

## CRISI ENERGETICA: UN FUTURO SOLARE? di Marco Rosa-Clot

*Il caro petrolio è solo un aspetto del più grave problema di un uso irrazionale e anarchico delle risorse del pianeta.*

*Solo un grande investimento in ricerca scientifica e nella comprensione del pianeta daranno all'uomo la possibilità di sfruttare razionalmente le energie rinnovabili e ne permetteranno la sopravvivenza nel vicino futuro.*

### LA SCALA PLANETARIA E LA CATASTROFE ENERGETICA

La terra riceve dal sole un flusso enorme di energia: 120mila TW (TeraWatt), cioè  $1.2 \cdot 10^{17}$  watt di energia radiante (1 TW =  $10^{12}$  Watt), e di suo ne produce 30 attraverso la radioattività della crosta. La domanda di energia dell'uomo, sommando tutti i consumi, non supera oggi i 12 TW, una frazione insignificante, una parte su diecimila.

Dove è quindi il problema energetico?

Il problema sta nel fatto che l'uomo vuole l'energia **concentrata e subito**: quando si gira la chiavetta dell'auto si usano da 40 a 100 KW, una doccia di acqua calda richiede una potenza termica di 20 KW, e moltissime abitudini (per esempio l'utilizzo di carta usa e getta o di contenitori plastici, metallici o vetrosi) implicano un alto costo energetico, ma sono per noi ormai irrinunciabili.

Di qui l'uso intensivo del petrolio e dei combustibili fossili; con queste fonti

ricorriamo a un trucco: preleviamo in tempi molto brevi quello che l'energia solare ha prodotto e accumulato in centinaia di milioni di anni. La cassaforte geologica del pianeta è stata forzata e abbondantemente saccheggiata dalle economie accumulate dalla natura tramite fotosintesi clorofilliana e catene biologiche.

Il vero problema è che la cassaforte non è illimitata e anzi si comincia a vedere il fondo delle riserve. Fin dagli anni 50 alcuni modelli economici (famoso il modello di Hubbert) prevedevano il picco di produzione del petrolio verso la fine del secolo. Questi modelli, come molte previsioni economiche a lungo termine, sono stati tutti smentiti quantitativamente (il calo atteso della produzione per il petrolio texano si è verificato con un ritardo di 15 anni) ma tuttavia interpretano una inquietudine diffusa e a questi ritmi di estrazione il petrolio presto comincerà a scarseggiare.

