

# CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE



di Ugo Bardi<sup>1,2</sup>, Marco Pagani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Chimica

Università di Firenze

Polo Scientifico di Sesto Fiorentino (FI)

<sup>2</sup>Associazione per lo studio del picco  
del Petrolio (ASPO)

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

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

[marco-pagani@fastwebnet.it](mailto:marco-pagani@fastwebnet.it)

## IL PICCO DEI MINERALI

*La questione del “picco del petrolio” è piombata con prepotenza nell’orizzonte dei media, spinta all’attenzione del pubblico dai vertiginosi aumenti dei prezzi. Come per tutte le cose nuove, se ne parla spesso con leggerezza e con scarsa competenza. Eppure, la teoria e l’evidenza storica che stanno dietro al concetto di “picco di produzione” sono cose che non possono più essere nascoste sotto il tappeto con qualche frase di circostanza.*

Il concetto di picco del petrolio non è nuovo. Negli anni '50, Marion King Hubbert aveva proposto la sua “curva a campana” come un’ipotesi puramente empirica, esponendo per la prima volta quello che ancora oggi chiamiamo il “modello di Hubbert”. Hubbert aveva applicato il suo modello alla produzione petrolifera dei 48 stati meridionali USA, prevedendo il picco per il 1970, circa, data che si è poi rivelata corretta. La Fig. 1 mostra la curva di produzione come appare oggi.

Più tardi, il modello è stato applicato a molteplici casi di risorse non rinnovabili e anche lentamente rinnovabili. Si osserva che il modello è valido in generale in tutti i casi in cui l'estrazione e la produzione avvengono in condizioni di libero mercato e di stabilità economica e politica.

Il modello è stato anche analizzato dal punto di vista teorico da vari autori partendo da diversi punti di vista [1-5]. Non esiste ancora una teoria univoca, universalmente accettata, ma non c'è dubbio

che il picco e la curva a campana sono perfettamente compatibili con i concetti di base della scienza economica, non appena si abbandonano le assunzioni poco realistiche del “modello di Hotelling”, che va per la maggiore nei libri di testo. Ma il modo migliore per rendersi conto delle ragioni del picco è quello basato sulla teoria cosiddetta “dinamica”, ovvero basata sulla “dinamica dei sistemi”.

Il concetto di dinamica dei sistemi fu introdotto per la prima volta da Jay W. Forrester negli anni '60. L'idea è di trattare sistemi complessi, e in particolare sistemi economici, basandosi su equazioni differenziali che descrivono le relazioni fra i vari elementi del sistema. Chi ha una formazione di base in chimica potrà riconoscere in questo approccio una versione più evoluta e complessa di quel campo che va sotto il nome di “cinetica chimica”, anche quello basato su equazioni differenziali. La maggior parte dei sistemi chimici reattivi sono molto semplici; ma esistono anche dei casi più complessi che producono sistemi oscillanti, come quella detta di Belousov-Zhabotinsky.

Ma il campo di applicazione più tipico della dinamica dei sistemi è nella biologia, dove possiamo riconoscere il classico modello “predatore-preda” di Lotka-Volterra come l’antesigiano del moderno approccio.

Nella descrizione dell’andamento della produzione di una risorsa minerale, ci si basa su una serie di feedback che possono essere formalizzati matematicamente ma che, qui, possiamo limitarci a descrivere in modo qualitativo. Nella versione più semplice, si suppone che la produzione generi un ritorno economico che viene in parte reinvestito nel generare nuova produzione (feedback positivo). L’esistenza di questo feedback genera un aumento esponenziale della produzione in un andamento che è simile a quello di una popolazione in crescita. Questo andamento esponenziale, tuttavia, non può continuare all’infinito e viene contrastato sempre di più dal feedback negativo che deriva dal progressivo aumento dei costi di estrazione. Si suppone, come è ragionevole che sia, che le risorse facili (ovvero a basso costo) siano quelle estratte per prime. Gradualmente, i costi crescenti riducono i profitti e la capacità di investimento in ulteriore estrazione. A un certo momento, gli investimenti non ce la fanno più a generare nuove capacità produttive tali da contrastare il progressivo esaurimento delle vecchie. La produzione passa per un massimo e comincia a declinare.

