

IL PROBLEMA ENERGETICO ¹

Giorgio Giacomelli

Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna e Sezione INFN di Bologna

Riassunto

Viene presentato un breve quadro generale della situazione energetica mondiale, europea e italiana, analizzando le varie fonti energetiche e prestando particolare attenzione alle relazioni energia-qualità della vita, energia-ambiente e energia-salute. Sono discussi i combustibili fossili, fonti di energie rinnovabili, il ruolo dell'energia elettrica, l'energia nucleare, il risparmio energetico, l'effetto serra, un possibile sviluppo sostenibile, l'economia all'idrogeno e il rischio e la sua percezione. Seguono le conclusioni, le prospettive e alcune implicazioni della crisi economica e delle variazioni del prezzo del petrolio.

1. Introduzione

E' ben noto da tempo che il tenore di vita della popolazione ha una relazione diretta con l'energia. Vari indicatori mostrano le correlazioni fra consumi energetici e prodotto nazionale lordo procapite e vita media delle persone, tasso di mortalità infantile, tenore e qualità della vita. Rispetto al passato, il lavoro animale è stato rimpiazzato da macchine che sono diventate sempre più perfezionate ed efficienti. Le sorgenti energetiche usate hanno subito un grande cambiamento: si è passati dalla legna, dai mulini ad acqua e dal lavoro animale dei secoli scorsi, all'energia idroelettrica, al carbone, al petrolio, al gas, all'energia nucleare, all'energia solare e altre. La disponibilità di energia a basso prezzo ha fatto migliorare la qualità della vita delle popolazioni nei paesi sviluppati [1]: è come se ognuno dei cittadini avesse a disposizione un notevole numero di "schiavi energetici" [2]. L'alto consumo di energia è stato un prerequisito per ottenere più prodotti e più servizi. La quantità di prodotto ottenuta per ora di lavoro da un lavoratore è aumentata e il numero delle ore lavorative giornaliere è diminuito, lasciando più tempo per lo svago e la cultura.

I *consumi energetici* hanno avuto un aumento enorme: in Italia attorno agli anni 1950-1970 l'aumento è stato di circa il 10% per anno per persona, con un aumento ancora più rapido per l'energia elettrica; attualmente l'aumento dei consumi italiani è molto inferiore.

Purtroppo, ogni sorgente energetica presenta, in forma maggiore o minore, le sue difficoltà ed i suoi *inquinamenti*. Come "non c'è rosa senza spine", così non c'è fonte energetica senza problemi e inquinamenti. Basta pensare all'uso indiscriminato della legna all'inizio del 1900, che ha portato al disboscamento di vaste aree dell'Appennino, all'affondamento di petroliere con conseguenti ricorrenti inquinamenti su larga scala, all'incidente nucleare di Chernobyl, ai molti morti nelle miniere di carbone. Per l'uso di ogni fonte energetica va valutato il *rischio sanitario e ambientale* e vanno studiate le metodologie per ridurli [3].

La *Questione energetica* occupa da sempre una posizione di primo piano nell'economia e nello sviluppo, sia a livello nazionale che mondiale. "Qualsiasi futura politica non potrà prescindere da una identificazione e da una ragionevole proiezione dei fabbisogni, dalla valutazione della disponibilità globale di risorse energetiche primarie e dal riconoscimento della necessità che, all'interno di un sistema economico, si provveda ad una prudente diversificazione delle fonti. Dovrà inoltre essere assicurato che adeguate potenzialità scientifico-tecnologiche vengano mobilitate e orientate verso obiettivi di politica industriale capaci di coniugare il benessere dei cittadini e la preservazione dell'habitat futuro" [2, 3].

Dall'11 settembre 2001 è diventato inoltre evidente che occorre prendere in considerazione gli effetti di possibili attentati a dighe, depositi di combustibile, centrali nucleari e convenzionali; vanno quindi studiate con cura le precauzioni e le misure di sicurezza da prendere.

Nel secolo scorso il problema energetico sembrava riguardare principalmente i paesi sviluppati che si trovavano in una effettiva posizione di privilegio. Ma dall'inizio del nuovo millennio è

¹ Basato sulle relazioni al Convegno Lions del 13 aprile 2008, Cappella Farnese, Comune di Bologna e alla 24th ICNTS, 1-5/09/2008, Bologna (vedi arXiv: 0901.3711 v1 [physics soc-ph] (2009)).

diventata molto più evidente la richiesta, la “fame di energia” dei paesi emergenti, in primo luogo di Cina ed India. Tutti vogliono più energia, e ciò pone nuovi problemi di tipo economico, politico ed ambientale [4]. E il costo del

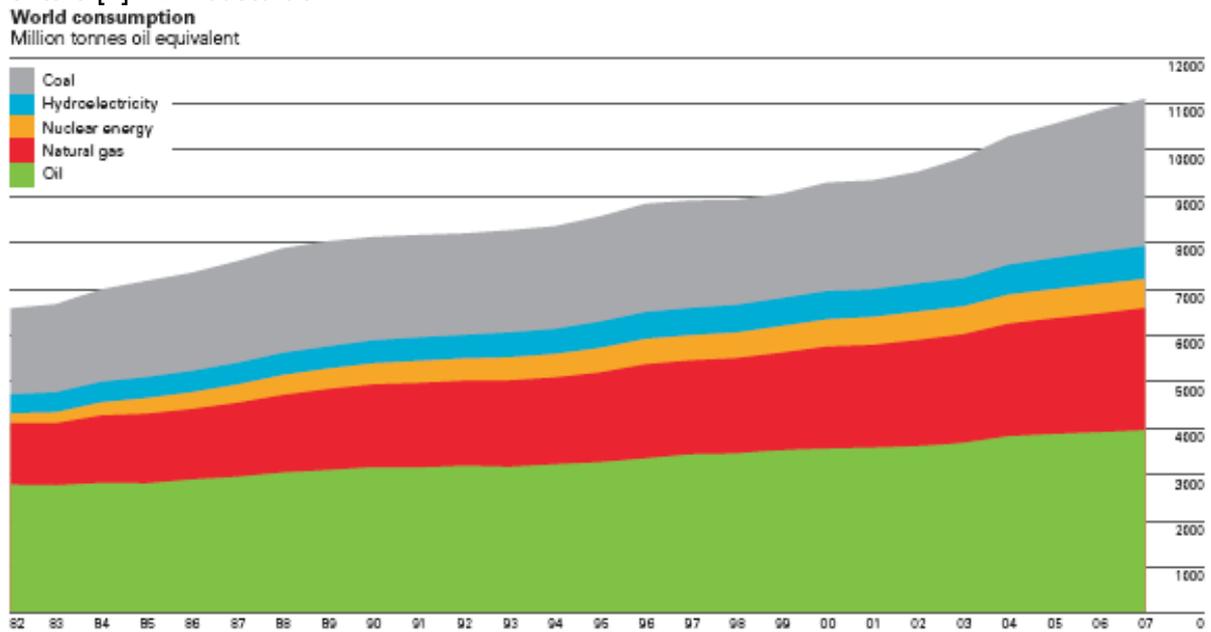


Fig. 1. Consumi energetici mondiali dal 1982 fino alla fine del 2007 (fonte BP, rapporto 2008) [5].

petrolio è aumentato e forse continuerà ad aumentare, anche se per il momento è diminuito.

In quanto segue ci si propone di fornire un breve quadro generale del problema energetico. Ci riferiremo in particolare alla situazione italiana e a quella europea.

2. Energie primarie

Nel 2003 i consumi mondiali di energia sono stati pari a circa 10 miliardi di tonnellate equivalenti di petrolio (~10 Gtep), vedi Tabella 1 e Fig. 1 [5]; nel 2007 i consumi sono stati quasi 11000 Mtep. L'aumento attuale dei consumi mondiali è di circa il 3% annuo, dominato dagli incrementi cinesi e indiani.

La maggior parte dell'energia proviene da *combustibili fossili*, in particolare dal petrolio, Fig. 1. Ma questi combustibili non sono rinnovabili e si stanno esaurendo. Ciò è vero in particolare per il petrolio.

L'Italia non ha combustibili fossili in quantità sufficiente e dipende dalle importazioni per circa l'84% del suo fabbisogno energetico, un valore molto elevato. Questo fa sorgere problemi di costi, di bilancia dei pagamenti e differenziazioni di approvvigionamento. Inoltre il caso italiano è anomalo perché usiamo percentuali di petrolio e gas naturale superiori a quelle delle altre nazioni, e perché abbiamo abbandonato il nucleare (un caso unico).

Di fronte a questi consumi vanno valutati *gli usi*. In Italia il ~35% dell'energia è consumata dall'industria, il ~24% nei trasporti, il ~34% per usi civili e l'agricoltura, il ~7% per usi non energetici.

	Italia (2003)	EU-27 (2004)	Mondo (2003)
Petrolio	47%	36.8%	34%
Gas	33%	24%	21%
Carbone	7.9%	18.2%	24%
Rinnovabili	6.5%	6.4%	13%
Nucleare	--	14.4%	6.5%
Importazioni di energia elettrica	5.8%	--	--
Totale (100%)	~193 milioni di tep	~1.17 miliardi di tep	~10 miliardi di tep

Tabella 1. Consumi energetici annui mondiali, europei (EU-27) e italiani in tonnellate equivalenti di petrolio (tep) nel 2003/2004 e percentuali di fonti primarie (Fonti BP, ENEA). Consumo pro capite italiano nel 2004: 3.1 tep/anno/persona; emissione totale italiana di CO₂ nel 2004: ~451 Mt/anno.

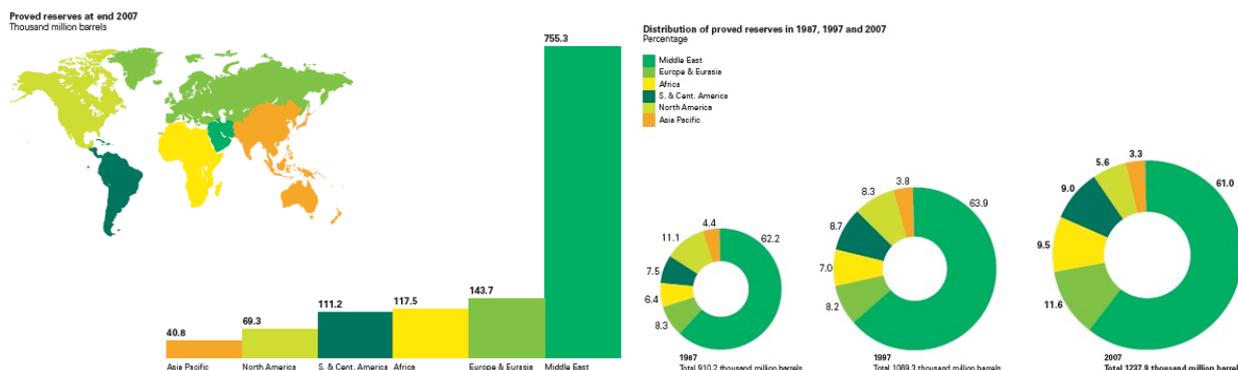


Fig. 2. Riserve mondiali di petrolio alla fine del 1997 (fonte BP, rapporto 2008).