**Figura 1: Risorse passate e future di greggio by J.H.Laherrère**

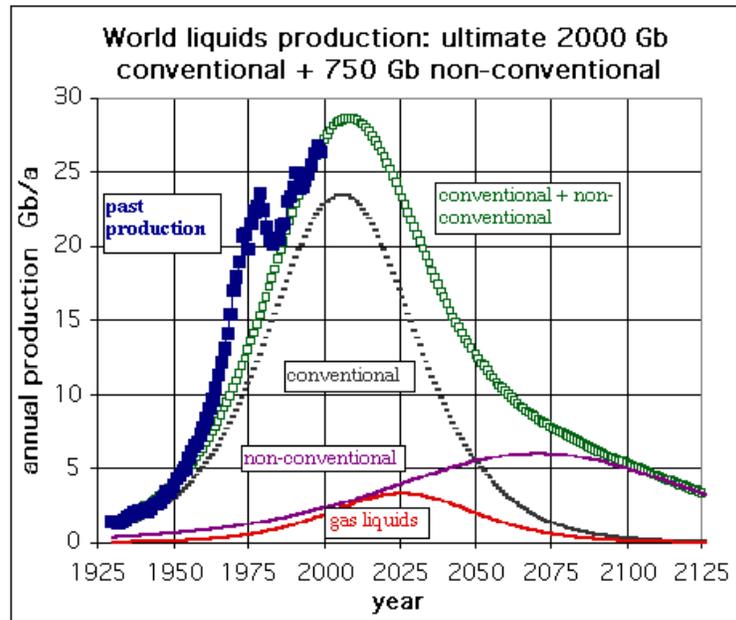
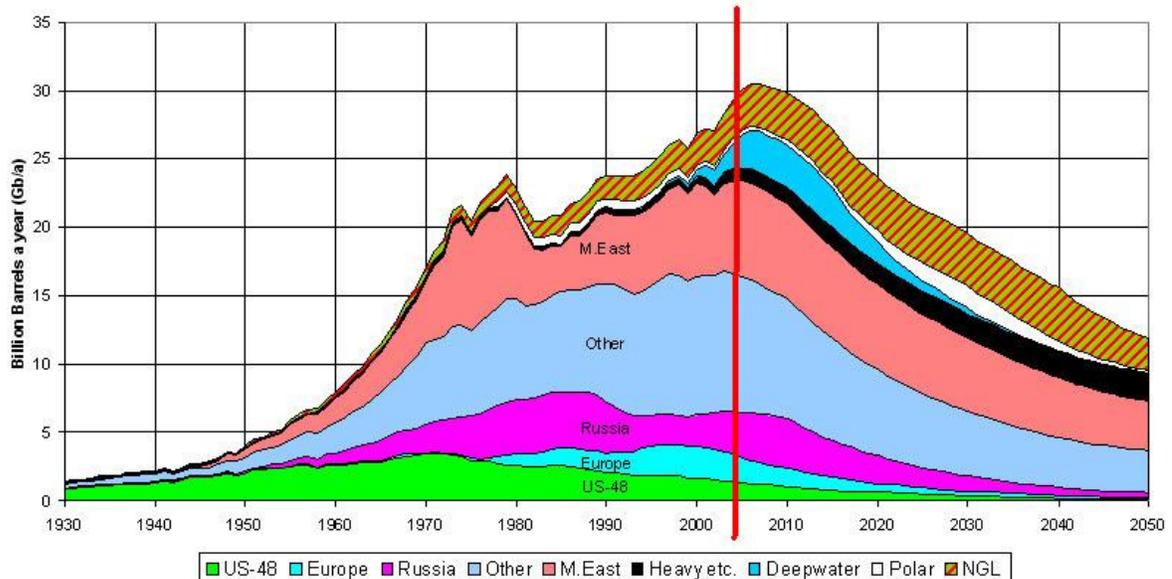


Figura 2: May 2003 newsletter of Association for the Study of Peak Oil. <http://www.asponews.org/> La barra rossa indica il tempo in cui è stata fatta l'analisi.

### OIL AND GAS LIQUIDS 2004 Scenario



Le ultime previsioni sono rappresentate nelle inquietanti figure 1 e 2. La prima dà una sintesi delle previsioni attuali ed è fatta nel 2000. La seconda dà i dati fino al 2003 e lascia intravedere un futuro in sostanziale accordo con la figura 1.

A peggiorare la situazione va sottolineato che gli attuali consumi sono destinati ad esplodere.

Nonostante le campagne per il risparmio energetico i paesi industrializzati sono degli inquinatori e sperperatori terrificanti. Un abitante degli Stati Uniti infligge un danno

all'ambiente pari a circa 100 volte quello di un abitante del Laos.

Ma il problema vero è l'affacciarsi prepotente nel mercato di paesi come la Cina o l'India.

La Cina copre poco meno del 10% dei consumi mondiali di energia, collocandosi al secondo posto dietro gli Stati Uniti (24%). Rapportati alla popolazione i consumi sono però ancora molto contenuti: i consumi ammontano a 25 Kwh/giorno pro capite rispetto ai 275 degli Stati Uniti, ai 112 dell'Italia, e ai 140 del Giappone.

Quindi ci troviamo in una situazione in cui 2.5 miliardi di persone (Cina + India) entreranno in competizione con il miliardo di Giappone, Nord America e Europa Occidentale, arrivando a consumi pari almeno a 1/3 di quello Europeo.

Il risultato sarà un raddoppio dei consumi

e una spaventosa impennata dei prezzi.

Già oggi il prezzo sale ma siamo ancora in regime di prezzi bassi. Il grafico che segue (fis. 3) mostra il prezzo del petrolio a dicembre 2004 valutato in \$. E' chiaro che nonostante la fase di rincaro non siamo ancora agli 80\$ equivalenti a barile degli anni 80. Oggi però il petrolio tocca i 60 \$ e le previsioni sull'immediato futuro lasciano a pensare che 100 \$ saranno una linea psicologica che verrà bruciata nel 2006 se non prima.