Queste assunzioni possono essere messe in forma matematica e generano una curva a campana approssimativamente simmetrica, così come aveva proposto Hubbert per primo. Questa curva può anche essere descritta con buona approssimazione mediante la derivata di una curva logistica. Ulteriori assunzioni nel modello possono tener conto di elementi come il progresso tecnologico e l’interazione con altri settori dell’economia. In questo caso, spesso la curva perde simmetria, con la fase del declino più ripida di quella della fase di ascesa, ma non entreremo qui in dettagli su questo argomento. C’è un punto fondamentale nel modello che va discusso vista la confusione che se ne fa spesso: quello della definizione di “risorsa”. Il modello di Hubbert ha in input un parametro che viene definito come “ammontare delle risorse.” Il fatto che questo parametro abbia un valore fisso nel modello ha generato critiche che si appuntano sul fatto che il concetto di “risorsa estraibile” non è fisso ma dipende da fattori economici. Ovvero, un aumento dei prezzi di mercato come quello che si è verificato recentemente per il petrolio rende estraibili risorse petrolifere che, previamente, non erano considerate tali. Secondo alcuni, il fatto che il modello di Hubbert consideri fisse queste riserve lo invalida completamente “a priori”.

Questa critica nasce da una mancata comprensione di come funziona il modello di Hubbert. In primo luogo, il modello nella sua forma più semplice è un’approssimazione ed è perfettamente possibile modificarlo in funzione di un parametro variabile che tiene conto

dei prezzi e che quindi modifica la quantità di risorse disponibili. Anche in questo caso, tuttavia, il modello genera una curva a campana; anche se non necessariamente simmetrica. Ma, la questione è più sottile e richiede una spiegazione dettagliata. È ovvio che a un certo punto, esaurito il ciclo di estrazione, la risorsa non viene più estratta e, a questo punto, sappiamo esattamente qual era il valore della quantità che chiamiamo “risorsa estraibile”.

A questo punto, questa quantità è fissa e non modificabile. Si pensi, per esempio, al carbone francese, che non si estrae più dal 2005 (Fig. 2).

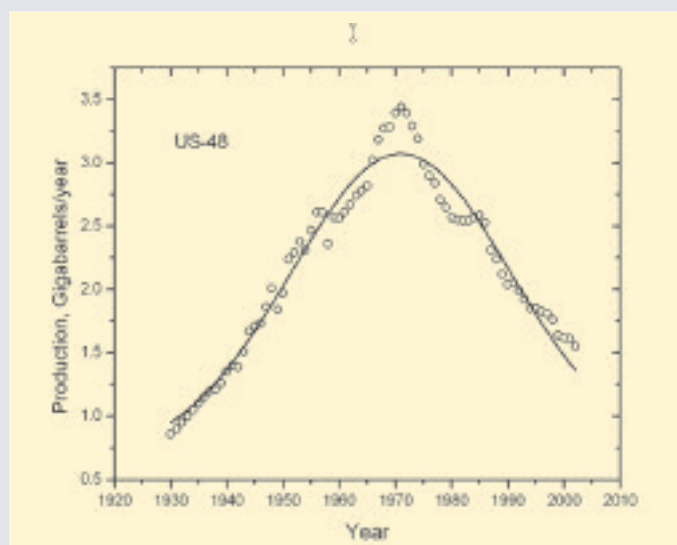


Fig. 1 - Il picco della produzione petrolifera nei 48 stati meridionali degli Stati Uniti. Questo è il primo caso storico in cui la forma “a campana” della curva di produzione è stata riconosciuta. Il picco è stato nel 1970 ed era stato già previsto da Marion King Hubbert nel 1956. Dati da ASPO internazionale, elaborazione degli autori mediante una curva logistica Assessment, Washington, DC, 2005)

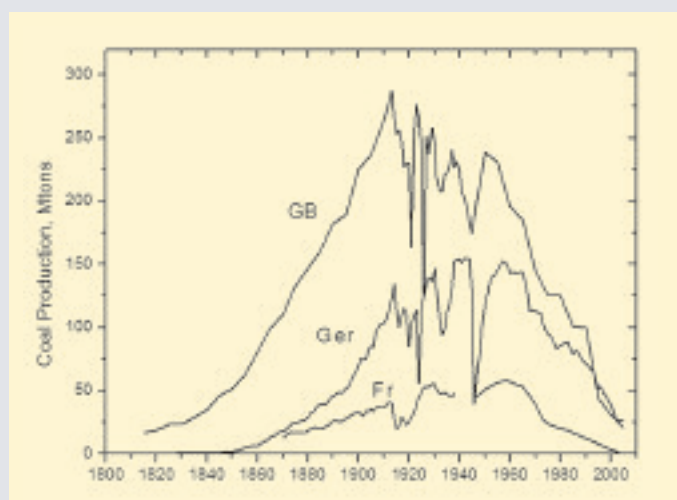


Fig. 2 - Curve della produzione di carbone per i principali produttori europei. Dati ottenuti da: The Coal Authority, Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) e Charbonnages de France

# CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE



Fig. 3 - Produzione storica e stimata di gas naturale e petrolio della Russia (sorgente: ASPO internazionale, [www.peakoil.net](http://www.peakoil.net))

In questo caso conosciamo esattamente quanto carbone era estraibile in Francia nel ciclo di estrazione che è cominciato verso la metà del secolo XVIII e la cui produzione, incidentalmente, ha seguito una curva di Hubbert abbastanza ben definita.

