

## IL CONTO IN BANCA DELL'ENERGIA:

# IL RITORNO ENERGETICO SULL'INVESTIMENTO ENERGETICO (EROEI)

Di Ugo Bardi – Febbraio 2005

[www.aspoitalia.net](http://www.aspoitalia.net)

[bardi@unifi.it](mailto:bardi@unifi.it)

Nella generale confusione che risulta dagli aumenti dei prezzi del petrolio, le soluzioni proposte per il problema dell'energia si sprecano. Ognuno ha la sua: idrogeno, rinnovabili, nucleare, carbone, tutto viene lanciato nell'immenso calderone dei media a intasare le capacità ricettive del cittadino, il quale reagisce a volte facendosi prendere dall'entusiasmo per l'ultima novità, oppure con un generale scetticismo che porta poi a non fare nulla, aspettando gli eventi.

Ma di tutte queste cosiddette "soluzioni", ce n'è almeno qualcuna che funziona? E se sì, come si fa a dire qual'è la migliore? Cercheremo in queste note di descrivere un concetto ancora non molto diffuso in Italia che può servire come un criterio di giudizio: il "Ritorno energetico sull'investimento energetico" noto anche con l'acronimo inglese di EROEI.

### *1. Il concetto di EROEI*

Nessuno ha problemi a capire che la banca che da gli interessi più alti è quella da scegliere. Senza problemi, decidiamo in base al "Ritorno sull'Investimento". Lo stesso criterio viene normalmente applicato alla valutazione del ritorno economico degli impianti energetici. Sapendo quanto mi costa l'impianto, quanto mi ritornerà in termini monetari dalla produzione di energia?

Il problema sta nel fatto che impianti destinati a produrre energia hanno spesso tempi di vita molto lunghi, dell'ordine di diverse decine di anni. Prevedere oggi su una distanza di decine di anni quali saranno parametri economici quali l'inflazione, il tasso di sconto, i costi dei combustibili e simili è come cercare di prevedere i numeri del lotto. Aggiustando le grandezze e scegliendo i metodi di previsione si possono ottenere dati di qualunque tipo, ma il valore dei numeri ottenuti è praticamente zero. Se girate per l'internet, troverete che chiunque cerchi di promuovere una tecnologia (dal nucleare all'alcol etilico) troverà il modo di dimostrarvi, cifre alla mano, che il suo metodo costa meno di tutti gli altri. Queste dimostrazioni sono normalmente da destinarsi direttamente alla cartella "cestino" oppure alla cartella "oroscopi" se ne avete una.

Esiste un criterio più robusto che possiamo utilizzare per prendere delle decisioni in termini energetici? Sì, esiste, e lo chiamiamo "Ritorno Energetico

sull'Investimento Energetico," ovvero "Energy Return On Energy Investment" (EROEI). L'EROEI è il rapporto fra l'energia che un impianto produrrà durante la sua vita attiva e l'energia che è necessaria per costruire, mantenere, e poi smantellare l'impianto. Siccome l'energia è una grandezza fisica, non è influenzata dalle follie umane, ovvero tassi di inflazione, tassi di sconto, prezzi di mercato, eccetera. Siccome, poi, l'energia è un bene fondamentale per la società umana, se un impianto porta un ritorno utile (ovvero un EROEI maggiore di 1, possibilmente molto maggiore di 1) sarà stato sempre un buon investimento per la società stessa.

In linea di principio, in una situazione di libera concorrenza, energia e unità monetarie dovrebbero coincidere, ovvero se un impianto porta un beneficio energetico, dovrebbe anche portare un beneficio monetario. Tuttavia, è facile che le cose non stiano affatto così nella giungla dell'economia reale. Con tutte le distorsioni dovute agli interventi statali, alle rendite di posizione, alla propaganda, e all'effetto trainante degli investimenti già fatti, è perfettamente possibile che il profitto monetario dell'energia prodotta in un certo tipo di impianti non coincida affatto con il profitto energetico.