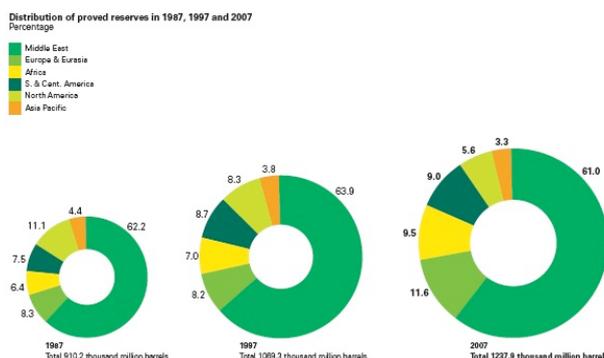


Fig. 3. Riserve mondiali di petrolio nel 1987, e 2007 (fonte BP, rapporto 2008).

Negli ultimi decenni vi sono stati molti miglioramenti tecnologici che hanno portato a miglioramenti di *efficienza nella produzione* (per es. nelle centrali termoelettriche per produrre energia elettrica) e *nell'uso dell'energia* (per es. il rendimento luminoso delle lampadine, più di un fattore 100 in un secolo, rendimento dei motori, miglioramenti nel bruciare l'olio combustibile per riscaldamento, ecc). Nelle nazioni industrializzate, questi miglioramenti hanno rallentato la crescita dei consumi, per cui si può dire che il risparmio energetico si è presentato e si presenta come una nuova fonte di energia [6].

3. Combustibili fossili

Come già detto, la maggior parte dell'energia usata proviene dai *combustibili fossili*: le riserve mondiali conosciute alla fine del 2007 sono illustrate nelle Fig. 2, 3, 4, 6, 7 [5]. Notare che le maggiori riserve di petrolio sono nel Medio Oriente, quelle di gas nel Medio Oriente e in Eurasia, quelle di carbone in Eurasia, Asia e Nord America. Sulla base dei consumi attuali, si stima che il petrolio potrebbe durare ancora circa 40 anni, Fig. 4 a sinistra, il gas naturale ~60 anni e il carbone ~200 anni (il carbone è la fonte fossile più abbondante e le riserve sono ben distribuite sul pianeta). E' da notare che è dal 1982 che le compagnie petrolifere dicono che il petrolio durerà...40 anni! Vedi Fig. 3 per osservare l'aumento delle riserve mondiali di petrolio; la Fig. 4 a destra mostra come la prevista durata del petrolio varia a seconda della nazione produttrice.

Per la produzione annua di ciascun combustibile fossile in funzione del tempo ci si aspetta una curva a campana con un picco seguito da una decrescita; secondo la BP per il momento non si osserva la decrescita, perchè lo sviluppo tecnologico ha permesso e permette ancora di cercare giacimenti a maggior profondità, sotto il mare, sfruttare giacimenti di qualità inferiore e anche vecchi giacimenti quasi esauriti. Secondo i pessimisti il picco si manifesterà verso il ~2010, mentre secondo gli ottimisti si manifesterà nel 2020-2030.

Nel 2007 la produzione di petrolio in Italia è stata di ~5.9 milioni di t; nel 2007 la produzione di gas naturale in Italia è stata di ~8.0 Mtep (la produzione è in progressiva diminuzione; le riserve di gas in Italia sono ~270 miliardi di m³, situate principalmente in mare nell'alto Adriatico, fonte ENEL http://www.enel.it/attivita/novita_eventi/energy_views/archivio/2007_01/schede_tecniche/index.asp e BP 2008). L'Italia ha una produzione petrolifera e di gas naturale che la mettono al quarto posto fra i paesi europei [7]. Anche se limitata, questa produzione di petrolio e gas gioca un ruolo importante².

Sorge comunque il problema di trovare altre sorgenti energetiche, che siano disponibili per tempi molto più lunghi. Si pensa che verranno trovati altri giacimenti di combustibili fossili, magari

² Negli anni 1930 si pensava che la Libia fosse solo un "cassone di sabbia". Ma quando negli anni '60 si riuscì trovare e usare petrolio a profondità superiori ai 1500 m ci si rese conto che vi era una grande quantità di petrolio.

di più difficile estrazione, in zone remote e fredde, a profondità maggiore e con costi più elevati ³. Ci saranno anche ulteriori miglioramenti tecnologici nell'utilizzo dei combustibili, si useranno nuove fonti energetiche e quindi ci sarà forse una diminuzione della percentuale di utilizzo dei combustibili fossili. Ma c'è stato anche un forte

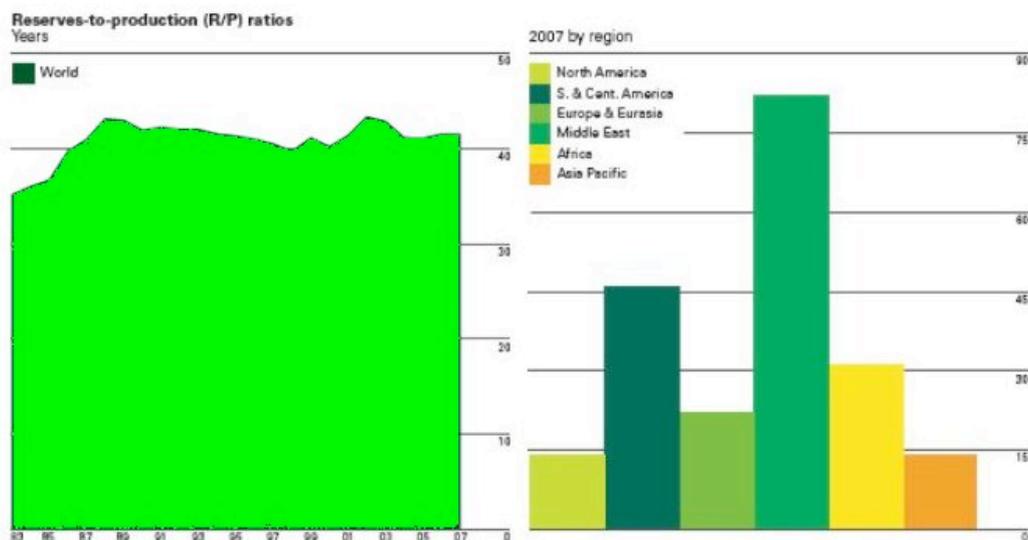


Fig. 4. A sinistra: Il rapporto Riserva/Produzione mondiale annua (R/P) di petrolio in funzione dell'anno: notare che R/P è rimasto al livello di 40 anni dal 1982 al 2007. A destra: Il rapporto R/P in diverse regioni: notare che è massimo nel Medio Oriente e minimo nell'America del Nord. (Fonte BP, rapporto 2008).

aumento dei consumi nei paesi in via di sviluppo e questo sta modificando la situazione, ulteriormente cambiata dalla crisi economica e dalla riduzione del costo del petrolio, Fig. 5 e § 12.

Per il 2030 si prevede una popolazione mondiale di ~8 miliardi di persone e un consumo annuo mondiale di 17-18 miliardi di tep [4]. In molte previsioni si superano questi valori e... se non si trovano soluzioni alternative... allora occorrerà proprio bruciare tutto, anche... i mobili delle case!

Si stanno anche cercando metodi per utilizzare i combustibili fossili in modo più efficiente e meno inquinante, in particolare per il carbone. Le nuove centrali a carbone sono meno inquinanti e più efficienti di quelle precedenti, vedi come esempio la nuova centrale vicino a Civitavecchia. Si cerca anche di gassificare il carbone: nella trasformazione si può produrre "syngas" che può essere utilizzato direttamente, oppure per produrre combustibili liquidi e sostanze chimiche pregiate. Queste nuove metodologie sono "benigne" per l'ambiente ("Clean coal technology").

³ Negli Stati Uniti e in Canada vi sono grandi depositi di scisti bituminosi, in Canada anche di sabbie oleose. Il continuo aumento del costo del petrolio ha reso competitiva l'estrazione di petrolio dalle sabbie oleose canadesi (nella provincia dell'Alberta) e da olii pesanti in Venezuela. L'ENI ha recentemente trovato un giacimento di sabbie oleose nell'Africa centrale. Il Brasile sembra aver trovato altri giacimenti petroliferi a grandi profondità al largo delle sue coste, nell'oceano Atlantico, e pare che vi siano giacimenti importanti attorno alle isole Falkland e attorno alle coste artiche.

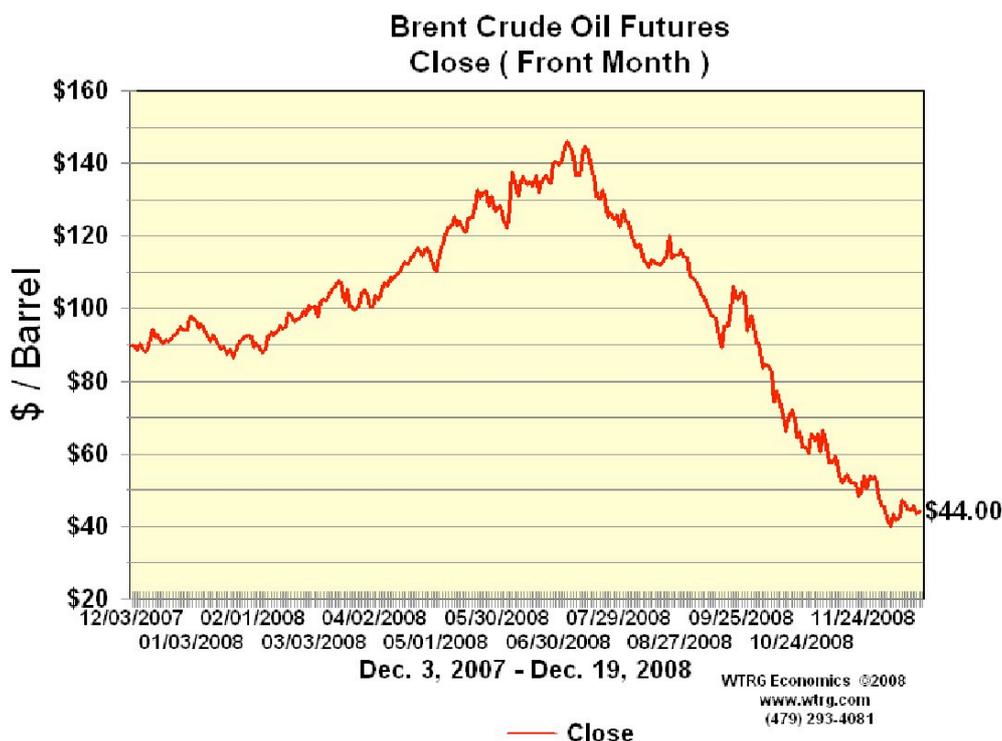


Fig. 5. Quotazione prezzo del petrolio nell'ultimo anno (Dollari US/barile).