Sul prezzo a più lunga distanza non si può dir nulla, salvo il fatto che nei prossimi dieci anni il calo di produzione e l'aumento della domanda spingeranno i prezzi molto in alto.

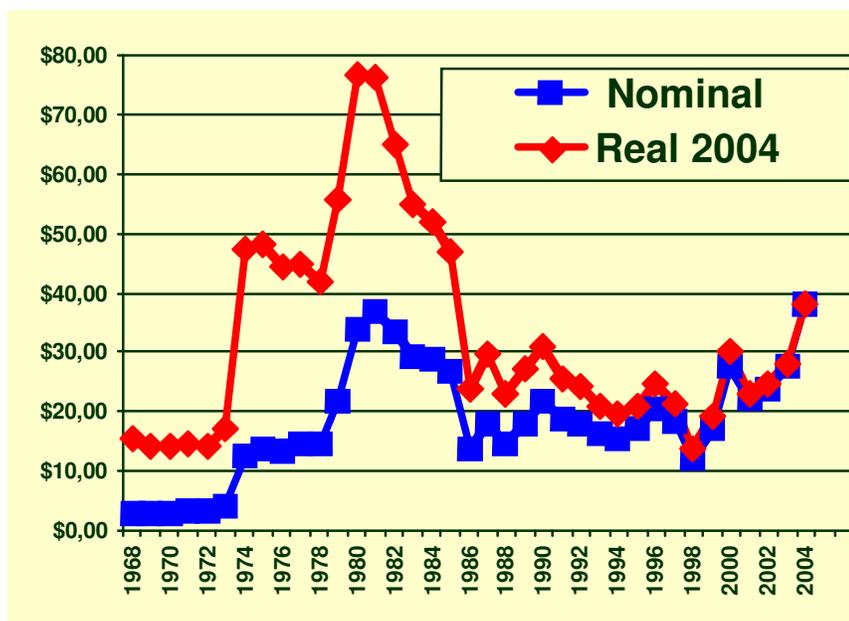
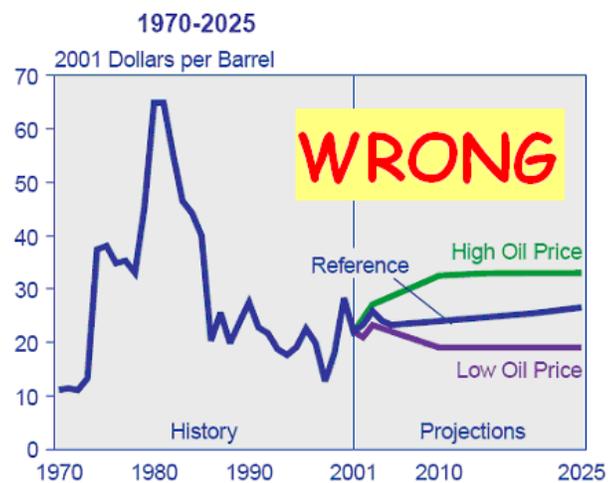


Figura 3: grafico dei prezzi del petrolio al dicembre 2004 in valuta corrente e in \$ 2004

Figura 4: una storia del prezzo del petrolio con estrapolazioni eccessivamente ottimistiche



Solo l'uso un po' miope di estrapolazioni economiche o forse una volontà politica mistificatrice possono portare a grafici come quello qui riportato (fig. 4) e preso nel 2001 da autorevoli fonti (DoE e EIA).

#### DANNI E VANTAGGI DEL CONSUMO ENERGETICO. EFFETTO SERRA?

Ho insistito sulla scarsità delle risorse e sul loro prezzo perché, a mio avviso, è per questi problemi che si pagherà un tributo elevatissimo. Il fatto che la vita media nei paesi non industrializzati sia inferiore ai 50 anni è legato soprattutto al ridotto consumo energetico pro capite, che induce poi anche altri problemi primo tra tutto la mancanza di cibo e di acqua. Possiamo ben immaginare cosa significherà una esplosione dei costi per molti paesi che lottano per la sopravvivenza.