E' noto, per esempio, che gli incentivi, occulti o palesi che siano, dati all'industria petrolifera falsano ampiamente il mercato a danno dell'energia rinnovabile che ne riceve molti meno. Si sa anche che, nella foga disperata di cercare petrolio o qualcosa che somigli al petrolio ci si sta attaccando a robacce come le sabbie bituminose che, secondo alcuni, richiedono più energia di quanta non ne forniscano alla fine del ciclo. Tant'è, è la magia dei sussidi statali. Ma non ci sono sussidi statali che possano cambiare le leggi della fisica.

Il termine "EROEI" comincia ad essere utilizzato sempre più di frequente in campo energetico. In effetti, coglie un punto fondamentale che finora né gli economisti né i tecnologi non avevano sufficientemente enfatizzato. Il fatto che un investimento energetico – ovvero la costruzione di un impianto – ha senso soltanto se l'energia che viene prodotta da quell'impianto durante la sua vita attiva è superiore a quella che è stata necessaria per costruirlo.

La misura dell'EROEI è la vera pietra di paragone del valore di una tecnologia energetica. Una misura strettamente legata al principio di conservazione dell'energia che ci permette di discriminare fra le tecnologie senza bisogno di andare nei dettagli tecnici. Se una tecnologia ha un EROEI minore di 1, è come il moto perpetuo; un'assurdità che possiamo scartare senza neanche bisogno di esaminarla a fondo. Per contro, più alto è l'EROEI migliore è, in principio, la tecnologia.

Facciamo un esempio con il caso dell'energia prodotta dalle celle fotovoltaiche; un caso dove esistono moltissimi studi dettagliati sulla questione. Secondo questi studi, l'EROEI della tecnologia fotovoltaica può avere un valore di 9-10 per pannelli in silicio di recente produzione. Questo vuol dire che un pannello fotovoltaico dell'ultima generazione produrrà nel corso della sua vita utile (oltre 25 anni) 9-10 volte più energia di quella che è stata necessaria per produrlo. In altre parole, se investissimo tutta l'energia prodotta da un pannello fotovoltaico nella

costruzione di altri pannelli fotovoltaici, troveremmo che dopo 25 anni un pannello di, diciamo, 100 metri quadri ha prodotto pannelli per circa 1000 metri quadri. Questa di ri-investire gli interessi di qualcosa è una tipica situazione che in campo finanziario chiamiamo "interesse composto". In questo caso lo possiamo calcolare come una resa del 9%-10% all'anno. Non è niente male rispetto a quello che le banche danno in questi tempi sugli investimenti monetari.

Nella pratica, calcolare l'EROEI di un sistema energetico non è cosa ovvia. Dobbiamo per prima cosa calcolare l'energia necessaria alla costruzione. Per questo bisogna sommare tutti i contributi energetici da tutte le sorgenti. Bisogna considerare l'energia per trasportare estrarre la materia prima dalla miniera e trasportarla in fabbrica; come pure quella per tutti i trattamenti e le lavorazioni. Non possiamo trascurare l'energia che è stata necessaria per costruire la fabbrica stessa, quella per riscaldare gli ambienti, l'energia usata dagli operai e dai tecnici per venire in fabbrica, come pure tutta l'energia che ci vuole per trasportare l'impianto sul luogo di utilizzo e poi montarlo, come pure per la costruzione di tutte le strutture ausiliarie. Dobbiamo anche tener conto dei costi che saranno necessari per smontare l'impianto alla fine del suo ciclo utile e per rimettere l'area utilizzata nelle condizioni iniziali. Questo tipo di calcoli si chiama "analisi di ciclo di vita" (Life cycle analysis, LCA) ed è normato rigorosamente, per esempio, dall'ISO (Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione). Dopo di che, si procede a calcolare l'energia che l'impianto produrrà durante il suo ciclo attivo previsto. Il rapporto fra le due grandezze, energia ottenuta e energia utilizzata, è l'EROEI.

Nonostante le norme, un'analisi completa di EROEI non è cosa semplice e dipende molto da alcune grandezze che si possono stimare al meglio possibile ma che non si possono determinare con precisione. Nessuna sorpresa che le stime siano variabili a seconda di chi le fa. A volte, l'incertezza è attribuibile a multiple possibilità fra le quali la scelta è opinabile, a volte alla volontà di chi fa le stime di esaltare o affossare una certa tecnologia.

