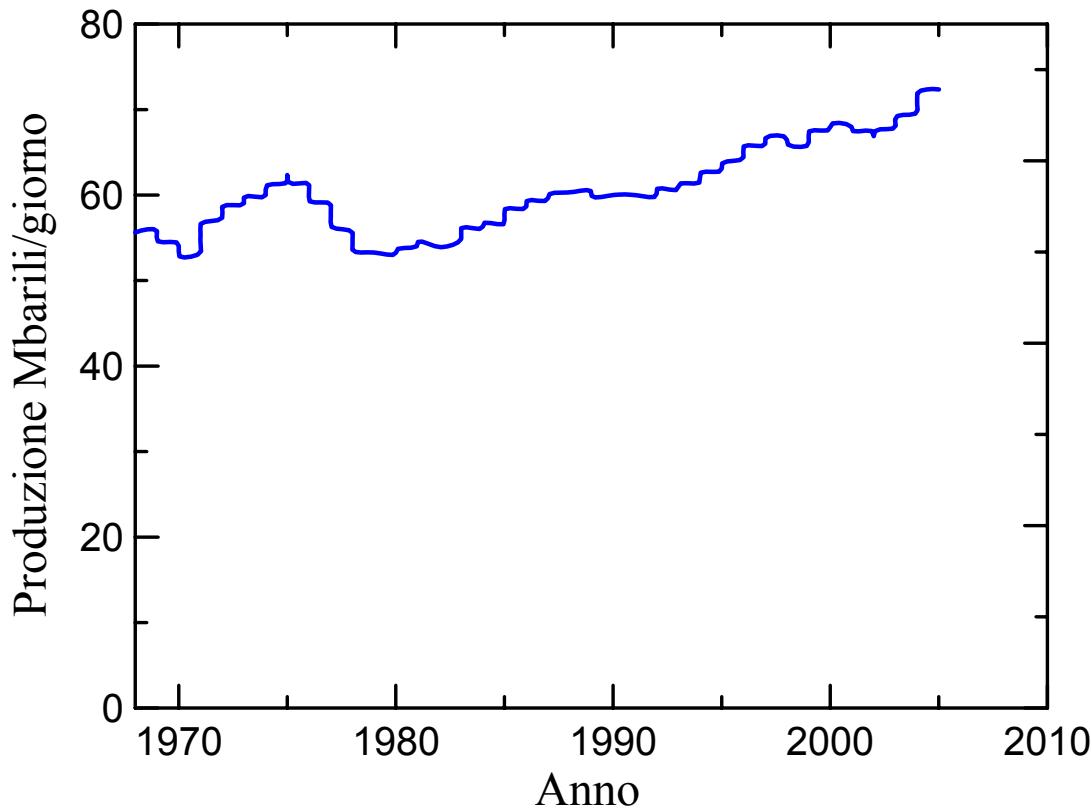
Petrolio e gas sono facilmente distribuibili ed utilizzabili. Il gas naturale si impiega quasi direttamente, il petrolio deve essere trattato. La distillazione del petrolio fornisce anche molto altri prodotti essenziali (materia di partenza per materie plastiche, bitume ed altri composti che potrebbero essere prodotti).

Svantaggi (da esaminare):

Svantaggi ambientali. Sebbene il così detto effetto serra sia discutibile, l'immissione nell'atmosfera dei prodotti di combustione è un serio problema. Il ciclo di produzione-consumo non è noto, il petrolio ed il gas finiscono?

Il carbone non si estrae e non si distribuisce facilmente ed ha costi relativamente elevati. È spesso radioattivo ed introduce nell'atmosfera molte sostanze nocive (il carbone contiene di tutto). È presente in grandi quantità ma il suo impiego è problematico su piccola scala, ad esempio l'autotrazione e i trasporti in generale.

La futura durata del petrolio non è nota e poco si può speculare in merito. Le riserve non facilmente sfruttabili sono molto estese, quelle note e facilmente sfruttabili danno alcuni decenni di autonomia. Il problema è complesso ma **non** può essere ignorato.



Produzione di petrolio,
dati DoE

L'effetto serra

La serra è un efficiente sistema di impiego dell'energia solare per riscaldare un ambiente controllato. Si basa su un isolamento termico del volume da controllare e su materiali trasparenti alla luce solare ma non alla radiazione infrarossa.

La distribuzione della temperatura dell'atmosfera è una grandezza importante. L'atmosfera ha una struttura complessa e la sua temperatura non può essere trattata con il semplice modello della serra. In particolare l'atmosfera è divisa in almeno due parti separate e l'aumento della CO₂ nella bassa atmosfera non ha necessariamente un ruolo importante nel definire la temperatura. Molto più importante è la contaminazione dell'atmosfera e dell'ambiente, spesso con sostanze il cui ruolo è poco noto.