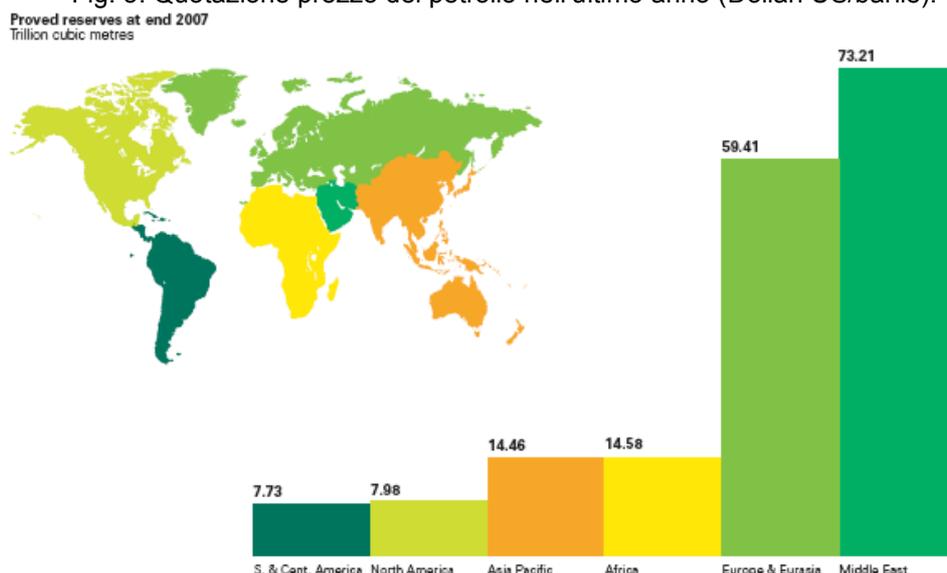


Fig. 6. Riserve mondiali di gas naturale alla fine del 2007 (fonte BP, rapporto 2008).

4. Fonti energetiche rinnovabili

Si parla molto dell'uso di **fonti energetiche rinnovabili** (alternative e/o complementari): si tratta dell'energia solare, idroelettrica, eolica, dell'energia prodotta dalle maree, dal moto ondoso, dalle correnti marine, dalla differenza di temperatura fra acque marine profonde e superficiali, dalle biomasse, dall'energia geotermica e dall'energia ottenuta dai rifiuti urbani, vedi Fig. 8. Le prime fonti sono tutte riconducibili all'energia solare. E' auspicabile un forte incremento di tutte queste fonti, anche se è difficile che possano dare un contributo decisivo nel prossimo futuro. Si pensava che l'aumento del prezzo del petrolio e degli altri combustibili fossili potesse portare ad una maggiore competitività delle fonti rinnovabili (e anche alla ricerca/sfruttamento di giacimenti di petrolio non convenzionali), ma la crisi economica e il calo del petrolio hanno modificato la situazione.

Per il futuro lontano esistono soltanto due fonti energetiche fondamentali: l'*energia solare* e l'*energia da fusione nucleare* (per il futuro a medio-lungo termine c'è anche la fissione nucleare da U^{238} e Th^{232}).

L'**energia solare** arriva dovunque, senza costo, è rinnovabile e, su piccola scala, non inquina. Ha lo svantaggio di essere diluita nello spazio e di variare con l'alternanza del giorno, della notte e delle stagioni,

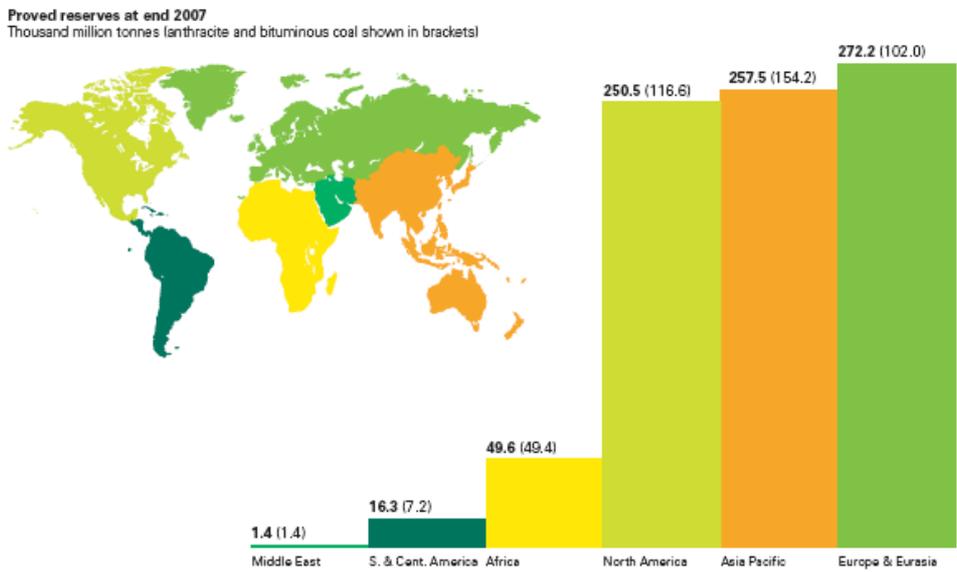


Fig. 7. Riserve mondiali di carbone alla fine del 2007 (fonte BP, rapporto 2008).



Fig. 8. Breve sommario qualitativo delle energie rinnovabili.

Fig. 9. L'utilizzo più semplice è quello via pannelli solari, sia per riscaldamento per es. delle abitazioni, che per la produzione diretta di energia elettrica. Sono moltissime le applicazioni con piccoli *generatori fotovoltaici* per es. piccoli calcolatori e orologi da polso; pannelli più grandi servono per pompare acqua dal terreno, per dare potenza a equipaggiamenti per comunicazione e per sistemi di emergenza. I *pannelli solari termici* a bassa temperatura hanno ormai raggiunto il livello di economicità. I *pannelli solari fotovoltaici* necessitano di miglioramenti tecnologici per aumentare l'efficienza delle celle fotovoltaiche e per ridurre i loro costi di produzione. Sono in corso moltissime attività di ricerca per raggiungere tali scopi: vi sono sviluppi nelle normali celle di silicio (*solare fotovoltaico di prima generazione*), nelle celle solari a film sottili, nelle celle in materiale plastico polimerico, ed in molte tecnologie, per es. con vernici trasparenti sui vetri delle finestre, ecc. (*Solare fotovoltaico di seconda generazione*). Sviluppi notevoli sono previsti con l'uso di nanotecnologie (Quantum Dots) e di celle sottili a multigiunzione (ognuna copre una regione

diversa dello spettro solare): sono state raggiunte efficienze delle celle anche del $\geq 40\%$, (*Solare fotovoltaico di terza generazione*) [9]. In ogni modo c'è una grossa crescita dell'industria solare.

Occorrono grandi superfici per ottenere grandi quantità di energia, con possibili conseguenze ambientali. Sono in corso molti incentivi per l'utilizzo diretto dell'energia solare, in particolare in Germania, Europa, Stati Uniti, Giappone, ecc.: questi progetti contribuiscono a standardizzare tutti i componenti e a ridurre i costi [8]. Si stanno inoltre costruendo sistemi che utilizzano specchi parabolici che focalizzano la luce su una macchina termica posta nel fuoco dello specchio, Fig. 10b, e centrali con molti specchi che focalizzano la luce su di un "boiler" in cima ad una torre: si dovrebbero raggiungere alte temperature, il che permetterà di produrre energia elettrica con più alta efficienza, Fig. 10a. Altri sistemi usano specchi parabolici lineari che focalizzano la luce su di un tubo contenente sali fusi che raggiungono alte temperature, Fig. 10c. Anche il solare termico a medio/alta temperatura sembra essere vicino alla competitività [9].

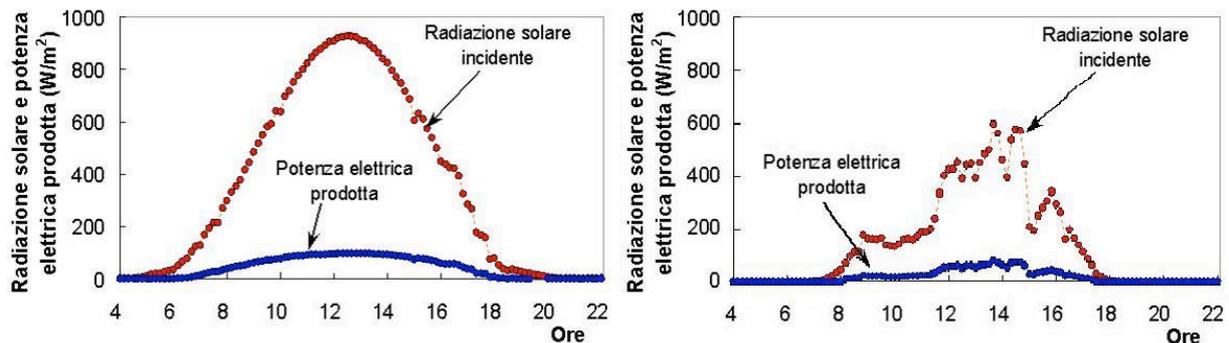


Fig. 9. Radiazione solare incidente ed energia elettrica prodotta in un tetto fotovoltaico a pannelli piani. Ogni cella con silicio monocristallino ha un'efficienza del $\sim 18\%$. L'efficienza globale di un sistema per la produzione di energia elettrica in corrente alternata mediata su un anno è del $\sim 10\%$.

<http://www.scienzagiovane.unibo.it/pannelli.html>].