C'è inoltre un problema che è quello dei "costi esterni". Questi sono tutti i costi (sia monetari che energetici) che non sono pagati dal produttore ma dalla società. Per esempio, nel caso del petrolio sono i costi dell'inquinamento, i costi del riscaldamento globale, i costi del ripulire le macchie di petrolio lasciate dalle petroliere e molte altre cose incluse le spese militari per la "sicurezza energetica". Le norme ISO – per ora – non richiedono di tener conto di queste cose, per esempio dell'energia che sarebbe necessaria per seppellire (o, come si dice, "sequestrare") una quantità di CO<sub>2</sub> pari a quella emessa dalla combustione del petrolio nella quantità che si sta considerando. L'inclusione di questi fattori nelle stime dell'EROEI porterebbe a dei notevoli vantaggi per le tecnologie rinnovabili, ma per il momento non addentriamoci in questo argomento. Limitamoci a dire che, per quanto incerta e difficile, l'EROEI è il miglior metro di giudizio che abbiamo per una tecnologia energetica e dobbiamo cercare di usarlo il meglio possibile.

Prima di andare a esaminare in dettaglio le stime degli EROEI per le varie tecnologie, dobbiamo ora approfondire un po' il concetto. I lettori scuseranno l'autore per le astruserie che seguono, ma non le possiamo ignorare se vogliamo

capire veramente di cosa stiamo parlando. Se comunque la cosa vi sgomenta, potete saltare direttamente alla sezione seguente "EROEI delle tecnologie energetiche"

In primo luogo, notiamo che esistono abbreviazioni e termini che indicano la stessa cosa dell'EROEI. Alcuni scrivono semplicemente EROI (Energy Returned on Investment). Altri parlano di "Energy Yield Return" (EYR) oppure di "Energy Payback Ratio" (EPR). Va menzionato anche il concetto di EMERGIA (Emergy) introdotto da Howard T. Odum. "Emergy" è un'abbreviazione di "Embedded Energy", ovvero "energia immagazzinata". L'idea è molto simile a quella dell'analisi di ciclo di vita (LCA) ma Odum ha cercato di definire in termini rigorosi le grandezze usate, partendo dall'origine ultima dell'energia, che è la radiazione solare. Per questo, l'emergia si misura secondo Odum in "Emjoule solari" (SEJ). Questa è una discreta astruseria che non considereremo qui in ulteriore dettaglio, limitandoci a notare che alla fine dei conti i calcoli di EROEI e quelli di Emergia devono risultare consistenti con il senso logico della faccenda, ovvero devono misurare la "resa energetica" del sistema.

Va notato che molti autori traducono i loro calcoli energetici in termini di "CO<sub>2</sub> risparmiata." Ovvero, assumono nel calcolo che l'energia necessaria per costruire l'impianto sia ottenuta da impianti convenzionali a combustibili fossili e che l'energia generata dal nuovo impianto sia utilizzata per evitare che qualche altro impianto a combustibili fossili produca CO<sub>2</sub>. Questo tipo di conti introduce un ulteriore parametro variabile: di che tipo di impianti a combustibili fossili si parla? Molto spesso, dietro questa scelta ci sono ragioni ideologiche tese ad affossare una o un'altra tecnologia – per esempio se si assume che l'energia elettrica necessaria per fabbricare celle fotovoltaiche venga generata da vecchie centrali a carbone, allora si riesce a fare della propaganda contro il fotovoltaico. Meglio non considerare questo tipo di approccio che si presta a ogni sorta di imbrogli.

Un altro concetto importante è quello del "Energy Payback Time," (EPT) ovvero tempo di ritorno energetico. L'EPT è cosa strettamente correlata all'EROEI ed è anch'esso un concetto intuitivo: è il tempo necessario perché un impianto produca una quantità di energia pari a quella che è stata necessaria per costruirlo. E' anche equivalente al ben noto concetto finanziario di "tempo di ritorno dell'investimento". Dopo che uno ha ripreso i soldi investiti, tutto quello che arriva in più è profitto.