Se per ipotesi questo parametro fosse stato noto, diciamo, al tempo della rivoluzione francese, nel 1789, sarebbe stato possibile fare delle buone predizioni per la produzione del carbone francese fino ai nostri tempi usando quel parametro come input del modello di Hubbert. Ovviamente, questo non era possibile a quel tempo e anche oggi è difficile fare delle stime esatte delle quantità estraibili basandosi unicamente su parametri geologici. Tuttavia, è possibile usare la curva di produzione storica per stimare la quantità totale estraibile mediante un fitting usando una curva – per esempio – logistica. Nella pratica, chi lavora su questi dati usa un approccio euristico, basandosi in parte su dati geologici, ma anche sul fitting della curva. Nella maggior parte dei casi, si vede che il fitting della curva è in buon accordo con i dati geologici; ma questi ultimi possono essere scelti in modo tale da ottimizzare la qualità del fitting. Vediamo quindi che il parametro “risorse” in input al modello è una quantità variabile, non fissa!

In altre parole, il modello ci dice che non tutto quello che è geologicamente estraibile sarà effettivamente estratto. Vediamo quindi che il modello di Hubbert non è assolutamente un modello “soltanto geologico”, come viene spesso affermato. Per essere estraibile, una risorsa deve esistere fisicamente (come è ovvio) ma devono anche esistere le risorse economiche necessarie per estrarla. Una risorsa può benissimo esistere fisicamente ma essere talmente

cara da estrarre da non generare profitti. In questo caso, nessun operatore si impegnerà nell'estrazione e di conseguenza la risorsa non viene prodotta, proprio come se non esistesse fisicamente.

Questo è un punto fondamentale che genera molta confusione nel dibattito attuale. È talmente fondamentale che vale la pena di ripetere il concetto: la produzione di una risorsa minerale non può essere modellizzata sulla base della sola geologia o della sola economia. Nel primo caso, vediamo geologi che allineano risorse una accanto all'altra come se fossero soldati in riga alla parata, senza preoccuparsi del fatto che l'estrazione di queste risorse richiede capitali che nessuno tirerà mai fuori se non vede la possibilità di un profitto. Nel secondo caso, vediamo economisti che usano sofisticati modelli per determinare la domanda di una certa risorsa per poi subito dopo cadere nell'approccio estremamente semplificato di assumere a priori che esistano comunque risorse in grado di generare un'offerta corrispondente. Entrambi questi approcci hanno portato – e continuano a portare – a errori clamorosi e, in generale, a una fiducia ingiustificata sulle capacità dell'industria minerale di continuare le tendenze di crescita degli ultimi decenni.

Basterà ricordare a questo proposito come, negli anni Sessanta, il servizio geologico degli Stati Uniti (USGS) abbia sovrastimato di almeno un fattore 3 le risorse estraibili nazionali di petrolio [6]. È questo l'errore tipico dell'approccio puramente geologico al problema. Non è che le risorse che l'USGS elencava non esistessero; esistevano in termini geologici, ma non erano “estraibili” nelle condizioni di mercato del ventesimo secolo. Dall'altra parte, un esempio di un errore altrettanto clamoroso arriva dall'IEA ([www.iea.com](http://www.iea.com)) che ha completamente mancato di prevedere in anticipo il declino della produzione petrolifera messicana del 2006. L'IEA aveva semplicemente estrapolato le tendenze dei consumi e fatto l'ipotesi a priori che si sarebbero stati fatti gli investimenti necessari per mantenere la crescita. Ma i capitali da investire non nascono sotto i cavoli, soprattutto le enormi somme necessarie oggi per sviluppare nuovi giacimenti petroliferi. Perciò, le risorse che l'IEA indicava come estraibili non lo sono state.

L'evidenza storica per la validità del modello di Hubbert è ormai considerevole, anche se spesso non immediatamente accessibile a chi cerca di interessarsene sulla base del materiale disponibile. La curva a campana è un universale evidente, posto che la si cerchi per sistemi nei quali valgono le considerazioni alla base del modello che abbiamo descritto, ovvero libero mercato e stabilità politica.

Tenendo conto di queste considerazioni possiamo spiegare le eccezioni che vengono a volte portate come argomento contro la teoria di Hubbert. Ci sono molti casi storici in cui la curva di produzione, per esempio del petrolio, appare irregolare o mostra due o più picchi.

In generale, si può far corrispondere ogni picco a una diversa fase socio-politica del sistema di estrazione. Emblematico è il caso dell'Unione Sovietica, dove osserviamo due picchi di produzione di petrolio molto netti. Il primo corrisponde alle condizioni del sistema economico centralizzato sovietico, il secondo a quelle del sistema economico più liberalizzato che lo ha sostituito.