Naturalmente ci sono anche effetti planetari come l'effetto serra, il riscaldamento oceanico, il buco nell'ozono etc. Tuttavia dobbiamo riconoscere seraficamente ed onestamente che in realtà questi problemi riempiono la bocca ma non la pancia e non interessano la stragrande maggioranza delle persone. Inoltre, (onta su noi!) non sono

affatto ben capiti a livello scientifico e vanno in compagnia delle mai azzeccate previsioni economiche a lungo termine.

Vorrei citare due esempi.

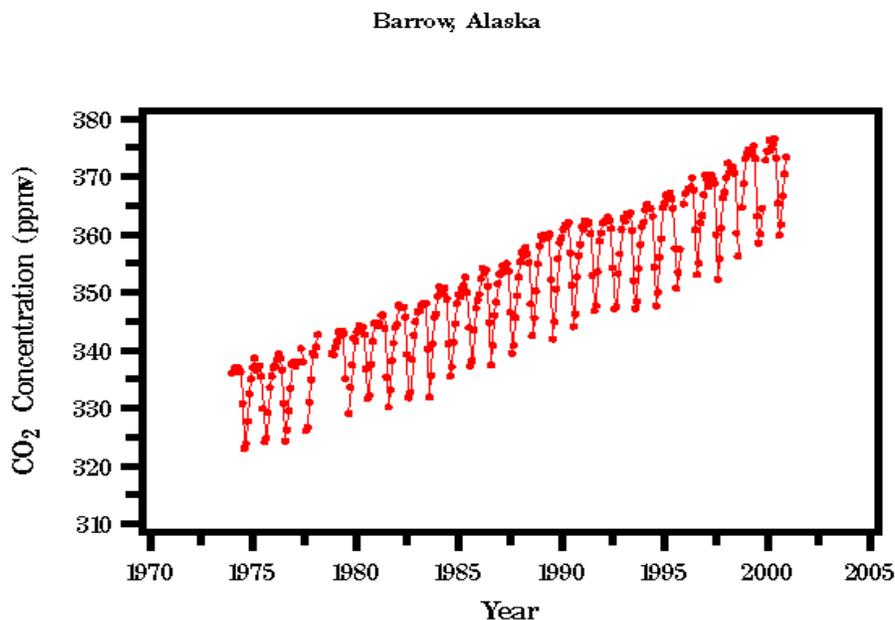
a. Poco più di 5000 anni fa, in epoche quasi storiche, il clima dell'Africa centrale cambia drasticamente e 10 milioni di km<sup>2</sup> di terreno fertile in buona parte coltivato si trasformano nel deserto del Sahara. Le civiltà agricole pastorali sono distrutte e sopravvivono spingendosi sulle coste o nella valle del Nilo. Tutto questo avviene in circa 100 anni e non c'è a tutt'oggi nessuna ragionevole spiegazione del fenomeno.

b. La concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera sta salendo a ritmi ben misurati e soprattutto perfettamente prevedibili. E' aumentata di oltre il 30% nell'ultimo secolo e senz'altro il protocollo di Kyoto non inciderà che in modo irrilevante su detti andamenti. Il problema però è anche un altro: non siamo a tutt'oggi in grado di dire se abbia un effetto positivo o negativo; se l'aumento di CO<sub>2</sub> ci stia salvando da una minigiatazione o invece la induca in un prossimo futuro; se porterà ad un incremento del livello dei mari creando situazioni insostenibili o se l'oceano potrà con il suo respiro assorbire qualcosa di più del 99% del

CO<sub>2</sub> attualmente prodotto e stabilizzare il sistema. La nostra ignoranza su questo problema non è dovuta alla inettitudine della comunità scientifica o a qualche perverso disegno di poteri oscuri, ma alla estrema complessità del problema e al fatto che solo da pochi decenni si lavora nel settore.

In realtà il dibattito sull'effetto serra, comparato ai problemi economici indotti da una crisi energetica, fa pensare al pedone che mentre sta per essere investito da un TIR si chiede se questo gli sgualcirà il vestito o meno. Probabilmente sì ma, a tutt'oggi, non abbiamo un modello sufficientemente corretto del vestito.