Sempre ritornando all'esempio di prima, quello dell'energia fotovoltaica, se i pannelli hanno un EROEI, diciamo, di 9 e una vita di 30 anni, ne consegue che l'EPT dovrebbe essere di 30/9, circa 3 anni. Questo è abbastanza consistente con i vari calcoli che riportano un EPT del fotovoltaico di circa 2-5 anni. Notiamo comunque che la relazione fra EPT e EROI non si può determinare semplicemente come un rapporto. Può darsi che la resa di un sistema vari col tempo, per esempio degradandosi progressivamente come nel caso delle celle fotovoltaiche a silicio amorfo. In questo caso, il sistema potrebbe avere un buon EPT ma un basso EROEI.

Notiamo anche che il rapporto fra EROEI e EPT dipende comunque dalla lunghezza del ciclo di vita del sistema. Il fotovoltaico ha un buon EROEI, ma un EPT non particolarmente esaltante. Il contrario vale, come esempio, per le biomasse, che hanno EROEI abbastanza bassi (addirittura potrebbero essere minori di 1 in certi casi). Però, il ciclo di vita di una coltivazione è di soltanto un anno, per cui l'EPT della biomassa può essere migliore di quello del fotovoltaico.

Citiamo, per finire, come sia l'EROEI come l'EPT sono grandezze che possono variare con il tempo. Per le tecnologie rinnovabili, i progressi della tecnologia producono un continuo miglioramento. Il contrario vale per le tecnologie che si basano su risorse minerali, e quindi esauribili. In questo secondo caso, le migliorie tecnologiche non riescono, a lungo andare, a tenere il passo con il progressivo esaurimento delle risorse che causa un aumento dei costi (sia monetari che energetici) con la conseguente riduzione dell'EROEI e l'allungamento dell'EPT. Il caso classico, qui, è quello del petrolio che era partito con EROEI altissimi ai tempi d'oro dei pozzi "facili" ma il cui EROEI si è ridotto enormemente e potrebbe oggi essere addirittura minore di 1 se si tenesse conto di tutti i costi esterni, incluse le spese militari per il controllo dei

giacimenti.

## 2. EROEI delle tecnologie energetiche

Dopo tutte le astruserie della sezione precedente, possiamo andare al nocciolo della questione e cercare di classificare le tecnologie in funzione del loro EROEI. Ci sono molti dati e studi sull'argomento, la seguente tabella è adattata dal lavoro di David Elliott "A Sustainable Future" ([www.feasta.org/documents/wells/two/wellselliott.html](http://www.feasta.org/documents/wells/two/wellselliott.html)) e dal lavoro di Ian Hore-Lacy, pubblicato in "Before the wells Run Dry" Feasta 2003.

| Tecnologia                           | EROEI (Elliott) | EROEI (Hore-Lacy) | EROEI Altri autori                     | Note  |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------|--|---|
| Grande idroelettrico                 | 50-250          | 50-200            |  | Decade con il degrado dei bacini  |
| Mini idro                            | 30-270          |                   |  |   |
| Petrolio "anni d'oro"                | 50-100          |                   |  | Fino al 1970, circa   |
| Petrolio oggi                        |                 |                   | 5-15 <sup>[1]</sup>                    | Pozzi in esaurimento rendono l'estrazione sempre piu' costosa   |
| Eolico                               | 5-80            | 20                |  | Dipende dai siti. Potrebbe essere un ottimo valore, 50 -100, per le coste del Mare del Nord. E' minore (forse intorno a 20) per un tipico sito in Italia.   |
| Nucleare                             | 5-100           | 10-60             | <1 <sup>[2]</sup>                      | Come ovvio, ci sono infinite controversie su questo valore. Secondo alcuni, la tecnologia nucleare standard, "reattori ad acqua leggera" potrebbe avere una resa energetica minore di 1. Tuttavia, quasi certamente i reattori nucleari moderni hanno una resa energetica discretamente buona anche se non necessariamente superiore a quella di molte tecnologie rinnovabili |
| Fotovoltaico a film sottile          |                 |                   | 25-80 <sup>[3]</sup>                   |   |
| Fotovoltaico convenzionale (silicio) | 3-9             | 4-9               | <1 <sup>[4]</sup>                      | Il valore < 1 è tratto da un lavoro di Odum del 1994 ed è sicuramente obsoleto. Ha dato però origine alla diffusa leggenda urbana che ci vuole più energia per produrre un pannello fotovoltaico di quanto questo ne possa ridare nel corso della sua vita operativa. Ovviamente, questa è solo una leggenda, completamente falsa per le ultime generazioni di pannelli.      |
| Carbone                              | 2-7             | 7-17              |  |   |
| Gas Naturale                         |                 | 5 - 6             |  |   |
| Biomassa                             | 3-5             | 5-27              |  |   |
| Etanolo                              |                 |                   | 0.6 <sup>[5]</sup> -1.2 <sup>[6]</sup> | Ci sono molte controversie sull'EROEI dell'etanolo. Secondo Patzek e Pimentel è minore di 1, ma altri autori ritengono che sia intorno a 1.2 con particolari accorgimenti. Potrebbe non essere una cattiva idea, ma la cosa va fatta con molta cura   |

