



[La fisica dell'energia e dell'economia](#)

Di **Gail Tverberg**, da una [versione originale inglese](#) postata in Our Finite World il giorno 8 febbraio 2016.

Traduzione **Massimiliano Rupalti**, revisione **Roberto Ceccotti**.

Mi approccio al tema della fisica dell'energia e dell'economia con una certa trepidazione. Un'economia sembra essere un [sistema dissipativo](#), ma questo in realtà cosa significa? Non sono molte le persone che capiscono i sistemi dissipativi, e molto poche capiscono come funziona un'economia. La combinazione delle due cose porta a moltissime false credenze sul fabbisogno energetico di un'economia.

Il principale problema che abbiamo di fronte è che, in quanto sistema dissipativo, ogni economia ha un proprio fabbisogno energetico, così come ogni foresta, o pianta, o animale ha il proprio, in forma di luce solare o altro. Un uragano è un altro sistema dissipativo, in quanto ha bisogno dell'energia che ottiene dall'acqua calda dell'oceano; se si sposta sulla terraferma, si indebolisce subito e poi svanisce. C'è una gamma piuttosto ristretta di livelli di energia accettabili: per esempio un animale senza cibo sufficiente si indebolisce ed è più probabile che venga mangiato da un predatore o che soccomba ad una malattia, mentre una pianta senza luce solare sufficiente è probabile che si indebolisca e che muoia.

In realtà, gli effetti di flussi energetici inadeguati si potrebbero propagare su scala più vasta della singola pianta o del singolo animale che si indebolisce e muore. Se una pianta muore perché è parte di una foresta che nel tempo è cresciuta così fitta che le piante del sottobosco non possono ricevere luce sufficiente, allora il problema potrebbe essere più grande. Il materiale vegetale delle piante morte si può accumulare al punto da favorire gli incendi; e un incendio può bruciare un'area piuttosto vasta della foresta. Pertanto, il risultato indiretto potrebbe essere la fine di una parte dell'ecosistema forestale stesso.

Come dovremmo aspettarci che si comporti un'economia nel corso del tempo? Lo schema dell'energia dissipata durante il ciclo di vita di un sistema dissipativo varierà a seconda del sistema considerato. Negli esempi che faccio, lo schema sembra in qualche modo seguire ciò che Ugo Bardi chiama un "Dirupo di Seneca".

The Seneca cliff

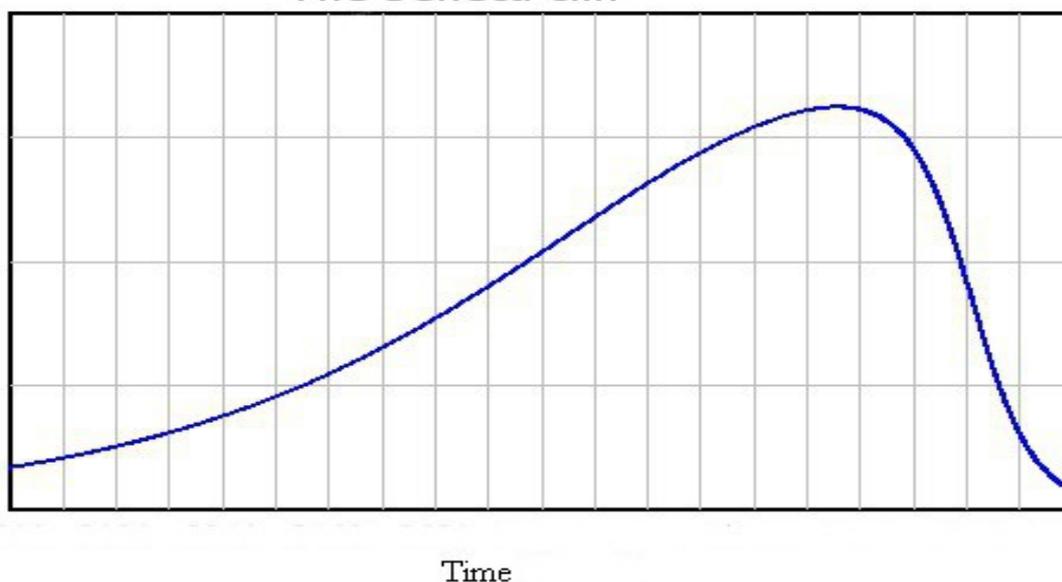


Figura 1. Dirupo di Seneca di [Ugo Bardi](#)