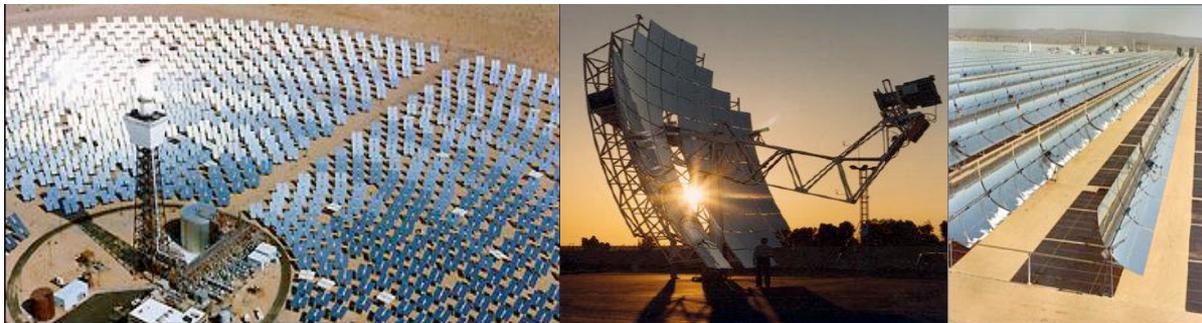


Fig. 10. Sistemi solari a concentrazione. Nell'apparato nella foto centrale l'efficienza per produrre elettricità è $\sim 30\%$.

L'installazione di piccoli sistemi decentrati (*tetti fotovoltaici*) vicino al posto di utilizzo evita le perdite di trasporto dell'energia; le centrali solari nel deserto della California del sud possono fornire energia elettrica nelle ore di punta del consumo elettrico, quando vengono accesi i condizionatori nelle abitazioni. In Australia è stata progettata una grande centrale solare dove l'aria calda, raccolta su di una superficie di molti km^2 , salirebbe in un grosso camino centrale alto quasi un chilometro, azionando molte turbine con una potenza totale $> 100 \text{ MW}$, vedi Fig. 11 a destra. Il principio di funzionamento è stato verificato con una torre in Spagna. In questo caso il costo di investimento iniziale è elevato; l'efficienza sarebbe più bassa di quella dei sistemi illustrati in Fig. 10; il costo del kWh elettrico è ancora difficile da valutare. Nella Fig. 11 a sinistra è mostrata una grande centrale tedesca a pannelli fotovoltaici piani.

L'intermittenza della fonte solare porta a un limite nella potenza elettrica massima allacciabile alla rete elettrica: occorre usare sistemi con accumulo prima di allacciarsi alla rete. Occorre quindi uno sviluppo tecnologico appropriato anche nelle reti elettriche.

Per il futuro lontano si è anche pensato a grandi centrali fotovoltaiche in orbita intorno alla terra per produrre elettricità: là non c'è la variazione giorno-notte, né quella stagionale. Resterebbe il

problema di convogliare l'energia a terra; sarebbe possibile tramite microonde: anche per far questo servirebbe una vasta superficie terrestre allestita con antenne bipolari; la superficie rimarrebbe utilizzabile per scopi agricoli, ma vi arriverebbero microonde di media intensità. Siamo ancora lontani dall'aver prove di fattibilità e di costo appropriato per tali centrali e si dovranno trovare metodi per convogliare con sicurezza le microonde verso aree non popolate. Un test è programmato con un satellite della NASA su orbita bassa, inviando microonde verso una piccola isola disabitata dell'arcipelago delle Palau nell'oceano Pacifico.

Energia idroelettrica. E' stata questa la prima sorgente rinnovabile utilizzata con grande successo per la produzione di energia elettrica su vasta scala. Attualmente circa il 6% dell'energia mondiale proviene da centrali idroelettriche, Fig. 1. Per quanto riguarda l'Italia e le nazioni sviluppate, i grandi corsi d'acqua sono ormai tutti utilizzati con dighe e centrali idroelettriche. Restano alcuni piccoli corsi d'acqua che potrebbero servire per costruire piccole centrali. La situazione è diversa in molti paesi in via di sviluppo, dove la quantità di energia idroelettrica inutilizzata è spesso grande e il cui sfruttamento apporterebbe un aiuto economico significativo. E' però da notare che grandi centrali idroelettriche possono portare a notevoli problemi ambientali. Vi sono centrali idroelettriche con due bacini a due livelli diversi, di modo che si può

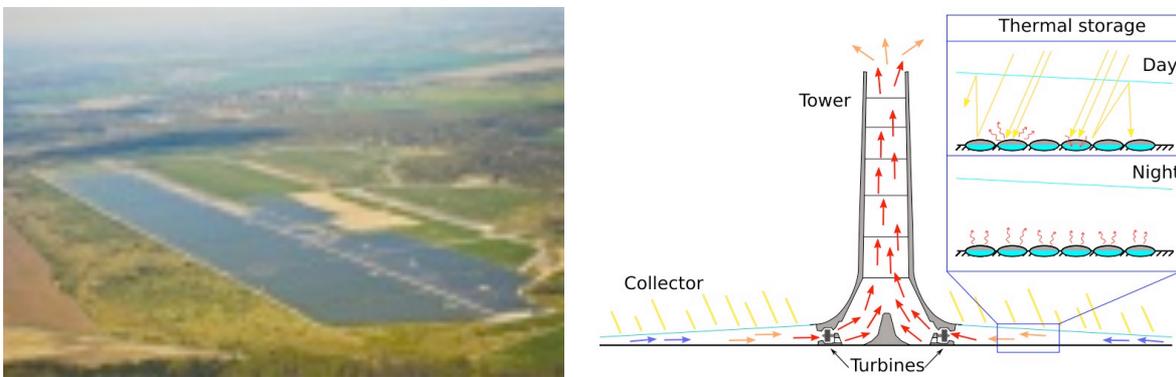


Fig. 11 A sinistra: la centrale a pannelli solari piani di Waldpolenz in Germania (24 MWpicco). A destra: schema di una torre solare a vento (può funzionare anche di notte).

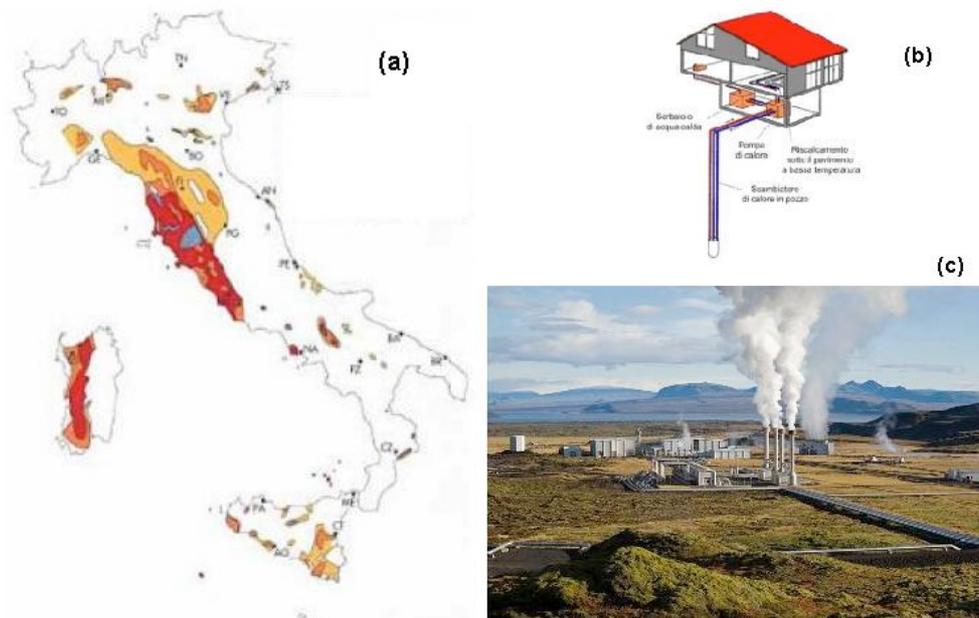


Fig. 12 (a) Mappa geotermica italiana: nelle zone in rosso la temperatura sotterranea è alta e vaporizza l'acqua: il vapore viene inviato ad una turbina per generare elettricità. (b) Schema di un sistema di riscaldamento domestico con pompa di calore connessa al suolo/sottosuolo. (c) La centrale geotermica di Nasjaveilir in Islanda.

pompare di notte l'acqua verso l'alto e utilizzare la caduta di giorno per produrre energia elettrica nelle ore di punta del consumo (vedi § 3, pag. 10)⁴.

Energia eolica. E' conosciuta e usata da centinaia di anni, soprattutto in Olanda, per azionare i mulini a vento e per estrarre acqua dal suolo. Anche questa energia proviene dall'energia solare, in quanto prodotta da squilibri termici nell'atmosfera. Dal vento si può ottenere energia elettrica attraverso eliche, di solito ad asse orizzontale, poste su piloni ad una altezza >30 metri per sfruttare un vento più stabile e con meno turbolenze. L'utilizzo dell'energia eolica è conveniente per piccole e medie utenze e per zone isolate. Sta diventando importante in centrali eoliche (*wind farms*) nelle zone con vento regolare, come tra l'Oceano Atlantico e l'Europa: qui si raggiungono efficienze globali fino al 20% per la produzione diretta di energia elettrica. L'Unione Europea punta a un grande sviluppo di energia da solare, dal vento e da biomasse.

Energia dalle maree. La quantità di energia accumulata nelle maree è grande, ma la frazione che si può pensare di utilizzare è piccola, circa l'1-2% del totale. Per utilizzare le maree occorrono particolari condizioni: maree alte (dell'ordine dei 12 m), coste rientranti che formino una specie di bacino a imbuto naturale, ecc. E' da tempo in funzione la centrale francese della Rance, con una potenza di circa 240 MW elettrici (nei momenti di massima e minima marea). Sono stati effettuati molti progetti per centrali a marea, in Inghilterra, Canada e USA. Attorno all'Italia non vi sono grandi maree e quindi è difficile utilizzarle per produrre energia.

Energia dal moto ondoso. Per sfruttare l'energia delle onde bisognerebbe realizzare dei dispositivi che assorbano l'energia, riducendo l'ampiezza dell'onda e così "calmando" il mare. Piccole centrali da 1-2 MWe di potenza sono state sperimentate e sono usate in Giappone e in Inghilterra. L'energia prodotta è fluttuante nel tempo (è nulla quando il mare è calmo). Per ottenere l'equivalente di una centrale da 1000 MW elettrici sulle coste dell'Atlantico, sarebbero necessarie installazioni lunghe ~400 km.