|                   |  |  |     |  |
|-------------------|--|--|-----|--|
| Sabbie bituminose |  |  | <1? | Anche sulle sabbie bituminose ci sono molte controversie. Può darsi che l'EROEI di estrazione sia maggiore di 1, ma è sicuramente basso e, secondo alcuni, minore di 1 |
|-------------------|--|--|-----|--|

Noterete come la "forbice" fra i vari risultati sia molto ampia e il lettore potrebbe ragionevolmente chiedersi che valore abbia questa selva di numeri. In realtà, come si diceva prima, questa analisi, pur incerta com'è, ha comunque un valore enormemente superiore a qualsiasi analisi basata su stime monetarie.

Osservando i dati della tabella, notiamo come il petrolio sia stato un evento forse irripetibile nella storia umana con la combinazione di un EROEI alto e di un rapido ciclo di ritorni. Fra la scoperta e lo sfruttamento, infatti, il ciclo di vita di un pozzo di petrolio può essere di pochi anni, per cui il punto di pareggio energetico arriva presto e tutto quello che si estrae dopo è profitto. Questo rapido ritorno è accoppiato a caratteristiche tecnologiche eccezionali, quali l'alta densità di energia sia in termini di volume come in termini di peso. Non c'è nulla all'orizzonte che possa produrre caratteristiche comparabili a quelle del petrolio. Tuttavia, già oggi, l'EROEI del petrolio si è molto abbassato per via del progressivo esaurimento dei pozzi a buon mercato. D'altra parte, è ovvio che, prima o poi, dovremo imparare a farne a meno.

Si lascia al lettore di esaminare la tabella e di trarne delle conclusioni. L'autore si limita qui ad aggiungere un dato utile, quello dell'effetto sull'EROEI dell'immagazzinamento dell'energia. Le rinnovabili sono spesso denigrate per il fatto di essere sorgenti intermittenti. Questo è vero, ma il problema si risolve con l'uso di appropriati sistemi di immagazzinamento. Da notare che non solo le rinnovabili hanno bisogno di questi sistemi ma anche il tanto blasonato nucleare, sia pure per motivi opposti, ovvero per il fatto che sono più efficienti quando sono tenuti a pieno regime tutto il tempo, ma questo rende difficile seguire le fluttuazioni della domanda.

Che effetto hanno i sistemi di stoccaggio energetico sull'EROEI? Ovviamente lo riducono, ma con le moderne batterie, non in modo critico <sup>[7]</sup>, per cui la necessità di immagazzinare l'energia non cambia il fatto che le rinnovabili hanno un EROEI maggiore, (in qualche caso molto maggiore) di uno.

### 3. Conclusione

L'esame della tabella della sezione precedente mostra che esistono tecnologie che hanno ritorni energetici (EROEI) più che buoni, anche se a tutt'oggi non ancora così buoni come quelli del petrolio degli anni d'oro.

In particolare, le rinnovabili, a volte bistrattate come giocattoli per hippy, hanno EROEI altrettanto buoni se non superiori, di tecnologie che a volte vengono presentate come "l'unica possibile soluzione per la crisi energetica" (per esempio, carbone o petrolio).