Secondo l'economista americano Douglas Reynolds [5], il sistema liberistico favorisce scelte imprenditoriali più arrischiate e ha permesso accedere a delle risorse petrolifere che il vecchio sistema sovietico non era in grado di estrarre. A queste considerazioni di Reynolds, possiamo aggiungere che il crollo dell'Unione Sovietica aveva permesso di liberare risorse economiche fino ad allora bloccate in spese militari e che è stato possibile canalizzare verso l'industria petrolifera. Comunque si vogliano vedere le cose, in ogni caso, alle due fasi politiche della regione, corrispondono condizioni economiche diverse. In ciascuna delle due fasi vale lo stesso modello di estrazione, ma con diversi parametri che corrispondono a diverse quantità di petrolio estraibile.

Da notare, a questo proposito, il confronto con il caso degli Stati Uniti, dove la curva di estrazione mostra un solo picco. Qui, non c'è stata una discontinuità politica e, pertanto, l'estrazione è continuata all'interno di un sistema economico che è rimasto sostanzialmente stabile. In questo caso, la legge di Hubbert è nettissima. Ci sono moltissimi altri casi del genere, per esempio l'estrazione del carbone in Europa mostra singole curve a campana molto evidenti (Fig. 3). Curve a campana molto nette si trovano anche nel caso di sistemi biologici. È questo, il caso, per esempio, della cac-

cia alle balene nel secolo XIX che ha portato alla scomparsa quasi completa delle specie cacciate a quell'epoca [7].

Data l'universalità della teoria di Hubbert, si tratta ora di valutarne le conseguenze. In effetti, una delle obiezioni che viene fatta a volte in proposito, non è tanto sul fatto che la teoria in se non sia valida, ma sulla sua importanza ai fini pratici. "È vero," si dice, "che avremo un picco di produzione del petrolio in un certo momento del futuro. Ma che importanza ha? Sostituiremo il petrolio con altre risorse, proprio come abbiamo fatto nel passato con il carbone."

Questa non è una vera e propria obiezione, ma è un punto che merita considerazione. La questione del picco del petrolio è spesso accompagnata da un atteggiamento che possiamo definire come "millenaristico" che molti trovano fastidioso e ingiustificato. In effetti, se prendiamo il picco del petrolio come un evento isolato, per quanto il petrolio sia importante nel nostro mondo non lo possiamo considerare insostituibile. Ci sono altri modi di generare energia e – per esempio – i sostenitori dell'energia nucleare citano spesso il picco del petrolio come una ragione per la necessità di nuove centrali. Chi non crede al nucleare, propone l'energia rinnovabile e, in generale, possiamo utilizzare altre risorse per ottenere tutti quei materiali e quelle tecnologie che il petrolio ci ha fornito fino ad oggi, non solo carburanti ma anche fertilizzanti e materie plastiche.

Il problema è che il picco del petrolio non è e non può essere un fenomeno isolato. Abbiamo visto come la teoria che sta dietro il concetto è di validità generale. Quindi, si applica a tutte le risorse minerali (e non solo). Per esempio, si applica altrettanto bene all'uranio utilizzato come combustibile per le centrali nucleari.

È emblematico qui il caso della Francia, dove l'estrazione di uranio minerale ha seguito un andamento molto simile a quello del petrolio in altri casi (Fig. 4); incluso la sovrastima grossolana delle risorse disponibili da parte delle agenzie (teoricamente) competenti al riguardo. Nel 1990 si stimavano infatti riserve per 130 kt, mentre da allora a oggi ne sono state estratte poco più di 11 e i giacimenti sono completamente esauriti.

Per quanto riguarda la produzione mondiale di uranio, ci si aspetta un picco entro un decennio (EWG 2007) mentre anche qui le stime delle agenzie del caso si riveleranno probabilmente eccessive. Come sempre, il problema è che non tutto quello che è geologicamente estraibile lo è anche economicamente.

La questione è dunque complessa e in una visione dinamica, tutte le risorse minerali sono legate fra di loro. In altre parole, il picco dei minerali energetici, come petrolio, gas e carbone, genera una carenza di energia che va ad avere il suo effetto anche su risorse geologicamente abbondanti. Persino per il silicio, uno degli ele-