L'emissione della CO₂ dalle attività umane è un punto di discussione.

La produzione di CO₂ è dovuta a molti fattori ma va ricordato che la presenza nell'atmosfera dell'ossigeno è dovuto solo alla presenza di organismi sul pianeta. Tutto il comportamento dell'atmosfera è legato agli esseri viventi. Si valuta che le attività umane immettano nell'atmosfera circa 8 10⁹ t/anno di CO₂, questo dato va però confrontato con la CO₂ prodotta dagli esseri viventi non vegetali.

Proporre il problema della quantità di CO₂ prodotta dagli esseri umani con la respirazione.

Soluzione (da fisico): 1500 kcal/giorno, 200 kcal/mole di CO₂ prodotta. Una mole di CO₂ è pari a 44 g e ci sono circa 6 10⁹ esseri umani che producono 24 ore su 24 per 12 mesi l'anno. Si ottiene qualcosa come 0.7 10⁹ t/anno.

Il ciclo della CO₂ è molto complesso e le attività umane hanno in realtà un ruolo assolutamente minoritario. Il bilancio di CO₂ fra produzione ed assorbimento è difficile da valutare: la produzione di CO₂ dagli esseri viventi può essere dell'ordine di 200 10⁹ t/anno, cioè circa 20 volte quanto emesso dalle attività umane. Esistono anche altre fonti di natura geologica. Va anche menzionato che la CO₂ è essenziale per la vita dei vegetali che crescono in modo ottimale solo se la sua concentrazione nell'atmosfera è sufficiente.



GR 691

Ricerca sulle
locomotive a vapore.

GR 685

La locomotiva a vapore
impiegava un motore
termico la cui efficienza è
limitata. Spesso il motore
era alimentato a carbone,
ma bruciatori a nafta sono
stati impiegati.



Fonti rinnovabili: l'energia solare

In linea di principio le fonti rinnovabili sono preferibili. Tuttavia, a causa del **secondo principio della termodinamica** e del fatto che le trasformazioni reali sono sempre **irreversibili**, anche queste fonti causano una perturbazione dell'ambiente.

Il fisico osserva: la luce solare viene in parte riflessa, quindi l'apporto di energia è una frazione dell'energia in arrivo dal Sole. Se si vuole impiegare una parte dell'energia solare questo avviene con rendimento minore di 1 (molto minore in pratica), come conseguenza l'energia assorbita dalla Terra sarà maggiore.

Si vede immediatamente che, poiché il rendimento di trasformazione dell'energia solare in energia utilizzabile (η) è piccolo, si aumenta in modo significativo la quantità di calore che viene rilasciato nell'ambiente (**fare valutazioni**).

L'ambiente ne soffre, infatti l'aumento di calore porta ad una maggiore temperatura, con aumento dell'evaporazione e dei processi sia di fotosintesi che i processi opposti che emettono CO₂.

$$E_{abs} = RE_{tot} \quad E'_{abs} = R'E_{tot} = E_{abs} + \frac{W}{\eta}$$

Ad esempio: $\eta = 0.05$, $E_{abs} = 80 \text{ W/m}^2$, $W = 5 \text{ W/m}^2$, allora $E'_{abs} = 180 \text{ W/m}^2$.

L'energia termica rilasciata nell'ambiente è più che raddoppiata.

Se si dovesse produrre per via solare tutta l'energia elettrica che serve in Italia si dovrebbero coprire 14000 km² di superficie (su 300000 km² totali), oltre allo spazio necessario alle attrezzature addizionali che servono per far funzionare il sistema, lo spazio per la manutenzione, etc.

Non va dimenticato che per produrre dispositivi adatti a produrre energia elettrica da quella solare è necessaria una gran quantità di energia e materie prime e la vita dei dispositivi è fra 20 e 30 anni. Alla fine $5 \cdot 10^6$ t di Si, per non parlare del resto del materiale che compone i dispositivi, devono essere smaltite. Questa valutazione rende l'energia solare inadatta all'impiego su larga scala, almeno nella situazione attuale.

L'impatto ambientale è piuttosto grande.

Per confronto circa 50 centrali termiche potrebbero essere sufficienti su un'area dell'ordine di 5 km². La concentrazione permette un controllo semplice dell'impatto ambientale anche nel caso delle centrali poli combustibile. La vita è dell'ordine di alcuni decenni. Lo smantellamento è un problema convenzionale di impatto rilevante ma non particolarmente complesso.

Una rete efficiente deve comprendere anche altri tipi di fonti. Ad esempio delle centrali idroelettriche che possano funzionare anche come stazioni di pompaggio danno la possibilità di impiegare l'energie in eccesso sulla rete per riempire gli invasi così da recuperare l'energia nei momenti di massimo consumo.

