



scienza attiva[®]

La sfida per l'energia del futuro

Gianluca Alimonti

INFN Sez. di Milano e
Dipartimento di Fisica, Università
degli Studi di Milano

La sfida per l'energia del futuro

Attualmente oltre l'80% del consumo globale di energia primaria, come mostrato in figura 1, è soddisfatto dalle fonti fossili [1], che ricoprono circa l'85% dell'incremento della domanda di energia degli ultimi 10 anni: di questo incremento il carbone da solo ne soddisfa quasi la metà [2] mentre il petrolio, che rimane pur sempre la fonte primaria di maggior utilizzo al mondo e dal quale i trasporti dipendono quasi unicamente, sta gradualmente lasciando spazio al gas nella produzione termoelettrica. Dal 1990 la produzione mondiale di carbone è quasi raddoppiata.

La disponibilità delle fonti fossili è alla base dello sviluppo della nostra società che inizia però a rendersi conto dei limiti di questo sistema: l'esaurimento delle risorse e l'impatto ambientale che la combustione di queste comporta. Anche se recenti sviluppi sembrano allontanare nel tempo il picco della produzione del petrolio che alcuni modelli prevedevano in questi anni, non dobbiamo scordarci che le riserve non sono infinite. Inoltre, vi sono recenti studi che evidenziano come la combustione degli idrocarburi causi gravi malattie, sia il principale responsabile dell'inquinamento del pianeta e, anche se argomento scientificamente ancora non del tutto definito, sembri essere una delle cause del riscaldamento del pianeta.

Tra le possibili soluzioni vi sono sicuramente le fonti rinnovabili, l'energia nucleare, sia da fissione che da fusione, ed infine, ma non meno importante, l'efficienza energetica nella produzione ma anche nell'utilizzo di energia.