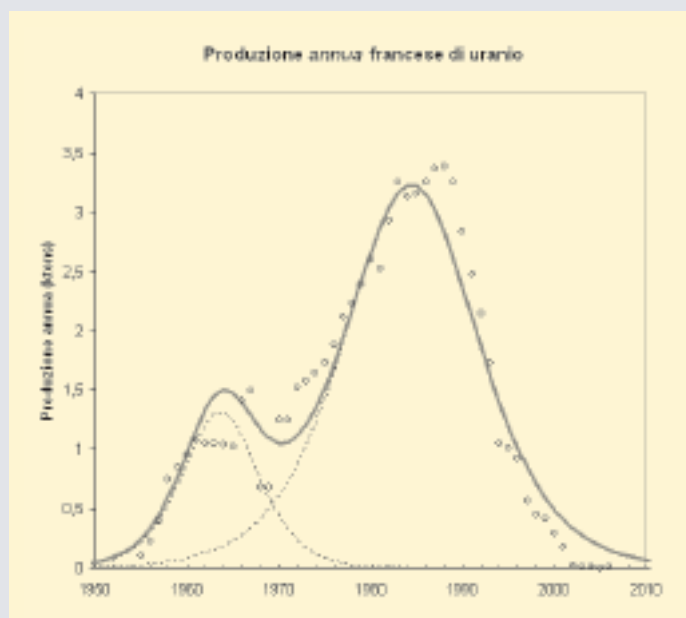


Fig. 4 - Il picco dell'uranio francese. Dati ottenuti da The oil drum e da francenuc.org.

# CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE

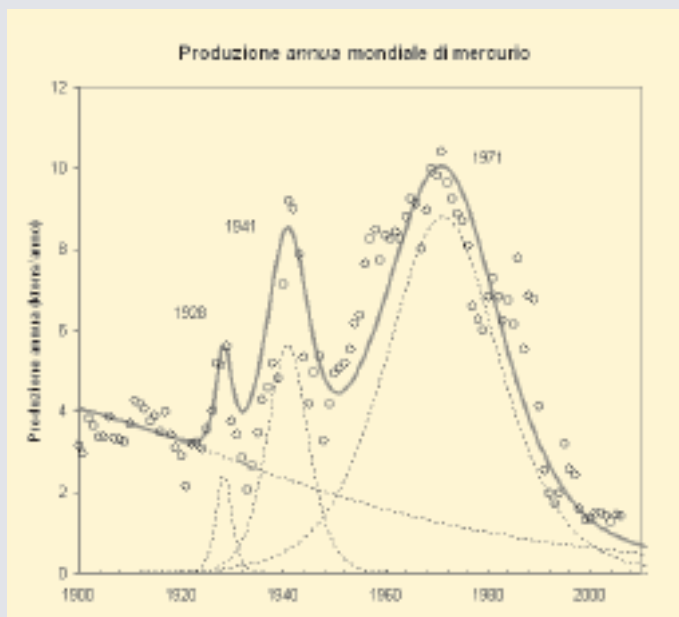


Fig. 5 - Produzione mondiale di mercurio. Dati ottenuti da [13] (USGS) e [9] per la produzione antecedente il 1900

menti più abbondanti della crosta terrestre, possiamo aspettarci un picco a breve scadenza se ci troveremo di fronte a una carenza di energia per estrarlo.

Un modello dinamico completo dell'estrazione di tutte le risorse minerali non è stato costruito fino ad oggi ma possiamo affidarci a considerazioni qualitative che ci indicano, tuttavia, che la produzione della maggior parte dei minerali è destinata a declinare come un effetto congiunto sia del graduale esaurimento delle risorse ad alta concentrazione, sia del graduale aumento dei costi dell'energia. Queste considerazioni possono essere quantificate utilizzando il metodo semplificato che abbiamo accennato all'inizio. Ovvero, si tratta di approssimare la curva di Hubbert come la derivata di una logistica e fittare i dati storici delle curve di produzione per ottenere una stima delle quantità totali estraibili.

Questo approccio, esaminato da Bardi e Pagani nel 2007 [8] ha portato ad analizzare in primo luogo la produzione di mercurio, il metallo di gran lunga più sfruttato nella storia dell'umanità (Fig. 5). I picchi del 1928 e 1941 sono legati alla congiuntura politico-economica (crisi del '29 e guerra mondiale), mentre il picco principale del 1971, è legato alla minore disponibilità della risorsa mineraria, che ha portato ad una diminuzione progressiva della produzione, oggi estremamente ridotta.

È importante osservare che l'Environment Protection Agency americana ha definito il mercurio *inquinante atmosferico pericoloso* proprio nel 1971, mentre gli interventi legislativi volti a ridurre l'impiego a causa della sua nocività sono venuti dopo il picco della produzione.