Figura 5



source: Dave Keeling and Tim Whorf (Scripps Institution of Oceanography)

#### DOVE PRENDERE L'ENERGIA: NUCLEARE E CARBONE

Chiunque parli di energie alternative e di risposta alla futura carenza di petrolio, deve ricordare che nel prossimo futuro serviranno almeno 12 TW di potenza concentrata e facilmente fruibile. Questo è poco rispetto all'energia solare ma l'energia solare è molto distribuita.

Per questo nell'immediato futuro la scelta nucleare sarà pesantemente battuta da tutti i paesi industrializzati (salvo l'Italia forse dove si sta abdicando da molti decenni a qualunque forma di innovazione tecnologica e dove si stanno distruggendo anche le radici culturali della tradizione scientifica).

Il nucleare da fissione è un sogno, una speranza prometeica su cui non si possono fare previsioni e su cui è bene non contare.

Ma il nucleare da fissione va forte: già oggi fornisce il 30% dell'energia elettrica in Europa (in Italia il 17% dell'energia elettrica è importata ed è interamente di fonte nucleare, ancorché non di produzione italiana) e lo vedremo espandersi in un prossimo futuro nei paesi industrializzati con tre obiettivi:

- a. maggiore sicurezza e minori rifiuti (IV generazione di reattori);
- b. approvvigionamento elettrico a costi contenuti;
- c. produzione idrogeno come utile vettore energetico.

Un secondo punto di forza delle nazioni industrializzate e di quelle emergenti (in particolare della Cina) sarà il carbone. Questo avverrà perché le risorse fossili di carbone sono ben più ampie di quelle petrolifere e soprattutto più omogeneamente distribuite a livello planetario.

Tuttavia, nonostante i programmi “*Clean Coal*” lanciati dall’amministrazione USA e anche a livello Europeo, il carbone resta una fonte molto inquinante e di gestione assai più complessa degli idrocarburi. Da cui i tentativi di usare i programmi “carbone pulito” per far decollare il ciclo dell’idrogeno.

E’ comunque sul binomio nucleare carbone che si appoggiano sia le strategie di emergenza dei paesi industrializzati che quelle di espansione di paesi come India e Cina, e senz’altro sarà questo il propulsore e il volano della nuova rete di distribuzione ad idrogeno e del nuovo ciclo energetico.

#### DOVE PRENDERE L’ENERGIA: IL SOLE

Ma allora come procedere col solare? Se è vero che il più grande produttore di greggio, l’Arabia Saudita, riceve dal sole una energia 800 volte superiore a quella che vende sotto forma di oro nero, perché non la usiamo?

Le risposte positive ci sono ma sono deboli e ancora poco è stato fatto finora per superare efficacemente la grande barriera tecnologica che è la dispersione delle risorse naturali confrontate alla domanda di energia concentrata della specie umana.

**Figura 4: Dove il pianeta prende e dove noi dovremo prendere l’energia del futuro. Nella foto una eruzione solare fotografata dal satellite Soho (la terra è sovrapposta in scala).**



#### Biomasse

Legno, foglie, rifiuti organici, sono in ultima analisi prodotto della fotosintesi clorofilliana, un processo che si valuta catturi 30 TW all’anno dell’energia del sole a livello planetario. Quanto possiamo effettivamente utilizzare per i bisogni umani? Una stima dell’1% è già ai limiti delle potenzialità del sistema. Per capire la complessità del problema basta ricordare gli squilibri indotti nell’agricoltura brasiliana dall’esperienza dell’automobile ad alcool (migliaia di km<sup>2</sup> messi a cultura intensiva, impoverimento e degrado dei terreni, crisi agricola) oppure i danni generati dal disboscamento massiccio

dei polmoni verdi del globo, dal bacino amazzonico alle foreste siberiane.

La cifra di 0,3 TW è comunque molto elevata e ben lungi dall’essere raggiunta. Inoltre una maggiore attenzione potrebbe essere posta sull’uso delle biomasse accoppiate alle sorgenti termiche solari a bassa entalpia e sulle culture batteriche che promettono oggi molte soluzioni da uno smaltimento naturale e più efficiente dei rifiuti alla produzione diretta di idrogeno mediante batteri termofili.