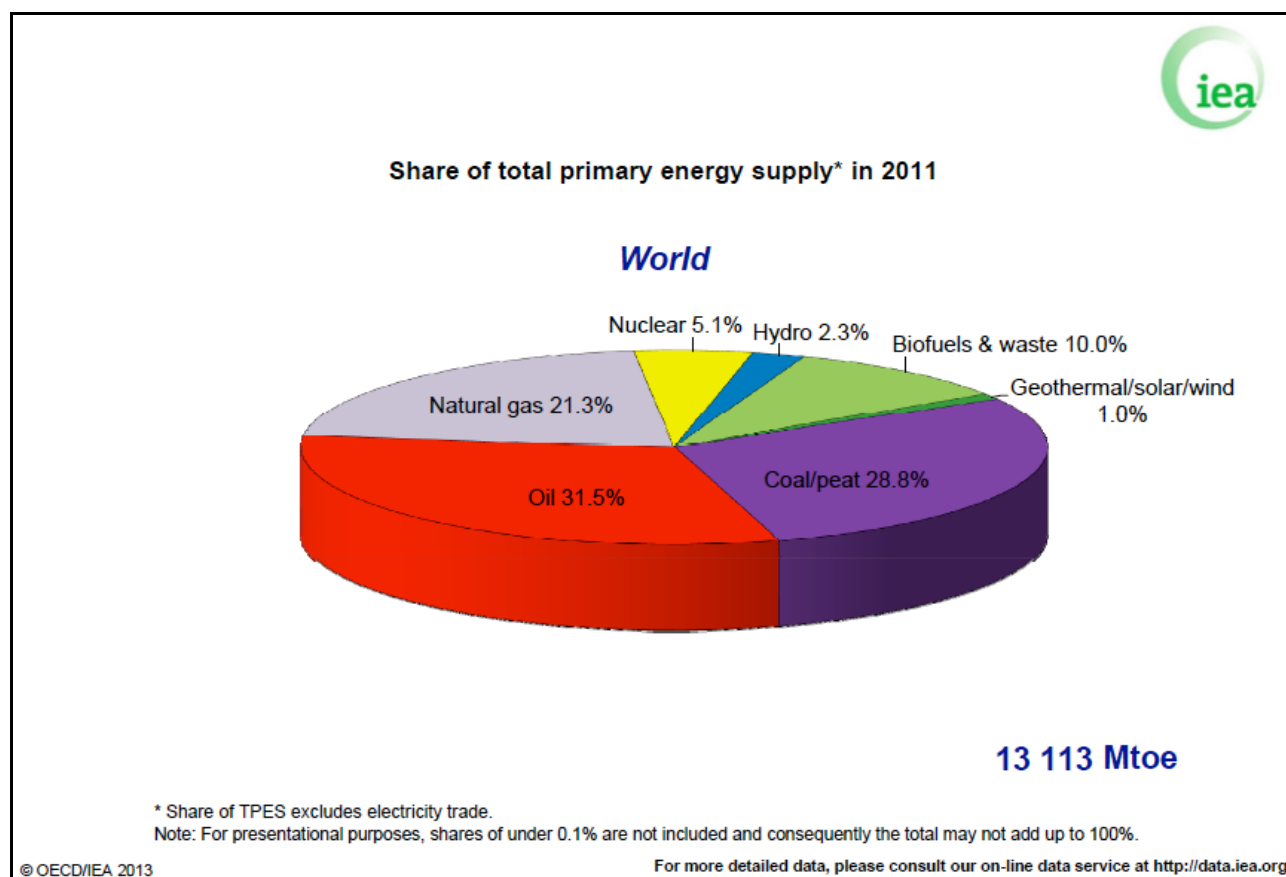


Figura 1: suddivisione per fonti primarie del fabbisogno energetico mondiale.

Tornando per un momento alla valutazione delle riserve, la IEA (Agenzia Internazionale dell'Energia) tiene a sottolineare che il petrolio è e rimarrà nei prossimi anni la fonte energetica vitale a livello mondiale ed è pertanto essenziale assicurarne la garanzia delle forniture. Per rispondere alle richieste, il mercato dell'energia dovrà procedere ad estendere le esplorazioni e coltivazioni di giacimenti petroliferi, realizzare gli impianti di liquefazione del gas naturale e di rigassificazione, prevedendo gli adeguati investimenti in infrastrutture per la produzione, distribuzione e trasporto dell'energia.

Questa linea di sviluppo sembra dare i primi frutti con lo sfruttamento dei giacimenti di petrolio e gas non convenzionale (estrazioni da sabbie bituminose o scisti che richiedono tecnologie più sofisticate e costose ma che recentemente hanno raggiunto la competitività economica) che trasformeranno nei prossimi anni, sempre secondo le proiezioni della IEA, gli USA dal maggior importatore mondiale di petrolio al maggior produttore [3].

E' chiaro comunque che al momento non esiste una soluzione che possa da sola far fronte al crescente bisogno energetico globale: si deve far ricorso a un **mix di soluzioni** le quali richiedono tutte per motivazioni tecnologiche, scientifiche o economiche dei significativi, mirati e coraggiosi investimenti nella ricerca. Considerando inoltre il tempo necessario per staccarsi dalla dipendenza delle fonti fossili, processo lungo anche a causa della lunga vita media delle infrastrutture energetiche, è importante che la via dell'innovazione, chiave del futuro, sia presa subito [4].

Bisogna inoltre tener presente che nel libero mercato dell'energia, ***la competitività economica delle fonti è fondamentale per affrontare il problema ambientale a livello globale***. Supponendo ad esempio di riuscire a produrre energia "pulita" in Europa, a causa dell'inevitabile aggravio dei costi, le grosse industrie troverebbero conveniente spostarsi in Paesi come la Cina ove, senza un accordo globale, l'energia continuerebbe ad essere prodotta a minor costo e con tecnologie con maggior impatto ambientale, con un conseguente peggioramento della situazione globale. Per questo è importante considerare sempre i costi aggiuntivi che una tecnologia pulita comporta.

L'energia **nucleare da fissione** è una tecnologia per sua stessa natura pulita (non emette CO₂ o inquinanti quali polveri o ossidi di azoto o di zolfo) ed è economicamente competitiva con le altre fonti tradizionali. Le attenzioni in questo caso vanno poste sulla sicurezza, le scorie ed il rischio di proliferazione. Attualmente nel mondo circa il 13% dell'energia elettrica viene prodotta dalle 434 centrali nucleari esistenti, mentre una settantina sono in costruzione. I reattori di III generazione in costruzione hanno degli standard di sicurezza che portano la probabilità di fusione del nocciolo (l'incidente ipotizzabile più grave, realizzatosi a Fukushima) a valori tra 10⁻⁷ e 10⁻⁸ per reattore per anno. Non bisogna poi dimenticare che approfonditi studi [5] hanno dimostrato che tra le

principali fonti energetiche, quella nucleare storicamente ha causato il minor numero di decessi da incidente per unità di energia prodotta.