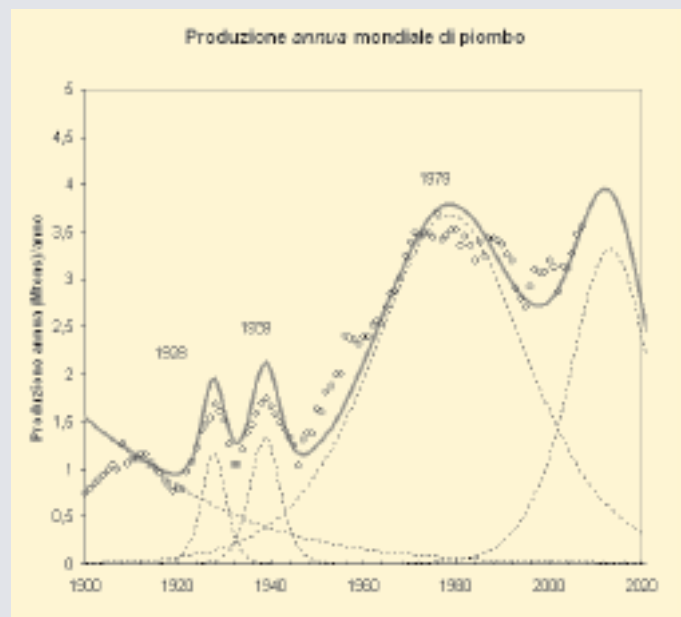


Fig. 6 - Produzione mondiale di piombo. Dati ottenuti da [13] (USGS) e [14] per la produzione antecedente il 1900

Ognuno dei picchi può essere fittato utilizzando la derivata di una logistica (curve tratteggiate); dal punto di vista del modello, è come se un nuovo giacimento venisse messo in produzione in corrispondenza all'introduzione di ogni curva. La curva continua rappresenta la somma dei vari contributi; l'accordo con i valori storici di produzione è piuttosto buono.

L'area complessiva sotto a quest'ultima curva rappresenta la *Ultimately Recoverable Resource* (URR), ovvero la quantità complessiva estraibile di un dato minerale. Tenendo conto anche della produzione precedente al 1900, corrispondente a circa  $4,5 \times 10^5$  t [9], il fit logistico prevede per il mercurio una URR pari a  $1,02 \times 10^6$  t (di cui il 95% già estratto). Questo valore è in ottimo accordo con la quantità ottenibile dai dati USGS di  $1,02 \times 10^5$  t (ottenuta sommando le riserve indicate dall'USGS con la produzione cumulativa fino al 2007).

Il piombo presenta un comportamento analogo con picchi "storici" nel 1928 e 1939 e un picco assai marcato nel 1979 (Fig. 6). Anche in questo caso, il *Lead Contamination Control Act* che limita l'impiego del piombo, è posteriore al picco, perchè risale al 1988.

La produzione è ripresa a partire dagli anni 2000 soprattutto per il rapido sviluppo industriale cinese, ma secondo il fit logistico tale ripresa non dovrebbe durare a lungo, dal momento che è previsto un picco "definitivo" tra il 2010 e il 2020.

Si tratta di una previsione troppo pessimistica?

Non si direbbe, se si confronta il valore di URR ottenuto dal nostro modello,  $4,56 \times 10^8$  t, con quello dell'USGS, pari a  $4,66 \times 10^8$  t.

L'analisi dei dati estrattivi è stata svolta anche per altri minerali piut-

tosto rilevanti dal punto di vista tecnologico (vedi Tabella). La stima dell'URR mediante il modello logistico è in buon accordo con quella ottenibile dalle riserve dell'USGS e in quattro casi (zinco, molibdeno, nickel e rame) tale stima è *più ottimistica* di quella del servizio geologico!

Particolarmente significativo è il caso del rame la cui produzione annua è in continua crescita, a parte piccole oscillazioni legate alle guerre mondiali e alla crisi del '29. Un fit esponenziale dei dati fornisce una crescita media della produzione del 3%.

Un'ipotetica crescita *esponenziale* di questo tipo porterebbe a raddoppiare la produzione attuale (16 milioni di t/anno) verso 2030. A quel punto però l'estrazione si interromperebbe per esaurimento delle riserve (la produzione cumulativa equivarrebbe cioè alla URR di 1 miliardo di t).

Uno scenario di questo tipo è naturalmente del tutto irrealistico, perchè il rame non si trova in un magazzino da cui può essere prelevato a piacimento, ma deve essere estratto da giacimenti sempre più marginali e a bassa concentrazione, con costi di produzione crescenti.

Per questo, è assai più probabile che il rame seguirà una curva derivata logistica come quella in Fig. 7, con un picco tra gli anni 2030 e 2040. Il rame *non* si esaurirà nel 2030, ma la sua disponibilità sarà sempre minore.