#### L’eolico

Anche l'energia eolica è in realtà energia solare trasformata per fenomeni naturali in energia meccanica. In questo caso le stime geofisiche parlano di 300 TW di energia solare primaria convertita in eolico. Qui tuttavia i processi di concentrazione naturale non esistono e l'uomo riesce a catturare praticamente una frazione di energia che si limita alla prima sottilissima buccia di atmosfera (100 metri). Pensare a qualcosa che raggiunga lo 0,1 % dell'energia disponibile è praticamente fantascientifico e quindi pur essendo importante promuovere lo sviluppo di questo settore siamo ben lontani dalla soluzione dei problemi base.

Si noti comunque che al momento attuale, pur con problemi di compatibilità ambientale legati alla rumorosità e agli aspetti estetici (300 impianti da 1 MW sui colli toscani sarebbero veramente spiacevoli), l'eolico resta una tecnologia relativamente semplice e di basso costo (1 euro per Watt installato con una vita media di almeno un decennio).

#### **L'idroelettrico**

È storicamente la fonte più usata. In Italia dà per esempio circa il 13% dell'energia elettrica. Inoltre è una fonte abbondantissima; basti pensare che in evaporazione se ne vanno almeno 30mila dei 120mila TW che il sole invia sulla terra. Tuttavia anch'essa è una fonte dispersa, che può essere catturata solo in condizioni orografiche molto precise e con impianti di notevole impatto ambientale.

Alcuni impianti in particolare mettono in guardia e in un certo senso gridano vendetta e sono di monito per il futuro: la diga del Vajont è costata 2200 vite nel 1961 in Italia; la diga di Assuan in Egitto ha portato danni elevatissimi per la modifica profonda del regime di piene del Nilo e il suo successivo interrimento; per non citare i lavori al grande sbarramento sul rio della Amazzoni, in barba alla criticità ambientale e alle popolazioni locali (alcune delle quali direttamente sterminate). In conclusione anche questa è una fonte molto limitata che come le altre non potrà superare a livello planetario la produzione di 0.3 TW.

Resta il solare diretto nelle sue varie forme: fotovoltaico, a concentrazione, termico etc.

#### **Solare Fotovoltaico**

Il fotovoltaico ha il grande pregio di permettere una conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica, quindi in energia nobile, facilmente impiegabile ovunque. Ha però alcuni grossi limiti:

a. *bassa efficienza*. Ad oggi non esistono impianti commerciali con una efficienza superiore al 10%

b. *costo molto elevato*. Cito direttamente dal sito di un produttore: "La spesa minima per l'installazione di un impianto fotovoltaico con potenza di 1 kW di picco è di 8.000 euro, con un tempo di ammortamento che si aggira intorno agli otto-dieci anni, conteggiando anche incentivi dell'ordine del 60% a fondo perduto e la detrazione dall'IRPEF del 36% sul costo rimanente dell'impianto. Se si considera che però una piccola villetta o un appartamento di medie dimensioni necessitano di una potenza di almeno 2,5 kW di picco, è matematico calcolare come i prezzi si impennino fino a una media di 15-16.000 euro".

c. *livello tecnologico elevato* che interessa sia la messa in opera che l'esercizio dell'impianto e rende questa tecnologia poco adatta per i paesi emergenti.

Di fatto, nonostante il lodevole sforzo a livello europeo ed italiano di promuovere il fotovoltaico, a tutt'oggi vi sono solo 20 MW installati e l'uso resta comunque assolutamente residuale rispetto alle esigenze della popolazione.

Nella tabella 1 diamo la lista degli impianti di dimensioni medio grandi esistenti in Italia, elencati secondo la potenza di picco. Va infatti ricordato che i pannelli funzionano solo in presenza di radiazione solare diretta e che quindi richiedono sistemi di accumulo locali o l'allacciamento in rete per l'integrazione con altri sistemi di produzione elettrica più regolari.