Quello delle scorie è stato definito un piccolo grande problema: senza sminuire la pericolosità delle scorie ad alta attività, che non devono assolutamente entrare in contatto con l'ecosistema, non si può non tenere in considerazione che un reattore tipico da 1000 MWe produce, dopo riprocessamento e vetrificazione, circa 5 m³ all'anno di queste scorie. Troppo spesso ci si dimentica che una centrale di pari potenza alimentata a combustibile fossile emette milioni di tonnellate di CO₂ oltre, nel caso del carbone, a decine di migliaia di tonnellate di polveri contenenti mercurio, metalli tossici ed elementi radioattivi in quantità decisamente superiori alle emissioni di una centrale nucleare. In ogni caso la gestione delle scorie passa sempre più attraverso il riprocessamento con l'estrazione degli elementi più attivi e di quelli riutilizzabili, come il Plutonio ad esempio, che vengono poi reinseriti in reattori in grado di utilizzare percentuali crescenti di combustibile ad ossidi misti. I reattori di IV generazione, pronti si valuta per il 2030-2040, produrranno scorie la cui radiotossicità torna a livelli naturali in pochi secoli (grazie alla trasmutazione sfruttata anche negli ADS, Accelerator Driven System, sistemi sottocritici allo studio, in grado di riprocessare le scorie dei reattori attuali). Anche nel settore del nucleare quindi sono necessari importanti investimenti nella ricerca per arrivare in tempi brevi a reattori che sfruttino meglio le risorse e producano scorie che richiedono limitati stoccaggi sia nello spazio che nel tempo.

Ricerca fondamentale necessaria anche nel campo della **fusione nucleare** ove nella collaborazione internazionale ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) [6], 33 Paesi rappresentanti più della metà della popolazione mondiale e più del 75% del prodotto lordo globale, hanno unito i propri sforzi sulla strada del primo reattore a fusione. Tale ricerca richiede conoscenze in diversi settori del sapere umano e notevoli investimenti: è significativo come l'impegno sia condiviso da tutti, così come lo saranno i benefici che, a detta degli stessi ricercatori, arriveranno non prima del 2050.

Anche l'INFN [7], Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, che promuove, coordina ed effettua la ricerca scientifica nel campo della fisica subnucleare, nucleare ed astroparticellare in Italia, contribuisce allo sviluppo di alcuni aspetti di questa importante impresa.

La discussione **sull'energia solare** trae la sua origine dal fatto che il Sole ***irraggia sulla Terra circa 9000 volte il fabbisogno energetico mondiale*** o, se si preferisce, in un'ora il Sole irraggia sulla Terra l'energia necessaria per soddisfare il fabbisogno dell'intera popolazione mondiale per un anno intero: purtroppo, come mostrato in figura 2 [8], attualmente non esistono tecnologie in grado di sfruttare in modo economicamente conveniente e su grande scala questo potenziale. Tranne l'energia idroelettrica, in Europa già sfruttata al massimo e sulla quale si hanno forti dubbi per l'impatto sull'ecosistema che comporta, e quella eolica, conveniente solo in particolari siti con le giuste caratteristiche di ventosità, le altre tecnologie richiedono significativi sviluppi prima di poter incidere sul bilancio globale. Gli investimenti nella ricerca qui giocano un ruolo ancor più

fondamentale e devono essere guidati non da facile demagogia ma da una corretta valutazione del rapporto costo/benefici rispetto alle potenzialità offerte.