Per quanto riguarda il rame, l'USGS stima che, oltre alle attuali riserve di 490 milioni di t, esistano altre 450 milioni di t di riserve "subeconomiche e marginali" e 3 miliardi di t di "risorse" non

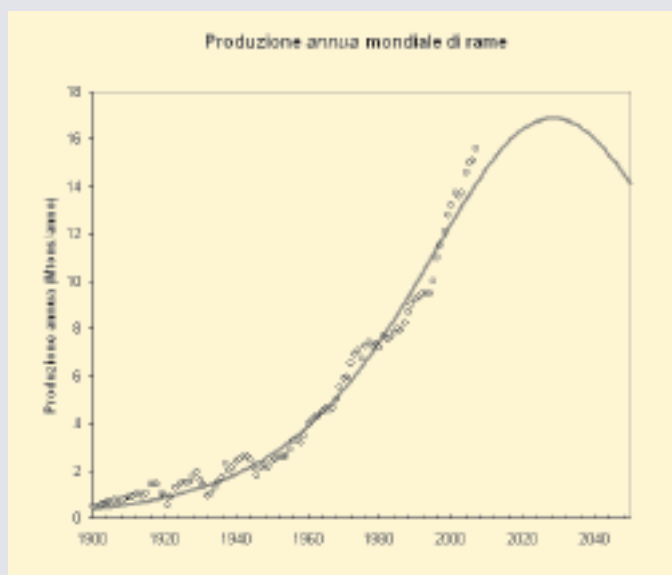


Fig. 7 - Produzione mondiale di rame. Dati ottenuti da [13] (USGS)

meglio specificate. Questi numeri potrebbero fare pensare che uno scenario come quello descritto dalla logistica di Fig. 7 sia troppo pessimistico e che "là fuori" ci sia in realtà molto più rame di quello che pensiamo.

Si tratta di una conclusione estremamente azzardata, dal momento che non è corretto sommare tra di loro i valori di riserve con diversi valori di concentrazione. Questo fatto può essere illustrato prendendo in considerazione lo sfruttamento della miniera di rame di Cujaone, in Perù [10]. Nel centro del filone la concentrazione di rame era dell'1,3%, ovvero si sono dovute smuovere 18 milioni di tonnellate di roccia per ottenerne 0,24 di metallo. Alla periferia del filone la concentrazione scendeva allo 0,87% e si sono ottenute 4,4 milioni di t di rame da 510 milioni di t di roccia. A quel punto esistevano ancora altre 60.000 t di metallo di "riserve marginali" nella zona esterna al filone, ma per poterle recuperare si sarebbero dovute scavare altre 960 milioni di t di roccia!

Un'altra obiezione comune allo scenario del picco è legata al fatto che i miglioramenti tecnologici ci permettono di sfruttare meglio i giacimenti esistenti. Nel 1976 era per esempio conveniente estrarre rame con una concentrazione minima dello 0,35%, mentre ora si utilizzano anche giacimenti con un minimo dello 0,16%.

Quando si fanno queste affermazioni ci si dimentica però di notare che il costo energetico per estrarre una tonnellata di rame allo 0,16% è oltre il triplo di quello necessario per lo 0,35%. Esistono cioè limiti energetici ben precisi allo sfruttamento di una risorsa mineraria. Se l'attuale produzione mondiale di rame dovesse essere estratta dalla crosta terrestre (concentrazione media di 65 ppm) occorrerebbe tutta l'energia ottenuta dall'estrazione congiunta di carbone, petrolio e gas naturale [11]!

Tabella

| Minerale  | URR (t)<br>logistica | USGS                 | Variazione %  |
|-----------|----------------------|----------------------|---------------|
| Mercurio  | 1,02x10 <sup>6</sup> | 1,05x10 <sup>6</sup> | -2,86%        |
| Piombo    | 4,56x10 <sup>8</sup> | 4,65x10 <sup>8</sup> | -1,94%        |
| Cadmio    | 1,40x10 <sup>6</sup> | 1,50x10 <sup>6</sup> | -6,67%        |
| Antimonio | 6,90x10 <sup>6</sup> | 7,45x10 <sup>6</sup> | -7,38%        |
| Oro       | 1,60x10 <sup>5</sup> | 1,80x10 <sup>5</sup> | -11,11%       |
| Zinco     | 7,10x10 <sup>8</sup> | 5,72x10 <sup>8</sup> | <b>24,13%</b> |
| Argento   | 1,50x10 <sup>6</sup> | 1,59x10 <sup>6</sup> | -5,66%        |
| Stagno    | 2,50x10 <sup>7</sup> | 2,50x10 <sup>7</sup> | 0,00%         |
| Molibdeno | 1,70x10 <sup>7</sup> | 1,40x10 <sup>7</sup> | <b>21,43%</b> |
| Nickel    | 1,85x10 <sup>8</sup> | 1,13x10 <sup>8</sup> | <b>63,72%</b> |
| Rame      | 1,69x10 <sup>9</sup> | 1,00x10 <sup>9</sup> | <b>68,72%</b> |

# CHIMICA & LIMITI DELLE RISORSE

Si obietta infine che la scoperta di nuovi giacimenti potrebbe fare aumentare la URR e quindi dare possibilità alla produzione di tornare a crescere. Se esaminiamo la storia delle scoperte di rame negli USA, vediamo che nel 1934 era possibile stimare una URR di 40 milioni di tonnellate [12]; nel 1976 tale valore era salito a 154 milioni di t [10]. Oggi, secondo i dati USGS tale valore è di 156 milioni di t, ovvero è praticamente invariato.