Energia dalle correnti marine. La corrente del Golfo, dai mari dell'America centrale alle coste dell'Europa del nord, ha una potenza totale di circa 26.000 MW su un fronte di centinaia di km. Si tratta, di nuovo, di un'energia dovuta al sole; servirebbero grandi aree per l'installazione di centrali; ma i prelievi energetici potrebbero avere delle conseguenze sul clima dei paesi dell'Europa Settentrionale. Dovrebbe essere sfruttabile la corrente nello stretto di Messina, nel braccio di mare fra Calabria e Sicilia.

Energia dalla differenza di temperatura fra acque profonde e superficiali in mari tropicali.

Si può

utilizzare un tubo con un fluido che venga prima vaporizzato con acqua calda superficiale e poi condensato

tramite acqua fredda profonda. Il vapore farebbe girare le turbine producendo elettricità. Questo sfruttamento è pensabile in mari tropicali dove c'è una differenza di ~20° C fra acque superficiali e profonde. Tests sono effettuati nell'oceano Pacifico vicino alle isole Hawaii.

Biomasse. Sono combustibili ottenuti da biomasse erbacee e legnose e da rifiuti organici urbani. Il legno ed altre biomasse sono ancora i combustibili più usati in molti paesi in via di sviluppo. L'uso di piccole centrali a biomasse che utilizzano scarti legnosi di ogni tipo vanno certamente incoraggiati.

Biocombustibili. Il *bioetanolo* e il *biodiesel* possono essere usati come additivi alla benzina e al diesel; le biomasse possono essere utilizzate anche per produrre *biogas*. Il Brasile ottiene biocombustibili da estese coltivazioni di canna da zucchero. Altre nazioni pensano di produrli da coltivazioni di vario tipo. Bisogna però essere sicuri che tali produzioni non entrino in contrasto con l'agricoltura per produrre cibo: è probabile che i recenti rincari dei prezzi di grano, riso e granturco siano in parte connessi con l'uso di biomasse per produrre biocombustibili. Per il futuro si pensa a produzioni di biomasse anche da microalghe marine (e da certi funghi sud americani).

Energia dai rifiuti urbani. La riutilizzazione dei rifiuti urbani serve al recupero di materie prime, alla produzione di concimi e di combustibili. Inoltre, attraverso il riciclaggio diminuisce la quantità dei rifiuti. Esistono numerose centrali che producono energia dai rifiuti. Due sono i modi in cui essa può essere ottenuta: sotto forma di calore, bruciando i rifiuti (un'alta temperatura è necessaria per distruggere tutte le molecole complesse, come la diossina) in inceneritori (o termovalorizzatori), oppure facendoli fermentare producendo biogas. Per il futuro è pensabile a un contributo

⁴ Negli articoli su giornali quotidiani si fa spesso confusione fra potenza ed energia prodotta. Si tende a dare il valore della potenza di picco delle centrali solari ed eoliche, senza tener conto della loro variabilità.

relativamente importante di energia dai rifiuti. Il disastro napoletano indica però l'importanza, la necessità di un'adeguata programmazione.

Energia geotermica. Si ottiene energia sfruttando il calore interno della terra, vedi Fig. 12. Il *gradiente geotermico* dà una misura dell'aumento di temperatura con la profondità: in media è di $\sim 3^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$. Per sfruttare l'energia geotermica si usano sistemi a vapore dominante, ad acqua calda ad alta temperatura, ad acqua calda a bassa temperatura e con rocce secche calde. I primi due sistemi sono attualmente utilizzati per produrre energia usando *soffioni naturali* e bacini vicino alla superficie terrestre in zone attive, come a Larderello in Toscana, in Islanda, in regioni del nord-ovest degli USA, nelle Filippine, nel Messico, in Giappone e in altri paesi. Il quarto metodo offre possibilità promettenti tramite fratturazione delle rocce calde (per aumentare la superficie su cui avviene lo scambio di calore) e iniezione di acqua fredda a medie profondità; il metodo viene studiato in molti paesi per cercare di renderlo più economico e di più facile utilizzo. In Italia è in funzione il complesso geotermoelettrico di Larderello, con $\sim 400 \text{ MWe}$ di potenza. Sono stati installati moltissimi impianti per usi termici non elettrici (vedi esempio in Fig. 12b) [11].

Sistemi ibridi. Pompe di calore. Questi sistemi non sono fonti di energia, ma consentono di razionalizzare i cicli energetici e ottimizzare lo sfruttamento delle fonti primarie. Le *pompe di calore* funzionano come un frigorifero, ma non sottraggono calore al sistema che si vuole raffreddare; sottraggono calore all'ambiente esterno e cedono tale calore a più alta temperatura al sistema che si vuol riscaldare (per es. una casa in inverno connettendo la pompa di calore al sottosuolo, vedi Fig. 12b). Il sistema ha bisogno di energia elettrica, per funzionare; globalmente si ha un miglioramento dell'efficienza. Le pompe di calore sono anche usate per raffreddare case in estate [10].

5. Energia elettrica

L'*energia elettrica* è una forma intermedia di energia. Viene prodotta in centrali termoelettriche (bruciando olio combustibile, gas o carbone), in centrali idroelettriche e nucleari; quantità più piccole sono prodotte dal vento e da pannelli solari fotovoltaici e termici; in Italia vi sono anche le centrali geotermiche di Larderello. L'efficienza di conversione dei combustibili fossili in energia elettrica ha subito un continuo miglioramento: le nuove centrali funzionano a temperatura più elevata, sono diventate più grandi, meno inquinanti e più sicure. Globalmente l'efficienza è $\geq 40\%$: la si può quasi raddoppiare se si sfrutta il calore a bassa temperatura fornito dalle centrali, per es. riscaldando edifici in inverno e raffreddandoli in estate. La Fig. 13 mostra la produzione di energia elettrica in Italia nel 2004 per fonte rinnovabile (in %): il maggior contributo è dato dall'idroelettrico, seguito da geotermico e biomasse; contributi minori vengono da eolico e fotovoltaico. Nella Fig. 14 sono indicati per ciascun paese europeo, i prezzi dell'energia elettrica, incluse le imposte, per usi domestici, (in euro/KWh) per consumi annui compresi fra 2500 e 3500 kWh. Il prezzo italiano nel secondo semestre del 2007 (22.95 euro/KWh) è superiore al prezzo medio europeo (14.20 euro/KWh) [12]. Anche il prezzo finale al lordo delle tasse per i consumatori industriali italiani (9.42 euro/KWh) è superiore al prezzo medio europeo (8.86 euro/KWh). L'elevato prezzo italiano dell'energia elettrica risulta principalmente dall'uso di un mix di combustibili costosi per produrla (petrolio e gas) e dalla notevole importazione (vedi tabella 1).

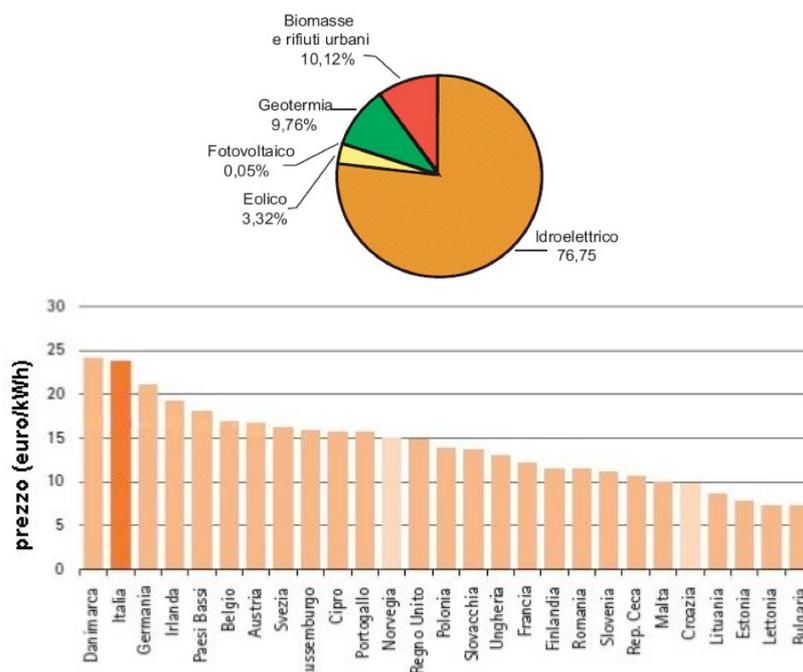


Fig. 13. Produzione di elettricità in Italia nel 2004 per fonte rinnovabile (in %).

Fig. 14. Prezzi (euro/kWh) dell'energia elettrica per usi domestici, imposte incluse, per consumi annui fra 2500 e 5000 kWh/a.

E' interessante notare che l'uso dell'energia elettrica da energia solare e dal vento, soggette a variabilità, ben si raccorda con l'uso di centrali (nucleari o altre) che invece sono ottimizzate per continuità di utilizzo.

L'energia elettrica è facile da trasportare attraverso reti integrate; dopo il trasporto l'energia elettrica viene trasformata per utilizzarla come energia meccanica, termica, luminosa, chimica, ecc. L'energia elettrica gioca un ruolo centrale, forse più importante delle altre forme di energia: si pensi al suo uso capillare in tutti i settori e alla versatilità di utilizzo⁵. Occorre produrre energia elettrica al momento della domanda: c'è quindi il problema di far fronte all'aumento della richiesta e soddisfare la richiesta nelle ore di punta (in Italia: dalle 9 alle 11 e dalle 16 alle 18). In queste ore vengono messe in funzione altre centrali, si produce energia idroelettrica facendo defluire acqua da un bacino superiore ad uno inferiore, ecc.

Combustibile	1973	2005
Carbone	45.5%	49.7%
Nucleare	4.5%	19.3%
Gas	18.3%	18.7%
Idroelettrico	14.8%	6.5%
Olio combustibile	16.9%	3.0%
Altri	0.1%	2.7%

Tabella 2. Mix di fonti di energia primaria utilizzati per produrre energia elettrica negli Stati Uniti nel 1973 e nel 2005 [9] (Nel 2005 la produzione di energia elettrica negli USA è stata molto superiore a quella del 1973).

Per il futuro si prevede che la domanda di energia elettrica avrà il più alto tasso di crescita: si pensa che il consumo mondiale raddoppierà nei prossimi 20 anni. La Tabella 2 mostra il "mix" di fonti primarie usate per produrre energia elettrica nel 1973 e 2005 negli USA: si noti il lieve aumento in percentuale nell'uso del carbone, che la metà dell'energia elettrica proviene dal carbone; notare l'aumento della fonte nucleare (dovuto a miglioramenti nell'efficienza di utilizzo), la stabilità nell'uso del gas, il decremento percentuale dell'idroelettrico, la diminuzione di olio combustibile e l'aumento da fonti rinnovabili.