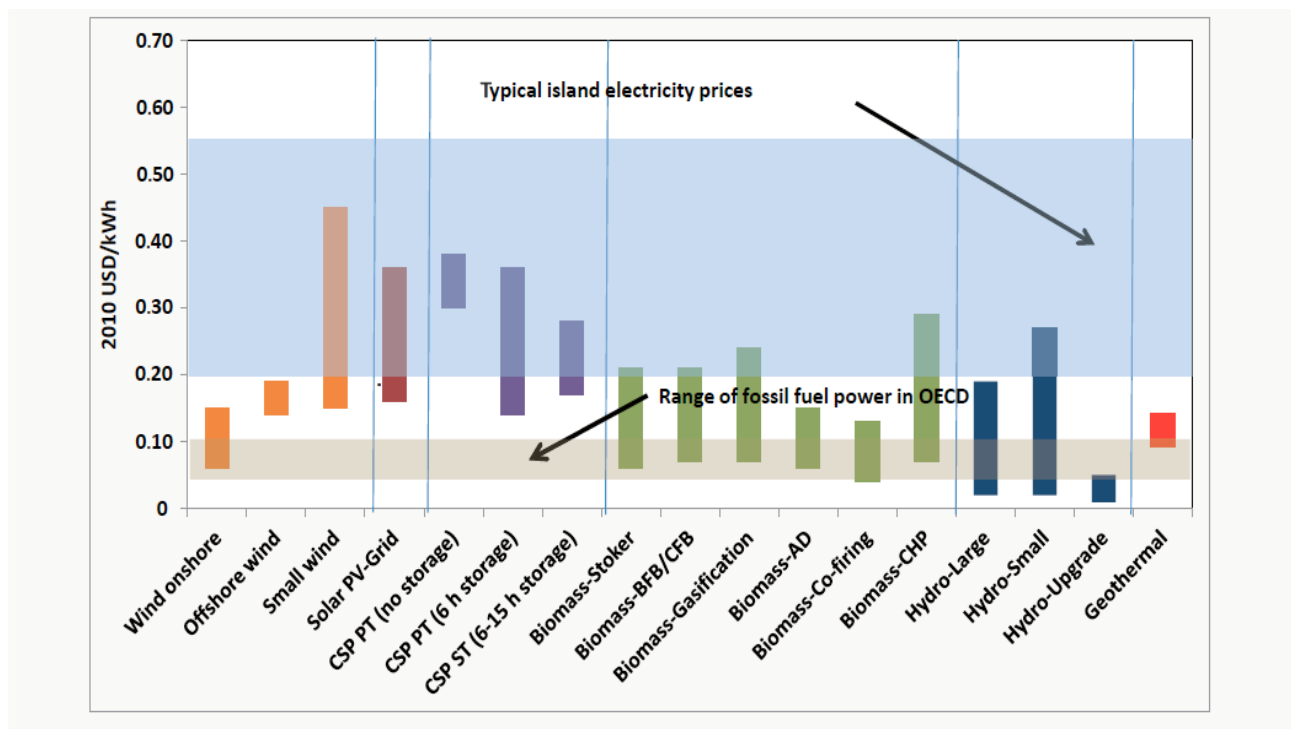


FIGURE 1: THE LEVELISED COST OF RENEWABLE POWER GENERATION TECHNOLOGIES

NOTE: ASSUMES THE COST OF CAPITAL IS 10%. THE BANDS REFLECT RANGES OF TYPICAL INVESTMENT COSTS (EXCLUDING TRANSMISSION AND DISTRIBUTION) AND CAPACITY FACTORS. PT = PARABOLIC TROUGH, ST = SOLAR TOWER, BFB/CFB = BUBBLING FLUIDISED BED/CIRCULATING FLUIDISED BED, AD = ANAEROBIC DIGESTER, CHP = COMBINED HEAT AND POWER.

Figura 2: costo di produzione del KWh a seconda della fonte.

Purtroppo la radiazione solare ha due caratteristiche che ne rendono difficile lo sfruttamento: è **diluata nello spazio ed è intermittente**.

La diluizione nello spazio deriva dal fatto che l'irraggiamento solare è uniformemente distribuito sul nostro pianeta: il fatto che l'energia solare sia presente ovunque è sicuramente un aspetto positivo ma proprio ciò la rende più difficilmente sfruttabile a differenza, ad esempio, dell'energia idroelettrica presente solo in alcune zone del pianeta con determinate caratteristiche geografiche che ne permettono l'accumulo e quindi un più facile sfruttamento.