**Tabella 1: Impianti fotovoltaici in Italia**

Località Impianto	Kw di picco	Località Impianto	Kw di picco
Serre (SA)	3300	Lampedusa	100
Vasto (CH)	1000	Lipari	100
Delphos (FG)	600	Nettuno (RM)	100
Carloforte (CA)	600	Vulcano	80
LameziaTerme (CZ)	600	Zambelli (VR)	70
Salve (LE)	600	Tremiti	65
Casaccia (RM)	100	Giglio	45
AltaNurra (SS)	100	CetonaSovana (Si)	30

**Figura 5: Un impianto fotovoltaico privato da 3 Kw****Solare a concentrazione**

C'è molto lavoro in questa direzione con idee e tecnologie innovative (vedi per esempio lo sforzo in corso recentemente in ENEA). L'obiettivo è la produzione di calore ad alta temperatura a partire da specchi solari di basso costo, lo stoccaggio dell'energia termica con sali fusi, e poi la produzione di energia elettrica e/o idrogeno da usare come vettore energetico.

Gli impianti in funzione nel mondo sono numerosi, tuttavia nonostante gli sforzi fatti restano di costi piuttosto elevati.

L'efficienza tipica è del 50-60%, con il raggiungimento di temperature dell'ordine di 700-1000 °C nel fuoco del sistema a specchi e quindi con applicazioni abbastanza efficienti per la produzione di energia elettrica o idrogeno.

**Figura 6: un concentratore a specchio parabolico**

Il vero problema è costituito dal costo piuttosto elevato (300-400 \$/m<sup>2</sup>) e dalla complessa tecnologia e manutenzione: gli specchi vanno puliti ed orientati e i congegni di puntamento sono delicati. In figura 6 si vede una fornace solare con concentratore parabolico.

### Solare Termico: i collettori

Figura 7: alcuni esempi di collettori solari



Ognuna di queste soluzioni può essere valutata ottimisticamente a 7-8 m<sup>2</sup> di collettori, che possono catturare l'energia solare e immagazzinarla sotto forma di calore a 60-100 °C a seconda del costo del pannello che può andare da 150 a 250 €/m<sup>2</sup>. Siccome l'irraggiamento medio solare estivo in Italia è di circa 250 Watt, possiamo concludere che questi impianti danno una energia termica di poco più di un Kw (in continua). Il calcolo è ottimistico ma deve essere comunque confrontato con la domanda, che in Italia è di 112 Kwh/giorno per abitante (consumo termico ed elettrico), cioè di 4 Kw per persona), col fatto che questi impianti vengono installati su abitazioni dove vivono almeno dieci persone e non ultimo col fatto che l'energia prodotta è di bassa qualità (energia termica a bassa temperatura) e può essere utilizzata solo per scopi termici.

Ci sono molte soluzioni per l'utilizzazione del solare termico e qui mi limito a discutere una delle più usate: i semplici collettori solari ad acqua calda. La figura 7, presa da un sito pubblicitario, illustra 4 diverse soluzioni per uso abitativo e dà una immediata dimensione del problema.

### Solare termico: il *solar pond* (stagno solare)

I problemi dei sistemi ad energia solare citati sopra sono legati a tre fattori:

- l'elevato costo,
- la tecnologia troppo sofisticata,
- la necessità di manutenzione.

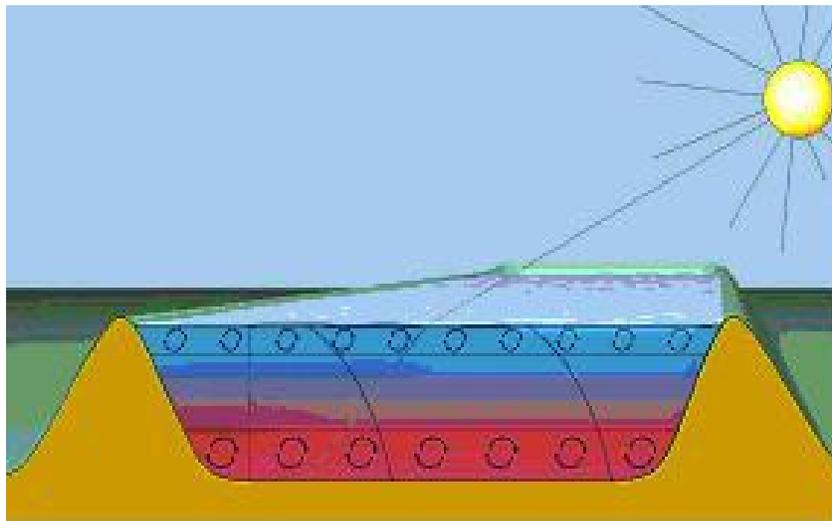
Il *solar pond* è costituito da una vasta piscina (una salina per esempio) con tre strati diversi di acqua: uno basso con salamoia ad alta concentrazione salina (200 grammi di sale litro, uno alto di acqua di mare (35 grammi di sale litro) ed uno intermedio di raccordo (lo strato a gradiente salino). La differente salinità impedisce i moti convettivi, per cui il calore immagazzinato sul fondo viene bloccato da uno spesso strato di acqua priva di moti convettivi (la conducibilità termica dell'acqua è molto bassa). La salamoia può raggiungere temperature molto