Ovviamente, nella scelta di una tecnologia, l'EROEI non è l'unico parametro da considerare. Fattori di vario tipo, incluso ambientali, strategici ed etici, giocano un ruolo importante. Per esempio, il carbone, che pure ha un EROEI accettabile, ha lo svantaggio di essere la tecnologia che emette la maggior quantità di CO<sub>2</sub> a parità di energia elettrica prodotta. Evidentemente, anche se l'EROEI del carbone fosse molto migliore di quello che è, non varrebbe la pena rischiare un catastrofico effetto serra planetario.

In generale, è molto improbabile che nel prossimo futuro una specifica tecnologia energetica prenda il sopravvento su tutte le altre e le faccia sparire. La cosa più probabile, specialmente tenendo conto degli investimenti pregressi, è che ci muoveremo verso un mix di tecnologie che evolverà nel tempo in funzione del progresso tecnologico, del progressivo esaurimento dei combustibili fossili e delle misure che vorremo prendere per evitare il riscaldamento globale. In un futuro un po' più lontano, è probabile che i miglioramenti tecnologici delle rinnovabili, o forse lo sviluppo di tecnologie nucleari sicure, pulite, e che usano combustibili abbondanti (forse la fusione nucleare), daranno un vantaggio tale a una specifica tecnologia che questa prenderà il sopravvento. Per ora, avremo un mix con un po' di tutto e dovremo adattarci. L'errore che potremmo fare è di investire in tecnologie che nascono già obsolete (il carbone) e che ci farebbero dei danni immensi.

Il progressivo esaurimento del petrolio non è un problema ma un'opportunità per passare a qualcosa di migliore. Nel futuro, gli investimenti fatti oggi su tecnologie pulite e rinnovabili ci daranno rese sicure e "fruttifere" come si diceva una volta dei buoni postali.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Cutler Cleveland Net energy from the extraction of oil and gas in the United States • *Energy, Volume 30, Issue 5, April 2005, Pages 769-782*
- <sup>2</sup> Storm van Leeuwen and Philip Smith, Nuclear Power: the Energy Balance, [www.oprit.rug.nl/deenen/](http://www.oprit.rug.nl/deenen/)
- <sup>3</sup> <http://www.originenergy.com.au/>
- <sup>4</sup> Howard T. Odum, ENVIRONMENTAL ACCOUNTING: Energy and Environmental Decision Making; Wiley, 1996
- <sup>5</sup> Pimentel D., Journal of agricultural and environmental ethics, vol.4, pp 1-13, 1991
- <sup>6</sup> Shapouri, H., Duffield, J. A. and Graboski, S. Estimating the NetEnergy Balance of Corn Ethanol. By U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Office of Energy. Agricultural Economic Report No. 721.1995
- <sup>7</sup> Energy analysis of batteries in photovoltaic systems: Part II. Energy return factors and overall battery efficiencies *Energy Conversion and Management, In Press*, Carl Johan Rydh and Björn A. Sandén

---

[1]

Cutler Cleveland Net energy from the extraction of oil and gas in the United States • *Energy, Volume 30, Issue 5, April 2005, Pages 769-782*

[2]

Storm van Leeuwen and Philip Smith, Nuclear Power: the Energy Balance, [www.oprit.rug.nl/deenen/](http://www.oprit.rug.nl/deenen/)

[3]

<http://www.originenergy.com.au/>

[4]

Howard T. Odum, ENVIRONMENTAL ACCOUNTING: Emery and Environmental Decision Making; Wiley, 1996

[5]

Pimentel D., Journal of agricultural and environmental ethics, vol.4, pp 1-13, 1991

[6]

Shapouri, H., Duffield, J. A. and Graboski, S. Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol. By U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Office of Energy. Agricultural Economic Report No. 721.1995

[7]

Energy analysis of batteries in photovoltaic systems: Part II. Energy return factors and overall battery efficiencies ARTICLE *Energy Conversion and Management*, **In Press**, Carl Johan Rydh and Björn A. Sandén