L'intermittenza non deriva solo dall'alternarsi giorno/notte ma anche da tutte quelle condizioni meteo imprevedibili e sfavorevoli in cui la domanda di energia è comunque presente ma non la produzione: necessitano pertanto dei sistemi di accumulo su grande scala e questo, con l'attuale tecnologia, è un problema ancora in gran parte irrisolto. I sistemi di immagazzinamento di energia sono infatti costosi e poco efficienti e se non ci saranno importanti sviluppi tecnologici, questo punto diventerà l'impedimento maggiore allo sviluppo su larga scala di centrali elettriche solari. La produzione, accumulo e riconversione dell'idrogeno, secondo alcuni la soluzione ottimale, richiede una tecnologia ancora lontana dal poter essere utilizzata

convenientemente ed efficacemente su sistemi di potenza: risulta troppo costosa, poco efficiente e poco affidabile.

Ma andiamo con ordine.

Le tecnologie che permettono di attingere direttamente all'energia solare sono tre:

- ✓ la tecnologia fotovoltaica che trasforma direttamente la radiazione solare in energia elettrica;
- ✓ il solare termico che sfrutta il calore a "bassa temperatura" (diciamo sino a circa 100 gradi) per utilizzi sanitari o di condizionamento ambientale;
- ✓ il solare ad "alta temperatura", altrimenti detto solare termodinamico, che permette la trasformazione del calore in energia elettrica.

Riguardo l'**energia fotovoltaica**, di cui si ha una schematizzazione in figura 3, sono diversi gli esperti nel mondo, fra cui il premio Nobel Zhores Alferov [9], che sostengono che non convenga insistere sull'attuale, costosa e poco efficiente tecnologia basata sul Silicio, quanto piuttosto investire nella ricerca di nuovi materiali fotovoltaici, celle multistadio, sistemi a concentrazione, sfruttando anche le recenti conquiste delle nanotecnologie. Solo così si potrà arrivare ad un'energia fotovoltaica su larga scala pulita ed economica, con investimenti coraggiosi e mirati nella ricerca. L'attuale tecnologia non avrebbe mercato se non supportata da forti incentivazioni economiche che tutti noi paghiamo con prelievo direttamente dalla nostre bollette elettriche: l'incentivazione al fotovoltaico in Italia vale 6,7 miliardi di Euro all'anno, l'equivalente di quasi due punti di IVA.

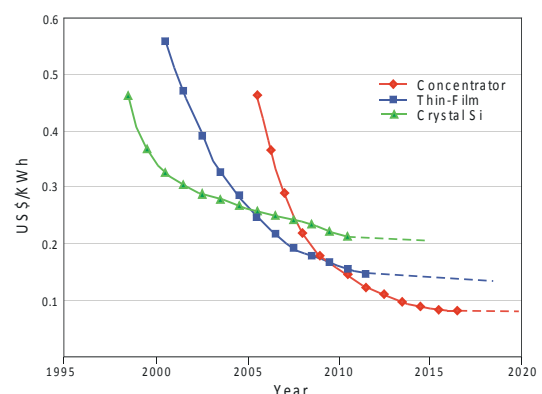
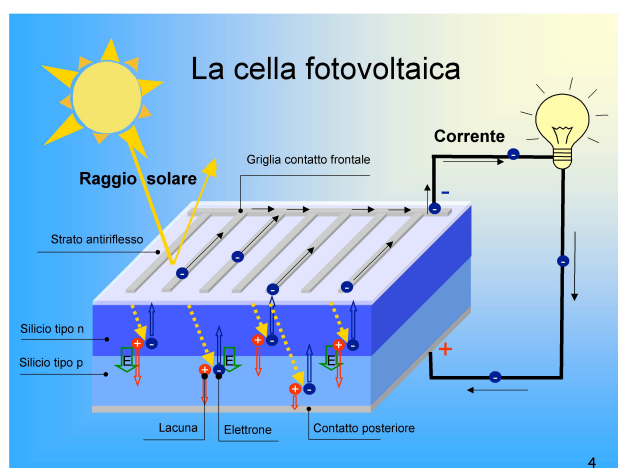


Figura 3: schematizzazione di una cella fotovoltaica e previsioni di costo di tale tecnologia.