## Conclusioni

Il picco dei minerali, e in particolare il picco del petrolio, non sono delle teorie per il futuro ma delle osservazioni sperimentali ormai confermate e comuni per molti sistemi economici e per molti tipi di risorse. Il picco non rappresenta la "fine della risorsa" come a volte si sente dire erroneamente. Tuttavia è l'inizio di una fase di difficoltà in cui la produzione di risorse importanti per l'economia comincia a risentire fortemente del graduale esaurimento.

Dei vari picchi che ci aspettiamo di incontrare nel futuro, quello sul petrolio è probabilmente il più vicino e potrebbe verificarsi entro pochi anni. Anche molti metalli di importanza tecnologica sembrano essere vicini al picco o averlo già passato; questo non tanto per la loro scarsità fisica in quanto minerali, ma per la crescente scarsità di energia derivata dai combustibili fossili.

Ancora, bisogna ribadire che il picco non rappresenta una discontinuità brusca nella disponibilità delle risorse, ma una fase di sempre maggiore difficoltà di approvvigionamento. Nei prossimi anni e decenni si potrebbero verificare riduzioni importanti o produzione di materiali fondamentali per l'economia. Questo ci dovrà necessariamente far ripensare al paradigma economico corrente di una crescita illimitata basato su una disponibilità illimitata di materiali ed energia. Nuovi sistemi economici e produttivi saranno necessari, in particolare per permettere un maggior riuso e riciclo dei materiali.

## Bibliografia

- [1] R.F. Naill, Managing the Discovery Life Cycle of a Finite Resource: A Case Study of U.S. Natural Gas. Master's Thesis Submitted to the Alfred P. Sloan School of Management. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA 02139, 1972.
- [2] R.F. Naill, "The Discovery Life Cycle of a Finite Resource", in "Towards Global Equilibrium; collected papers D.L. Meadows and D.H. Meadows (Eds.) Cambridge Mass., 1973.
- [3] U. Bardi, *Energy Policy*, 2005, **33**(1), 53.
- [4] S.P. Holland, "Modelling Peak Oil", 2006, [www.be.wvu.edu/div/econ/Seminar20Series%20Spring%202006/Holland%20Peak20Oil\\_1.pdf](http://www.be.wvu.edu/div/econ/Seminar20Series%20Spring%202006/Holland%20Peak20Oil_1.pdf)
- [5] D.B. Reynolds, *Ecological Economics*, 1999, **31**, 155.
- [6] J.D. Sterman, G.P. Richardson, *Journal of Forecasting*, 1985, **4**, 197.
- [7] U. Bardi, *Energy Sources part b*, 2007, **2**(3), 297.
- [8] U. Bardi, M. Pagani, "Peak minerals, The Oil Drum, <http://europe.theoil Drum.com/node/3086>
- [9] L.D. Hylander, M. Meili, *The science of the total environment*, 2003, **304**, 13.
- [10] E. Cook, *Science*, 1976, **191**, 676.
- [11] U. Bardi, "The Universal Mining Machine", The Oil Drum, 2008, <http://europe.theoil Drum.com/node/3451>
- [13] T. Kelly et al., *Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the U.S.*, Open File Report 2001-006 (U.S. Geol. Survey, Washington, DC) (2006, accessed), <http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/#data>
- [12] C.K. Leith, *Science*, 1935, **82**, 109.
- [14] D.A. Singer, *Economic Geology*, 1995, **90**, 88.
- [15] R. Bentley, "An oil production model", 2008, <http://europe.theoil Drum.com/node/4382>

## ABSTRACT

### The Production Peak of Minerals

We examine the production trends of the world's mineral commodities using a model that is based on the observations of Marion King Hubbert in the 1950s on oil production trends. The model is based on the experimental observation that most mineral resources extracted or produced in a free market environment show a "bell shaped" production curve that can be approximated by the derivative of a logistic. The curve is the result of the interaction of economic and geological factors: as the least expensive resources are exploited, larger investments are needed to extract progressively more expensive resources. Eventually, the high costs of investments generate a production peak and a successive slowdown. The examination of the world market of mineral resources shows that fossil fuels, and in particular petroleum, may be close to worldwide peaking. Several other mineral resources have peaked or appear to be on the verge of peaking. This situation explains the present increases and instabilities on the world prices of most mineral commodities.