Lo schema del dirupo di Seneca è chiamato così perché molto tempo fa, [Lucio Seneca ha scritto](#):

“Sarebbe una consolazione per la nostra debolezza e per i nostri beni se tutto andasse in rovina con la stessa lentezza con cui si produce e, invece, l'incremento è graduale, la rovina precipitosa”.

Il luogo comune *errato* sulla fisica dell'energia e dell'economia

C'è un luogo comune, **errato**, circa la fisica di energia ed economia, ed è la credenza secondo cui possiamo in qualche modo far funzionare l'economia senza tanta energia.

Secondo questa errata convinzione, la sola fisica davvero rilevante è la termodinamica dei giacimenti di petrolio e degli altri depositi di energia. Tutti questi giacimenti si esauriscono se vengono sfruttati nel tempo; inoltre sappiamo che questi giacimenti esistono in numero finito. Pertanto, sulla base del Secondo Principio della Termodinamica, la quantità di energia libera che sarà disponibile in futuro tenderà ad essere inferiore a quella attuale. Questa tendenza sarà particolarmente pronunciata quando il “picco” della produzione petrolifera sarà raggiunto.

Secondo questa visione errata dell'energia e dell'economia, tutto ciò che dobbiamo fare è progettare un'economia che usi meno energia. Probabilmente potremmo farlo aumentando l'efficienza e cambiando la natura dell'economia, orientandola maggiormente verso l'utilizzo dei servizi. Se aggiungiamo anche le energie rinnovabili (anche se sono care), l'economia dovrebbe essere in grado di funzionare bene con molta meno energia.



Queste opinioni errate sono incredibilmente diffuse, e sembrano essere alla base della speranza, altrettanto diffusa, secondo cui il mondo può ridurre il proprio uso di combustibili fossili dell'80% da qui al 2050 senza nuocere gravemente all'economia. Il libro [*2052: A Forecast for the Next 40 Years*](#) [trad. it.: "2052. Scenari globali per i prossimi quarant'anni" Edizioni Ambiente, Milano, 2013] di Jorgen Randers sembra riflettere su questi punti di vista. Anche il "Modello del mondo stabilizzato" presentato nel libro del 1972 [*The Limits to Growth*](#) [trad. it.: "I limiti dello sviluppo", Mondadori, Milano 1972] di Meadows *et al.* pare sia basato su ipotesi fantasiose circa la possibilità di ridurre il consumo di energia senza causare il crollo dell'economia.

L'economia come sistema dissipativo

Se un'economia è un sistema dissipativo, ha bisogno di flussi di energia sufficienti, altrimenti collasserà in modo analogo agli animali che soccombono ad una malattia, o ad una foresta che soccombe agli incendi. La fonte primaria dei flussi di energia verso l'economia sembra arrivare tramite l'effetto moltiplicatore del lavoro umano per opera di prodotti energetici supplementari di vari tipi, come il lavoro animale, i combustibili fossili e l'elettricità. Per esempio, un uomo con una macchina (che è costruita usando prodotti energetici ed opera usando prodotti energetici) può fabbricare più oggetti di uno senza macchina. Una donna che lavora ad un computer in una stanza illuminata può fare più calcoli di una che incide i numeri con una bacchetta su una tavoletta di argilla e li somma a mente, lavorando all'aperto quando il tempo lo permette.