Passiamo ora alle **sorgenti termiche**: *il modo più semplice per utilizzare l'energia solare è proprio quello di convertirla in energia termica*. Basta mettere al sole per qualche ora un contenitore nero riempito di acqua per rendersi conto quanto facile sia convertire l'energia elettromagnetica di origine solare in energia termica. Come è noto dalla termodinamica, la trasformazione di una forma di energia in quella termica può anche essere totale.

Le tecnologie per utilizzare l'energia solare per produrre calore si possono suddividere in due categorie:

- ✓ le tecnologie a “bassa temperatura” comprendono i sistemi che usano un collettore solare per riscaldare un liquido o l'aria. Lo scopo è captare e trasferire energia solare per produrre acqua calda o riscaldare gli edifici. Con la denominazione "bassa temperatura" ci si riferisce a fluidi scaldati al di sotto dei 100 °C (in rare occasioni si può arrivare a 120 °C). Si tratta dei classici collettori solari che si installano solitamente sui tetti delle abitazioni.
- ✓ le tecnologie a “media/alta temperatura” sono relative a sistemi a concentrazione parabolici lineari o puntuali e grazie alle più alte temperature che si raggiungono (in alcuni casi anche superiori ai 500 °C) sono adatte alla produzione di elettricità. I recenti sviluppi tecnologici fanno prevedere un rilancio applicativo di questa tecnologia sia per la generazione di energia elettrica, sia per la produzione di calore di processo per l'industria chimica.

In generale, il solare termico a bassa temperatura, di cui si ha una tipica immagine in figura 4, soffre del fatto che l'energia termica non è trasformabile in energia elettrica. La si usa quindi solo per acqua sanitaria e per il riscaldamento. Non è inoltre facilmente accumulabile per fare fronte all'intermittenza della sua disponibilità che varia con l'intensità dell'insolazione. Succede così che per impianti collegati a un circuito di riscaldamento a bassa temperatura d'inverno, quando effettivamente c'è necessità di utilizzare il riscaldamento, il collettore solare produce una quantità minima di energia. L'applicazione più comune è comunque il collettore solare termico utilizzato per scaldare acqua sanitaria. Un metro quadrato di collettore solare può scaldare, a 45-60 °C, tra i 40 ed i 300 litri d'acqua al giorno.



Figura 4: tipico collettore solare termico.

Il solare termico è una tecnologia matura perché basata su un principio di funzionamento piuttosto semplice che ha alle spalle numerosi anni di esperienze di laboratorio e sul campo, ma che allo stesso tempo ha notevoli margini di miglioramento. Questa tecnologia, se unita ad un'attenta progettazione edilizia, come specificata dalla nuove normative italiane in materia, può dare un importante contributo al bilancio energetico nazionale.

Il **solare termodinamico** (produzione di vapore ad alta temperatura, e quindi di elettricità, tramite concentrazione di energia solare; impianto visibile in figura 5) è una soluzione tecnicamente pronta, ma che richiede anch'essa grossi investimenti nello sviluppo per renderla economicamente competitiva. Per la sua intrinseca necessità di forte insolazione diretta, è molto più adatta a climi secchi come il deserto del Sahara, che non alle regioni del mondo dove viene consumata la maggior quantità di energia; ne conseguono quindi grosse infrastrutture per lo stoccaggio ed il trasporto dell'energia prodotta. In questo settore è da inserirsi il progetto Archimede, centrale solare termodinamica da 5 MW inaugurata il 14 Luglio 2010 e realizzata da una collaborazione ENEL-ENEA a Priolo Gargallo in Sicilia [10].



Figura 5: sistemi a concentrazione parabolici lineari di un impianto solare termodinamico.

Cambiando completamente settore, non cambiano le tematiche di base ed infatti sono necessari investimenti nella ricerca anche per rendere competitiva la **Geotermia**: l'Italia è tra i primi produttori al mondo di questa forma di energia grazie alla fortuna di avere siti quali Larderello, zona in cui il calore interno del pianeta, praticamente inesauribile, affiora naturalmente alla superficie. Per poter sfruttare questa fonte in maniera diffusa e significativa, si devono sviluppare i cosiddetti sistemi geotermici ingegnerizzati: attraverso trivellazioni di diversi Km, si inietta e preleva acqua dagli strati profondi della crosta terrestre così da estrarre calore da utilizzare anche per la produzione di elettricità.