⁵ Mi sono trovato nel mezzo del black-out di New York nel 1965: sembrava essere sparita la vita civile!

6. Energia Nucleare

L'energia nucleare può essere utilizzata in reattori a fissione e nei futuri reattori a fusione. Nelle reazioni di **fissione nucleare** un neutrone provoca la rottura di un nucleo atomico pesante in due o più frammenti nucleari più leggeri, la produzione di due o più neutroni e la liberazione di molta energia sotto forma di energia di movimento dei nuclei atomici e dei neutroni [13]. Sono attualmente in funzione nel mondo 439 reattori nucleari a fissione che producono il ~17% dell'energia elettrica. In Europa (EU-27) sono in funzione 151 reattori che producono il 43% dell'energia elettrica [13] [fonte IAEA]. La Francia (59 reattori) e il Giappone (55 reattori) puntano a risolvere il loro fabbisogno di energia elettrica con reattori nucleari e con fonti rinnovabili (la Francia ha già raggiunto lo scopo (76% da nucleare), il Giappone vi si sta avvicinando). Il combustibile nucleare è per ora l'uranio U^{235} che costituisce meno dell'1% dell'uranio naturale. Il costo del combustibile nucleare rappresenta circa il 15% del costo del chilowattora prodotto, mentre in una centrale a



Fig. 15. (a) Le centrali nucleari finlandesi di Olkiluoto: sulla destra i reattori operativi da tempo, sulla sinistra il reattore di 3^a generazione europeo ad acqua pressurizzata (EPR) da 1600 MWe. (b) Schema di un EPR ad acqua pressurizzata.

olio combustibile il costo del combustibile supera il 50% del costo finale. I reattori attualmente in costruzione (giugno 2008) sono 36, di cui 7 in Cina, 6 in India e 7 in Russia, 3 in Korea del Sud, 1 in Iran, ... Sono programmati molti altri reattori, in particolare in Cina, India, Giappone, Russia, e Brasile, ... Altri sono proposti in vari paesi fra cui Ucraina e Sud Africa. (fonte IAEA).

I reattori nucleari ora usati sono delle cosiddette 2^a e 3^a generazione; sono nella fase finale di costruzione due reattori della 3^a generazione (in Francia e in Finlandia, Fig. 15) e altri in Cina e India, su licenza francese e/o USA. I futuri reattori della 4^a generazione sono programmati da un vasto consorzio internazionale; saranno più efficienti, includeranno reattori autofertilizzanti e reattori per scopi specifici, avranno quantità di scorie radioattive molto inferiori, l'uso del Th permetterà di eliminare le scorie a lunga vita media, produrranno anche gas idrogeno e saranno ancora più sicuri e socialmente più accettabili; saranno anche usati per la desalinizzazione dell'acqua marina e i progettisti sono molto attenti ai mercati orientali. Le scorte di U^{235} non dovrebbero durare più di ~80 anni. Usando reattori a neutroni veloci autofertilizzanti⁶ oppure iniettati con acceleratori si potrà usare l' U^{238} e il Th^{232} . Il Th^{232} è circa tre volte più abbondante dell' U^{238} ; questi combustibili potrebbero essere sufficienti per migliaia di anni. (Sorprensamente nella stampa non si parla quasi mai di queste possibilità).

Il problema delle scorie radioattive a lunga vita media è un problema importante e molte nazioni stanno investendo in ricerca e sviluppo. Diversi Paesi, fra cui USA, Francia e Russia, hanno messo a punto processi di ritrattamento del combustibile spento che ne abbattano i volumi prima di un eventuale stoccaggio in zone geologiche stabili. Inoltre vi sono molti studi e test per incorporare questo materiale nel combustibile per reattori veloci e/o reattori veloci iniettati da acceleratori che producono nuovo combustibile ed abbattano fortemente le scorie ad alta attività e

⁶ Il Th^{232} è particolarmente abbondante in India. Il Th ha bisogno di U^{235} parzialmente arricchito per iniziare a funzionare. Bruciando il Th non si formano scorie radioattive a lunghissima vita media. Con il Th^{232} è molto difficile se non impossibile fabbricare bombe nucleari.

a lunga vita media. La Russia usa un piccolo reattore veloce per bruciare le bombe al plutonio ⁷; sta terminando la costruzione di un reattore analogo ma più potente per proseguire la distruzione di tutte le sue bombe al plutonio. La riduzione delle scorie a vita media lunga è parte del programma dei reattori di 4^a generazione. Le scorie a lunga vita media potrebbero essere distrutte con reattori iniettati da acceleratori (ADS, Accelerator Driven Systems) che producono anche energia (EA, Energy Amplifiers) [14].

Vanno anche considerati i rischi legati alla *proliferazione di armi nucleari*. La riduzione di tali rischi è legata alla firma del trattato di non proliferazione da parte di tutti i paesi, in particolare di quelli che vogliono costruire centrali nucleari a fissione. E' poi importante dare maggior potere e responsabilità all'IAEA, vedi ref. 13.

C'è attualmente una vivace discussione sul ritorno al nucleare in Italia. Chicco Testa, originariamente un oppositore del nucleare, dice che vi sono almeno quattro ragioni per ritornare ora al nucleare: 1. Il mondo vuole energia per uscire dalla povertà. 2. Diventa sempre più importante liberarsi dai combustibili fossili; le fonti rinnovabili non sono ancora energie alternative. 3. L'energia nucleare non produce gas ad effetto serra. 4. questi gas sono pericolosi anche per la salute.

L'ENEL sta ingaggiando parecchi ingegneri nucleari italiani per le sue centrali nucleari all'estero; forse sarebbe opportuno avere questo tipo di "lavoro qualificato" anche in Italia; ma bisognerebbe che la scelta di tornare al nucleare fosse "bipartisan", nel senso più ampio del termine, per meglio trovare le risorse economiche per tornare al nucleare e per evitare sprechi quali quelli fatti nello spegnimento delle centrali circa 20 anni fa (si sono "buttate via" varie decine di migliaia di miliardi delle vecchie lire ed è stato distrutto il patrimonio umano di fisici ed ingegneri nucleari). Il ritorno potrebbe iniziare con una o più centrali di 3^a generazione preparandosi per i reattori di 4^a generazione (vedi studio 2008 della Società Italiana di Fisica, Ref. 1). Il futuro mondiale del nucleare dipenderà principalmente dai grandi paesi orientali, Giappone, Corea, Cina e India, che hanno programmi più o meno grandiosi in proposito.

L'altra sorgente di energia del futuro è quella da **fusione nucleare**. Le reazioni di fusione nucleare al centro del sole trasformano quattro nuclei di idrogeno in un nucleo di elio, producendo una grande quantità di energia. Per i futuri reattori nucleari a fusione il combustibile dovrebbe essere deuterio, cioè l'idrogeno pesante (H^2) e il trizio (H^3 , t) : $d+t \rightarrow He^4 + n$. Con queste centrali non ci sarebbe problema di combustibile: il deuterio esiste nell'acqua del mare in piccola percentuale, ma in quantità talmente grande che porta a pensare a un combustibile di durata indefinita. Il trizio, verrà prodotto nel "mantello" del reattore. Nelle centrali a fusione verrebbero prodotti energia elettrica, idrogeno gassoso (per elettrolisi dell'acqua, oppure per "cracking" delle molecole di acqua ad alta temperatura) e calore a bassa temperatura. Il futuro grande *reattore a fusione a confinamento magnetico* ITER è un grande progetto che verrà realizzato in Francia da un consorzio mondiale che comprende Europa, Cina, India, USA, Giappone e Corea del Sud. I reattori a *fusione a confinamento inerziale* con lasers, sono studiati a livello delle singole nazioni. Vi sono ancora molte difficoltà tecniche per progettare e costruire reattori a fusione, sia del tipo a confinamento magnetico che quelli inerziali. Il tempo per raggiungere lo scopo (la fattibilità) dovrebbe essere di alcune decine di anni ⁸.

7. Risparmio energetico.

Si invoca spesso la necessità di effettuare risparmi energetici. E' chiaro che occorre farli, ma ciò può comportare dei sacrifici, che non tutti sono disposti a fare ⁹. Lo sviluppo della tecnologia ha

⁷ L'accordo USA-Russia "Megatons to MegaWatts" ha permesso di "bruciare" in reattori nucleari circa 20000 testate nucleari producendo energia. Alla fine del 2007 un supplemento di accordo ha riguardato il bruciamento di tutte le bombe nucleari al plutonio. La Russia le brucierà in un reattore a neutroni veloci, che ridurrà anche le scorie a lunga vita media e produrrà molto combustibile. Una parte del ricavato andrà in progetti di sviluppo nel sud del mondo.

⁸ Ci sono parecchi studi ed esperimenti sulla fusione fredda, con risultati ancora non molto riproducibili.

⁹ A questo proposito, mi sovviene un fatto avvenuto all'Università di Bologna alcuni anni fa, all'epoca della contestazione. Alla fine di un seminario sull'energia si alzò una studentessa che fece una brillante critica alla società dei consumi e si scagliò contro gli sprechi energetici. Fu l'ultima a parlare, uscì soddisfatta, andò a prendere la sua

portato e porta a notevoli risparmi, ma occorre individuare i risparmi che non incidono sul tenore di vita. Nel medio termine, il risparmio energetico rappresenta un'altra fonte di energia [4] [6].

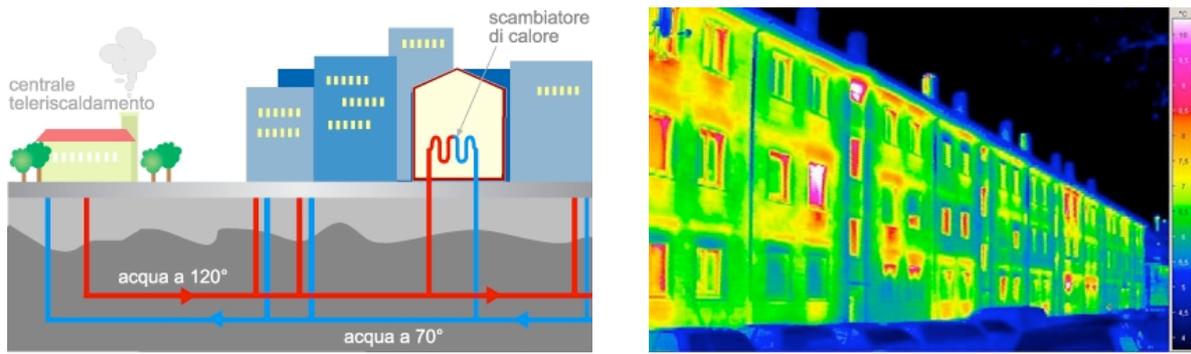


Fig. 16 (a) Schema di teleriscaldamento. (b) Termografia a raggi infrarossi: nelle zone più chiare si perde calore.