elevate (85-95 °C) e può essere estratta ed usata come sorgente termica per diversi processi.

Il *solar pond* è un sistema semplice, "naturale" e di basso costo, anche se l'efficienza è piuttosto bassa: solo il 20%

dell'energia solare ricevuta viene immagazzinata e sotto forma di calore a 90 °C in un liquido corrosivo come la salamoia ad alta contrazione.

**Figura 8: schema di *solar pond***



I *solar pond* sono costruiti in varie parti del globo ma esistono anche in natura. Certo l'efficienza di questi sistemi è bassa, ma il costo di costruzione, partendo da configurazioni territoriali adatte, è molto basso (10-15 € /m<sup>2</sup>), la manutenzione minima, e i tempi di immagazzinamento del calore sono valutati in 6 mesi.

**Figura 9: il lago di Medevo in Transilvania. Il lago è salato e raggiunge la temperatura di 60 °C (che scende a 40 °C in inverno) grazie alla presenza di un gradiente salino e alla struttura *solar pond***



In questi casi possiamo parlare di impianti di Km<sup>2</sup> senza grosse preoccupazioni ambientali: la sola Tunisia ha nella zona del Sael zone acquitrinose salate, adatte alla trasformazione in *solar pond* per una superficie di 50mila Km<sup>2</sup>.

**Figura 10: un *solar pond* artificiale costruito in Australia (Pyramid Hill).**



Considerando che a quelle latitudini la resa energetica di un km<sup>2</sup> è di oltre 50 MW termici, si vede che il potenziale disponibile è veramente molto elevato e l'utilizzo di una parte anche minima porterebbe a risorse energetiche veramente notevoli. Tutta la tecnologia di estrazione e di conversione del calore è ancora in fase di sviluppo.

## CONCLUSIONI

### MARCO ROSA-CLOT

*Laureato alla Scuola Normale nel 1966, ha lavorato al CERN, ha pubblicato numerosi articoli di fisica teorica e nucleare ed è ora professore all'Università di Firenze. Da 15 anni dirige una società di ricerca privata, attiva nel campo delle energie rinnovabili, del monitoraggio ambientale e della ricerca biomedica.*

**Contatti:**

SIT Srl  
Tel. 050-877157

Via delle case dipinte 17  
Email: [rosacLOT@scintec.it](mailto:rosacLOT@scintec.it)

56127 Pisa

Il mondo industrializzato sta andando incontro ad una crisi energetica di dimensioni planetarie. La crisi, ampiamente annunciata anche se non ancora percepita dai media, avrà un impatto particolarmente devastante sulle economie più fragili ma peserà anche nei paesi industrializzati.

Le risposte più immediate saranno un rilancio del nucleare e un recupero della fonte carbone con un possibile sviluppo della soluzione idrogeno come vettore energetico.

Le fonti alternative e in particolare l'energia solare termica diventeranno più appetibili, ma il loro contributo resterà ancora residuale almeno per i prossimi dieci anni

E' inutile nascondersi che oggi il petrolio muove interessi che si misurano in centinaia di miliardi di \$, mentre i problemi delle energie rinnovabili sono affrontati con risorse mille volte inferiori. E' necessario quindi che le cose cambino, ma sarà purtroppo per l'impatto di gravi problemi economici e incalzati da una realtà impietosa e assai dura.