Le **Biomasse** infine sono una vasta famiglia di sostanze tra loro anche molto diverse che necessitano di tecnologie differenti per la trasformazione in prodotti finali utilizzabili: tra questi spiccano di recente i **biocarburanti** e questo è forse il settore in cui la ricerca può giocare un ruolo ancor più fondamentale. Prendendo come esempio l'Italia, volendo soddisfare l'obiettivo comunitario del 10% di energia rinnovabile nei trasporti con Biodiesel, dovremmo dedicare a tale produzione un terzo dei terreni attualmente dedicati a produzione alimentare: in altre parole dovremo smettere di mangiare per andare in auto! Questo perchè le attuali tecnologie per la produzione di biocarburanti hanno una bassa resa e sono in competizione con le colture destinate all'alimentazione rischiando di causarne un notevole aumento dei prezzi. Bisogna inoltre considerare che con le attuali tecnologie, il bilancio finale tra l'energia necessaria nell'intero processo produttivo del biocarburante è di poco inferiore, se non in alcuni casi addirittura superiore, all'energia poi restituita dalla combustione del biocarburante stesso. Questa problematica richiede un'enorme ricerca interdisciplinare: come minimizzare le risorse utilizzate per la produzione della biomassa, massimizzarne la produzione (qui la genetica gioca un ruolo fondamentale), migliorare i processi di trasformazione magari anche studiando i processi digestivi delle termiti ancora ignoti nei loro principali aspetti. Di fronte a queste problematiche è significativa la decisione del DOE (Department of Energy) americano di investire 500 milioni di dollari nella fondazione di tre centri di eccellenza nelle Bioenergie riunendo così esperti in diversi settori e favorendo l'interdisciplinarietà della ricerca: questo esempio è sicuramente la via più adatta per affrontare una simile problematica.

Infine, ma non perchè meno importante, vi è una strada di immediata applicabilità, la cui importanza è ben riassunta dalla figura 6 [11]: **l'efficienza energetica (produzione e risparmio)**.

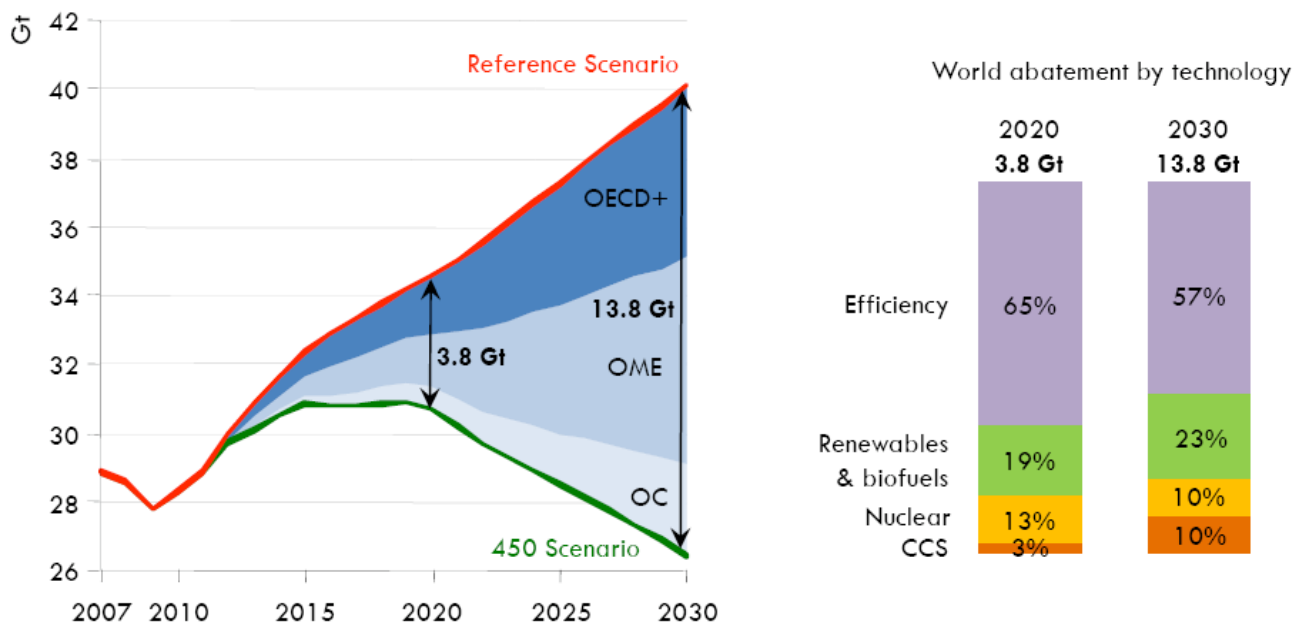


Figura 6: potenzialità dell'efficienza energetica (fonte IEA).