Miglioramenti nella produzione di energia

Gas dai pozzi petroliferi. Nel passato, il gas che fuoriesce dai pozzi petroliferi veniva bruciato ai pozzi:

dallo spazio si vedevano queste sorgenti luminose, specie in Arabia. Ora si cerca di utilizzare in modo sistematico tutto il gas che esce dai pozzi, trasportato tramite gasdotti e navi metaniere. Diverse nazioni hanno aumentato l'uso del gas naturale, che è meno inquinante degli altri combustibili fossili.

Trasporto dell'energia. Una certa quantità di energia viene spesa per il trasporto della stessa dal luogo di produzione a quello di utilizzo. Per il trasporto di petrolio e carbone si tratta di ottimizzare i percorsi di navi e autocisterne, utilizzare navi di dimensioni appropriate, ecc. Per l'energia elettrica vanno ridotte le perdite nelle grandi linee di trasmissione alzando il voltaggio. In Italia si è passato da 147 kV ai 1000 kV attuali.

Miglioramento delle efficienze nelle centrali elettriche: c'è stato un miglioramento costante: ora occorre cercare di usare l'acqua calda prodotta per riscaldare (raffreddare) edifici, serre, ecc, vedi Fig. 16a.

Miglioramenti nell'uso dell'energia

Miglioramenti delle efficienze. Nel 1879 T. Edison riuscì a far funzionare per 40 ore una lampadina con filamento di carbone. Da quel momento inizia una corsa per portare la luce nelle case e nelle strade, sostituendo le vecchie lampade ad olio. E' stata poi migliorata l'efficienza delle sorgenti luminose (e di ogni elettrodomestico) passando a nuove lampade più efficienti, di maggior durata e di minor consumo.

Spegnere lampadine, TV, registratori, e le loro "lucine" di avviso nei momenti in cui non sono usati.

Edilizia solare. Riscaldamento domestico. E' in questo campo che si potranno avere i risparmi più significativi, anche se occorrono tempi lunghi. Per risparmiare energia nel riscaldamento delle abitazioni è importante migliorare l'isolamento termico tramite materiali isolanti nelle intercapedini dei muri, mettendo doppi vetri, isolando i tubi dell'acqua calda, ecc. Per le nuove case è opportuno avere progetti per l'isolamento termico, per l'orientamento rispetto al sole, e per l'uso appropriato di *pompe di calore*. Gli impianti comuni per il riscaldamento hanno un maggior rendimento rispetto a quelli separati. Abbassando anche di poco la temperatura degli ambienti, si ottiene un notevole risparmio energetico. Un altro risparmio si ottiene utilizzando l'acqua calda a "bassa temperatura" proveniente dalle centrali elettriche, vedi Fig. 16a [6]; notare in Fig. 16b la foto a raggi infrarossi che permette di determinare dove le abitazioni perdono calore.

Trasporti. Auto. I costruttori hanno fatto molto per ridurre il consumo delle auto, riducendo il loro peso, migliorandone la forma aerodinamica, la combustione, ecc. Per risparmiare ulteriormente occorrerebbe evitare brusche accelerazioni, frenare con il motore e ridurre la velocità di crociera.

auto...sportiva di lusso e partì con una forte accelerazione: ...non si era resa conto che anche la sua auto sportiva, con partenze brucianti, poteva rappresentare uno spreco, e che non solo "gli altri" dovevano risparmiare, ma anche lei.

Applicazioni dell'energia solare in agricoltura. Vi sono buone prospettive per molte applicazioni dell'energia solare in agricoltura. Un uso appropriato delle serre calde dovrebbe far aumentare i rendimenti e razionalizzare varie colture. L'uso di pannelli solari termici può fornire l'energia necessaria per essiccare i prodotti agricoli.

8. Energia, ambiente e salute. Effetto serra

L'utilizzo di una qualsiasi fonte di energia porta ad un qualche impatto sull'ambiente. Il clima terrestre è determinato dal bilancio energetico tra la radiazione solare incidente e quella riemessa verso lo spazio. L'energia solare incidente ha un massimo a lunghezze d'onda corrispondenti alla luce visibile; una frazione dell'energia incidente viene riemessa nello spazio con un massimo a lunghezze d'onda corrispondenti all'infrarosso. L'atmosfera è essenzialmente trasparente alla luce visibile e assorbe la radiazione infrarossa che resta pertanto intrappolata nell'atmosfera. Se non vi fosse l'atmosfera la temperatura media di equilibrio della superficie terrestre sarebbe di circa 15° C, mentre il valore misurato è di circa 30° C: è questo l'**effetto serra**. In realtà i processi che avvengono nell'atmosfera sono molto complicati. I gas che assorbono di più la radiazione infrarossa (detti *gas serra*), sono il vapore d'acqua, la CO₂, l'ozono, il metano e altri. La maggiore attenzione si concentra sulla CO₂ che viene emessa bruciando legno, carbone, petrolio e gas. Dal 1980 al 1995 la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è aumentata da 300 parti per milione (ppm) a 360 ppm. Sembra che ciò abbia portato a un aumento della temperatura terrestre di circa 1° C tra il 1860 e il 1995: una frazione di questo aumento è dovuta all'uomo. Si sta studiando la possibilità di "sequestrare" la CO₂ in depositi geologici profondi: bisogna fare attenzione perchè in natura ci sono casi di emissioni naturali di CO₂, di metano e altri gas nocivi per l'ambiente e la salute. Sono state espresse preoccupazioni sul fatto che le attività umane possano esaltare l'effetto serra, con ripercussioni sulla temperatura e sul clima globale, anche se molti ritengono che l'effetto principale sia di tipo naturale, come si è spesso verificato in passato.

E' assodato che nelle popolazioni con maggiori consumi energetici si abbia avuto un miglioramento del tenore e della qualità della vita, con una riduzione della mortalità infantile, un allungamento della vita media e altri miglioramenti (ma vi sono anche più persone in soprappeso!). L'introduzione del riscaldamento nelle abitazioni ha fatto scomparire alcune malattie (per esempio i "geloni", un ingrossamento delle dita delle mani che affliggeva molti italiani in inverno) e ridotto la possibilità che altre diventino pericolose per la salute. Per quanto riguarda l'inquinamento ambientale e gli effetti sulla salute ricordiamo l'inquinamento dal trasporto su ruote con l'emissione di gas nocivi, e i tanti incidenti dovuti al traffico che portano a rischi sanitari immediati e/o indiretti. Ricordiamo inoltre: (i) Rottura di dighe, per es. la diga del Vajont (disastro



Fig. 17. Un "riassunto" di alcune "difficoltà" incontrate in Italia; quasi tutte sono manifestazioni del cosiddetto *effetto NIMBY*, "Not In My BackYard" (Non nel mio giardino).

dovuto alla frana di una montagna) nel 1963. (ii) Incidente a un reattore nucleare nel 1986. (iii) Incidenti nel trasporto con petroliere. (iv) Incidenti in miniere di carbone.

9. Sviluppo sostenibile

La nozione di sviluppo sostenibile è apparsa per la prima volta in un rapporto delle Nazioni Unite nel 1980 ed è diventata di uso comune circa 10 anni dopo. La “Dichiarazione di Rio de Janeiro “sull’ambiente e lo sviluppo” del 1992 definisce in 27 principi quello che deve essere universalmente inteso come “sviluppo sostenibile”; il Principio n.1 recita: “Gli esseri umani sono al centro delle preoccupazioni relative allo sviluppo sostenibile. Essi hanno diritto ad una vita sana e produttiva in armonia con la natura”. Tale diritto “deve essere realizzato in modo da soddisfare equamente le esigenze relative all’ambiente e allo sviluppo delle generazioni presenti e future” (Principio n. 3). L’“Agenda 21” indicava le priorità del programma di sviluppo dei 183 Paesi sottoscrittori, in 100 aree di intervento. Il documento è improntato al principio della globalità della questione ambientale ed alla integrazione tra ambiente e sviluppo.

La riduzione degli effetti ambientali dai cicli energetici richiede di aumentare il loro rendimento, privilegiare i combustibili “poveri” in carbonio e le fonti rinnovabili, migliorare il risparmio energetico, controllare i tassi di crescita senza compromettere la disponibilità delle risorse, controllare il fattore demografico. Le Nazioni Unite hanno discusso in varie conferenze l’effetto serra e lo sviluppo sostenibile. Gli elementi che rendono critico dal punto di vista della sostenibilità il processo energetico globale sono: l’esauribilità delle fonti fossili, il possibile riscaldamento terrestre, l’inquinamento atmosferico, la mancanza di equità nella distribuzione e uso dell’energia.

Sono stati anche fissati dei limiti per le emissioni di CO₂: è difficile che l’Italia riesca a mantenere gli impegni presi e dovrebbe pagare forti multe o acquistare molti “buoni verdi”. La Francia se la caverà perchè le sue centrali nucleari sono state dichiarate a posto dall’Unione Europea perchè non emettono CO₂.

Dalla considerazione della limitatezza delle risorse e dell’ineliminabilità delle perturbazioni ambientali, deve derivare una consapevolezza culturale, volta ad acquisire non solo l’elevazione del livello di benessere, ma anche la garanzia che le generazioni future ed i popoli emergenti possano disporre di un habitat e di beni naturali tali da assicurare loro adeguate condizioni di vita e di sviluppo [15].

10. Economia all’idrogeno

Bruciando idrogeno in aria si ottiene acqua, una sostanza che non inquina. Si è quindi pensato di utilizzare centrali per produrre energia elettrica e idrogeno gassoso (per elettrolisi dell’acqua o per cracking ad alte temperature). In una “*economia all’idrogeno*” potrebbero esserci grandi centrali localizzate in luoghi lontani dai centri abitati e l’idrogeno prodotto potrebbe essere inviato in gasdotti, oppure idrogeno prodotto in piccole centrali e per via fotochimica; ma attenzione: l’idrogeno è un gas infiammabile pericoloso. Occorre molta attività di ricerca tecnologica per sviluppare veramente un’economia all’idrogeno.

Nelle *pila a combustibile* si brucia idrogeno con ossigeno producendo acqua, elettricità e calore [10]. Sono quindi a basso impatto ambientale, e possono essere molto efficienti. Una pila a combustibile necessita di un comburente (ossigeno, aria) e di un combustibile (idrogeno e/o idrocarburi); non è quindi una sorgente primaria di energia, ma tali pile sono utili per ridurre le emissioni di gas serra e possono essere alternative alle macchine termiche per produrre elettricità con alta efficienza e basso inquinamento. L’idrogeno gassoso può essere sostituito da acidi solidi, che eliminano il problema del trasporto.