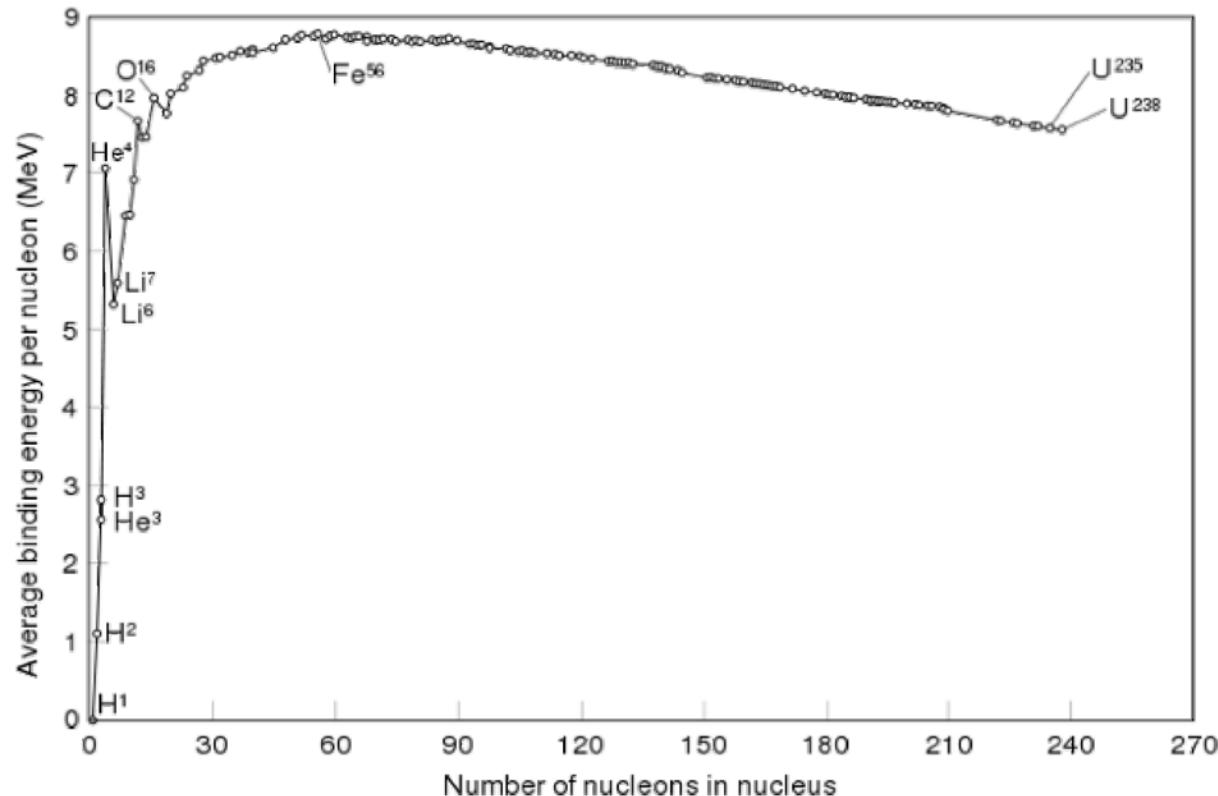
L'energia idroelettrica è molto vantaggiosa, è rinnovabile e l'impatto ambientale nella fase di funzionamento è limitato. Tuttavia l'impatto globale dell'impianto è notevole. Si crea un invaso che deve avere un volume elevato (esercizio: qual è il volume di acqua necessario a produrre 100 MW di energia con un dislivello di 200 m per 24 ore?), si devono fare lunghe condotte di notevole dimensioni, oltre all'impianto di produzione che non è molto diverso da quello a combustibili tradizionali. Il rendimento è simile a quello delle centrali termiche per cui c'è la stessa dispersione di calore a parità di potenza elettrica installata.

Le centrali idroelettriche hanno una vita finita, come tutti gli impianti. Alla fine della vita l'impatto dell'invaso rimane anche con effetti peggiori. Infatti un problema rilevante è il riempimento con detriti dell'invaso. Il lago che rimane non è un lago in buone condizioni perché potrebbe avere una profondità modesta, quindi lo smantellamento dell'impianto è più complesso di quello di un impianto termico.

Il vantaggio principale della centrale idroelettrica è la scarsa emissione di inquinanti nell'ambiente. Va ricordato però che non è ad impatto zero. Questa possibilità non esiste. La centrale diffonde il calore disperso, diffonde ad esempio i lubrificanti e le altre sostanze che sono necessarie al suo funzionamento.