Ci sono studi che dimostrano molto chiaramente come il più veloce ritorno ambientale ed economico passi attraverso investimenti volti a diffondere le tecniche e la cultura di una **più efficiente produzione ed utilizzo di energia (risparmio energetico)**. Si tratta di implementare l'uso di tecnologie già esistenti in settori quali l'edilizia e l'industria: trigenerazione, pompe di calore, coibentazione, motori elettrici ad alta efficienza ed inverter, illuminazione intelligente ed a LED, possono fare risparmiare ad un Paese come l'Italia percentuali a doppia cifra del fabbisogno elettrico nazionale (praticamente l'elettricità importata dalla Francia, prodotta dall'equivalente di sette reattori nucleari di media taglia). Gli esempi non mancano: negli ultimi anni in California, grazie ad un'attenta politica di efficienza energetica, il consumo pro capite di energia è rimasto costante a fronte di una significativa crescita economica e tecnologica.

Più vicina a noi, la ST Microelectronics per produrre un chip di pari complessità utilizza oltre il 40% in meno di elettricità rispetto al 1995, anno in cui è stato lanciato il "Decalogo ambientale" [12]: sull'intera produzione ciò equivale a risparmiare l'equivalente di una centrale da 220MW.

Ancor più vicina a noi è la concreta possibilità di applicare a **livello individuale** una serie di attenzioni (non eccedere nella climatizzazione in casa, utilizzare valvole termostatiche sui termosifoni e lampadine a basso consumo, non lasciare gli elettrodomestici in stand-by e molto altro) che complessivamente possono portare ad una riduzione fino al 30% dell'energia consumata.

Non sfugga all'attenzione che le diverse soluzioni esposte, dalla fissione nucleare al solare, dalle biomasse alla fusione nucleare alla geotermia, necessitano tutte per motivi tecnologici, scientifici o economici, di significativi, mirati e coraggiosi investimenti nella ricerca e l'atteggiamento corretto per affrontare la problematica energetica non può focalizzarsi solo sulle varie tecniche di produzione ma deve considerare anche tutti i costi ambientali e sociali che queste comportano.

Una riflessione infine sul **valore ed il costo dell'energia**: il KWh è quella quantità di energia che permette di far funzionare un condizionatore o un forno elettrico per circa un'ora. Per l'equivalenza tra energia e lavoro, è anche il lavoro necessario per alzare una tonnellata di ben 367 metri. Volendo tradurre questo lavoro in qualcosa di più "apprezzabile" da chi ama andare in montagna, si consideri che approssimativamente è la stessa energia che serve ad un uomo per andare in cima al Monte Bianco.

Lo stesso KWh lo paghiamo, consegnato nelle nostre case, quanto spedire un SMS.

G. Alimonti,

INFN Sez. di Milano e Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano

Bibliografia e link utili per approfondimenti didattici.

[1] <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>

[2] World Energy Outlook 2011, IEA

[3] World Energy Outlook 2012, IEA

[4] "New strategies for energy generation, conversion and storage", lecture notes, joint EPS-SIF international school on energy

[5] "Accident Risks in the Energy Sector: Comparison of Damage Indicators and External Costs", S. Hirschberg and P. Burgherr, PSI

[6] <http://www.iter.org/>

[7] <http://www.infn.it> In particolare vedere progetto strategico INFN-ENERGIA

[8] "Summary for policy makers: Renewable Power Generation Costs", IRENA

[9] Z.Alferov, The Energy Challenge, Venezia 2007

[10] http://www.archimedesolarenergy.it/it_reference_project_1.htm

[11] World Energy Outlook 2009, IEA

[12] http://www.st.com/web/en/about_st/company_reports_st.html