11. Il rischio e la sua percezione

La scelta e la collocazione di una centrale elettrica è anche basata sulla valutazione del rischio sanitario ed ambientale che tale insediamento comporta. Tale valutazione può essere fatta agevolmente là dove la frequenza dell’evento, che è la causa del rischio, è piuttosto elevata (per esempio per gli incidenti stradali); più difficile è valutare il rischio di un evento molto raro, ma dalle conseguenze catastrofiche (ad esempio: scontro di due aerei, incidente in una centrale nucleare, rottura di una diga, ecc.) [3]. Nel caso di tecnologie nuove o di eventi molto rari, la valutazione del rischio è difficile; questo accade in particolare quando la probabilità dell’evento è molto bassa, dell’ordine di 10⁻⁶ e 10⁻⁷/anno. Ma l’atteggiamento più diffuso nella popolazione è quello di valutare il rischio istintivamente. Spesso tali “*percezioni del rischio*” sono diverse dai valori reali. C’è una

tendenza a sottovalutare alcuni rischi come il fumo, le auto, le attività domestiche e l'elettricità, mentre si tende a sopravvalutare altri rischi, come quelli provenienti da qualsiasi tipo di centrale, specie quelle nucleari [16]. Spesso i "mass media", che preferiscono il sensazionalismo alla più "grigia" correttezza dell'informazione, contribuiscono a tale percezione. Diventa spesso difficile convincere la popolazione per installare un qualsiasi tipo di centrale nel suo territorio: tale difficoltà è particolarmente grande e generalizzata in Italia, vedi le illustrazioni in Fig. 17. Si parla di *effetto Nimby* (Not in my backyard). Si ricordino le difficoltà incontrate per localizzare i siti per gli inceneritori, quelle che ancora si incontrano per le piccole centrali a biomassa (es. nell'Emilia-Romagna e Marche: centrali approvate a livello regionale e provinciale, rifiutate a livello locale), le proteste per i rigassificatori, ecc. Se non riusciremo a ridurre tali problemi avremo ulteriori difficoltà, perderemo "molti treni" e potremmo correre i rischi di un paese quasi in declino. Sembra che abbiamo quasi dimenticato che il continuo sviluppo tecnologico permette di fabbricare molte cose che prima era difficile fare.

Per valutare i *rischi ambientali e sanitari*, si va alla ricerca di parametri e dei loro valori numerici che costituiscano il limite di separazione fra una qualità accettabile ed una inaccettabile. Di questi numeri si ha, in molti casi, una conoscenza scarsa che porta talvolta a battaglie "ecologiche" e ad esasperare i progettisti e gli amministratori che vengono costretti a rispettare livelli di qualità al limite dell'impossibile, anche se i "veri problemi dell'ambiente" sono da ricercarsi altrove. Si fa uno sforzo per determinare i migliori limiti dei parametri sanitari e ambientali, senza dimenticare di considerare non solo il rischio valutato su base scientifica, ma anche la percezione che di tale rischio hanno gli individui che compongono la società.

12. Conclusioni. Prospettive.

La situazione energetica italiana, europea (e mondiale) e le relazioni con l'ambiente e la salute sono state analizzate in moltissime conferenze e rapporti di varie Istituzioni Nazionali ed Internazionali. Le necessità energetiche dovrebbero essere affrontate con programmi realistici sia per il medio che per il lungo termine. Non esiste una sorgente unica di energia che risolva il problema energetico; dobbiamo usare tutte le fonti energetiche a disposizione ed eventualmente "inventarne" delle nuove. In maggior dettaglio:

1. Sviluppare programmi energetici nazionali nell'ambito dei problemi di ecosostenibilità¹⁰ e di fattibilità.
2. **Potenziare i programmi di miglioramento dell'efficienza** di qualsiasi forma di energia. In molti casi una migliore efficienza può essere considerata una nuova risorsa energetica.
3. Potenziare ed incentivare l'attività di ricerca energetica.
4. **Utilizzare tutte le forme di energia disponibili, economicamente valide**, cercando di risolvere ed eliminare rapidamente tutte le obiezioni illustrate nella Figura 17.
5. Ridurre la dipendenza dai combustibili fossili.

Questi programmi dovrebbero essere legati all'aumento demografico e alla richiesta delle parti più deboli della popolazione di ottenere un maggior benessere. Dovrebbero anche essere legati ai costi economici di ogni fonte energetica; tale legame può da un lato portare a dei risparmi, ma potrebbe portare a dei problemi per i nostri discendenti se non vengono collegati con appropriate forme di incentivazione per i programmi a lungo termine. In Italia ci sono molte attività di ricerca in tutti i campi; ma non c'è un vero piano energetico nazionale; si può dire che poco è stato fatto e del poco programmato poco è stato rispettato. Speriamo che l'ingegnosità italiana ci aiuti e... ci salvi.

Questa lezione è stata preparata quando il prezzo del petrolio cresceva e sembrava non aver limiti superiori. Ma poi è iniziata la crisi finanziaria, quindi quella economica con un rallentamento dell'economia e una forte riduzione dei prezzi del petrolio (Fig. 5). Ci si chiede come tutto questo si rifletta sul problema energetico. E' difficile dare una risposta. A prima vista dovrebbe rallentare la ricerca e sviluppo di nuovi pozzi petroliferi, in particolare a grandi profondità, e di sorgenti di petrolio non convenzionale (vedi pg. 3 e nota 3). Ci potrebbe anche essere una riduzione di investimenti nelle più costose energie rinnovabili. Ma siccome tutti i governi cercheranno forme di riduzione della disoccupazione, ci potrebbero essere grossi programmi nazionali per ridurre la disoccupazione, aiutare certe forme di energie rinnovabili (per es. il solare e l'eolico) e prevedere investimenti speciali nella ricerca energetica.

¹⁰ E' difficile che i paesi emergenti si preoccupino subito di ecosostenibilità; lo faranno solo in un secondo tempo.

Ringraziamenti

Ringrazio molti colleghi per suggerimenti e spiegazioni, in particolare V. Balzani, L. Bruzzi, S. Cecchini, F. Casali, A. Lanza e molti altri. Ringrazio le dott.sse Anastasia Casoni, Maddalena Errico e Miriam Giorgini per l' aiuto tecnico.

Bibliografia

- [1] F. Casali, *Energia pulita: quale?*, Cappelli Ed., 1987.
P. Angela e L. Pinna, *La sfida del secolo*, Mondadori Ed., ISBN 88-04-56071-1, 2006.
N. Armaroli e V. Balzani, *Energia oggi e domani: prospettive, sfide, speranze*. Bononia Univ. Press, 2004.
“*Energia in Italia: problemi e prospettive (1990-2020)*”, Studio della Società Italiana di Fisica (SIF), 2008.
- [2] N. Armaroli e G. Balzani, *Gli schiavi energetici*, Rivista KOS, n. 243, dicembre 2005;
<http://www.scienzagiovane.unibo.it/letture/KOS.pdf>
- [3] Workshop “*L'uomo e l'ambiente: rischi e limiti di accettabilità*”, Sogesta, Urbino, 1993, Fondazione ENI Enrico Mattei, Pitagora Ed., 1994, ISBN 88-371-0692-0. Vedi: G. Campagnola e C. Palumbo, *La produzione di energia dai rifiuti*; R. Mazzucchelli, *La tutela dell'ambiente e il trasporto di idrocarburi*; L. Bruzzi et al., *Considerazioni conclusive*.
S. Lombardini e R. Malamon, *Rifiuti e ambiente*, Il Mulino, ISBN 88-15-04191-5 (1993).
- [4] A. Clo, *Energia e Tecnologia*, Editrice Compositori, ISBN 88-7794-483-8, 2004.
A. Clo, *Il rebus energetico. Tra politica, economia e ambiente*, Il Mulino, ISBN 978-88-15-11514-0, 2008.
- [5] British Petroleum (BP), *Statistical Review of World Energy 2007 e 2008*: <http://www.bp.com/>
US Department of Energy: “*Energy, sources and production*”:
<http://www.energy.gov/sources/index.html>
Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA), <http://www.enea.it>, *Rapporto Annuale 2008*.
International Energy Agency (IEA): <http://www.iea.org/>; *World energy outlook 2007*.
- [6] L. Bruzzi e S. Verità “*Il risparmio energetico*”: <http://www.scienzagiovane.unibo.it/risparmio-energetico.html>
- [7] <http://www.aspoitalia.net/documenti/bardi/petrolioitalia.html>
http://www.enel.it/attivita/novita_eventi/energy_views/archivio/
- [8] Pannelli solari : http://it.wikipedia.org/wiki/Pannello_solare
Pannelli solari : <http://www.scienzagiovane.unibo.it/pannelli.html>
Million roofs in USA: <http://www.eren.doe.gov/millionroofs>
- [9] The photovoltaic Centre of Excellence, Australian Research council, rapporto 2007
I centri Fraunhofer in Germania : <http://www.ise.fhg.de/>
D. Coiante, *Il fotovoltaico di terza generazione* :
<http://ricchezza-fotovoltaico.jujol.com/2008/02/23/il-fotovoltaico-di-terza-generazione-di-domenico-coiante/>
- [10] http://it.wikipedia.org/wiki/Pila_a_combustibile ,
http://it.wikipedia.org/wiki/Pompa_di_calore
- [11] M. H. Dickson, M. Fanelli, *Cos'è l'energia geotermica* :
<http://iga.igg.cnr.it/documenti/geo/Geothermal%20Energy.it.pdf>
- [12] Autorità per l'energia elettrica e il gas : *Relazione Annuale 2008*,
http://www.autorita.energia.it/relaz_ann/relaz_annuale.htm
- [13] International Atomic Energy Agency, *Nuclear Reactors*, : <http://www.iaea.org>.
- [14] Proposte di reattori nucleari con preacceleratore
http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_amplifier
TRASCO: TRAsmutazione SCOrie : <http://192.107.61.51/ADS/frame.html>
- [15] L. Bruzzi, V. Boragno, S. Verità, *Sostenibilità ambientale dei sistemi energetici. Tecnologie e Normative*. Rapporto ENEA, ISBN 88-8286-164-8 (2007).
- [16] P. Volpe, *Rischio reale e rischio percepito*, Sapere, Aprile 1996, pg. 44.
G. Giacomelli e R. Giacomelli, *...No grazie!... La sindrome Nimby in Italia*.