L'energia nucleare (non rinnovabile).

Questa può essere prodotta da due fonti, fissione e fusione
(proporre un esame delle due reazioni partendo
dall'andamento dell'energia di legame dei nuclei con il
numero di massa).



Vantaggi (proporre un esame):

L'energia nucleare non immette, durante il funzionamento, altro che calore (comparabile con le migliori centrali convenzionali) nell'ambiente. Sono compatte e di costo relativamente contenuto. L'impatto ambientale in operazione è minimo.

Svantaggi (proporre un esame):

Hanno un elevatissimo impatto ambientale dopo l'uso del combustibile. Il *reprocessing* è complesso ed a grande rischio e DEVE essere fatto ed è disponibile in pochi paesi. Il combustibile non è facilmente reperibile e le tecnologie relative sono proprie di pochi paesi e sono inquinanti. Lo smantellamento di una centrale a fine vita (30-50 anni) è complesso e di grande costo.

L'energia nucleare basata sulla fissione dell'uranio (^{235}U) è una tecnologia ben conosciuta e relativamente sicura. Può essere impiegata su scala medio piccola per grandi centrali concentrate ma non ovunque perché si finisce poi per avere scarsità di combustibile e di capacità di smaltimento.

Ipotesi di soluzioni alternative sono già state considerate nel passato (reattori *breeder*) e vengono di nuovo presi in considerazione, ma non sono ancora tecnologie definite e non è ovvio che lo possano diventare.

In tutti i casi il problema dei residui radioattivi è un problema **permanente**. Infatti la vita media delle scorie è sulla scala di 10000 anni. L'attuale tecnologia non è in grado di garantire il contenimento su questa scala temporale (**esaminare**).

La fusione nucleare, che viene spesso indicata al pubblico come pulita, **non lo è affatto**. I livelli di contaminazione radioattiva sono però dovuti non ai prodotti della reazione ma all'irraggiamento con neutroni di tutti i componenti del reattore. Si formano quindi isotopi radioattivi a vita media meno lunga e quindi meno pericolosi anche se più attivi.

In ogni caso il rischio per l'ambiente non è molto minore che con la tecnologia di fissione attualmente impiegata.

Il punto più critico per questa tecnologia è che, sebbene il principio sia stato sviluppato da circa 50 anni, **non** è ancora stato sviluppato un prototipo realmente funzionante. L'investimento economico ancora necessario è elevatissimo ed i risultati non garantiti (**ITER, esaminare**).

L'energia per fissione può essere adeguata per un tempo limitato, l'energia per fusione può essere impiegata per un tempo illimitato, vista la grande disponibilità del combustibile (D, Li).

Gli impianti a fissione hanno anche dei problemi legati alla non proliferazione delle armi atomiche (**esaminare**), anche se questo problema è limitato perché la produzione di armi atomiche **non** è semplice.

Tutte le forme di energia nucleare sono impiegabili solo per produrre energia primaria in grandi impianti, quindi per la produzione di energia elettrica.

La produzione di energia per la trazione stradale può partire da questa energia primaria. Esempio, idrogeno (**esaminare**).

Infine va ribadito il fatto che non si deve pensare che ci sia la soluzione finale del problema energetico.

Esempio 1 (**esaminare**): l'auto elettrica non inquina. **FALSO**.

L'auto deve essere costruita e c'è inquinamento con i materiali e l'energia per la costruzione. Durante il funzionamento inquina (molto) con i pneumatici che si consumano insieme alle altre parti meccaniche, i freni inquinano (molto) con il consumo dei dischi e pasticche. Infine, più grave e completamente dimenticata dall'informazione, le batterie delle macchine hanno una vita limitata. Alla fine della vita devono essere sostituite con conseguente smaltimento di materiali altamente inquinanti (Cd, Pb). L'impatto finale può essere molto più alto di quello di un'auto tradizionale tenuta in buone condizioni.

Esempio 2 (**esaminare**): l'idrogeno come combustibile pulito (peggio il metano). L'informazione è approssimativa e non mette in evidenza i problemi. Per produrre idrogeno è necessaria un'energia primaria per farlo. L'idrogeno deve essere trasportato, esistono contenitori semplici per l'idrogeno sotto pressione (bombole di ferro) che sono però molto pesanti (come quelle del metano). La combustione ad alta temperatura in aria produce non solo acqua ma anche composti azotati con vari gradi di tossicità (l'azoto è il principale componente dell'aria). Anche le celle a combustibile (**esaminare**) hanno seri problemi. Esse contengono sempre un sistema che separa i due elettrodi, spesso una membrana. Una delle più usate è il nafion® il cui smaltimento a fine vita (non molto lunga) è molto complesso essendo un materiale perfluorato.