Finché la fornitura di energia supplementare continua ad aumentare abbastanza rapidamente, il lavoro umano può diventare sempre più produttivo. Questo aumento di produttività può essere alimentato da salari più alti; grazie ai salari in crescita, si pagheranno più tasse. I consumatori possono anche avere a disposizione sempre più fondi per comprare beni e servizi dalle aziende, così un'economia può continuare a crescere.

Oltre all'energia supplementare inadeguata, l'altro rischio al ribasso per una crescita economica continuativa è la possibilità che i ritorni decrescenti comincino a rendere l'economia meno efficiente. Ecco alcuni esempi di come questo può accadere:

- È necessario scavare pozzi più profondi o desalinizzare l'acqua perché le falde acquifere si esauriscono e la popolazione cresce.
- Serve una maggiore resa da ogni ettaro di terra coltivabile a causa della crescita della popolazione (e quindi diminuisce la terra coltivabile pro capite).
- C'è bisogno di miniere più grandi in quanto le vene di minerale ad alta



concentrazione sono esaurite e tocca sfruttare miniere meno produttive.

- Man mano che l'inquinamento aumenta sono necessari più dispositivi per controllarlo, o soluzioni più costose (come le “rinnovabili”).
- Nelle zone di facile estrazione i combustibili fossili si esauriscono, quindi occorre passare a zone dove l'estrazione è più difficoltosa.

In teoria, anche questi problemi di ritorni decrescenti si possono superare, se l'effetto moltiplicatore del lavoro umano per mezzo di energia supplementare cresce abbastanza in fretta. Teoricamente, la tecnologia potrebbe anche aumentare la crescita economica, ma l'intoppo è che la tecnologia è molto strettamente legata al consumo di energia. Senza di esso non è possibile ricavare i metalli, e gran parte della tecnologia odierna dipende (direttamente o indirettamente) dal loro utilizzo. Se la tecnologia rende più economica la fabbricazione di un particolare tipo di prodotto, c'è anche una buona probabilità che vengano venduti più prodotti di quel tipo; quindi, alla fine, la crescita tecnologica tende a far sì che venga consumata più energia.

Perché avvengono i crolli economici

I crolli economici sembra derivino da molte cause diverse. Una di queste sono i salari inadeguati dei lavoratori a bassa qualifica (coloro che non sono molto istruiti o non occupano livelli dirigenziali). Questo tende a verificarsi perché se i flussi di energia non sono sufficienti per andare avanti, vi è la tendenza alla compressione dei salari dei lavoratori di bassa qualifica. In alcuni casi non ci sono abbastanza posti di lavoro disponibili; in altri, i salari sono troppo bassi. Questo può essere preso come esempio di resa inadeguata dal lavoro umano – un diverso tipo di resa energetica scarsa dall'energia investita ([EROEI](#)) rispetto a quelli che vengono attualmente analizzati in gran parte degli odierni lavori accademici.

Un'altra area vulnerabile a flussi di energia inadeguati è il livello dei prezzi delle materie prime. Se i flussi di energia sono inadeguati, i loro prezzi tenderanno a scendere al di sotto dei loro stessi costi di produzione, cosa che può anche portare ad un blocco della produzione delle materie prime. Se questo accade, il debito legato alla produzione delle materie prime tenderà a sua volta al default, cosa che costituisce un problema enorme a causa dell'impatto negativo sulle istituzioni finanziarie.

Un altro modo in cui i flussi di energia inadeguati si possono manifestare è attraverso il calo di redditività delle società, come il calo degli introiti che le banche stanno ora sperimentando. Un altro modo ancora in cui i flussi di energia inadeguati si possono manifestare è attraverso il calo delle entrate fiscali: i governi esportatori di materie prime sono particolarmente vulnerabili quando i loro prezzi sono bassi. Alla fine, questi inadeguati flussi di energia possono condurre al fallimento delle

società e alla caduta dei governi.

La situazione più prossima al collasso che gli Stati Uniti hanno provato è la Depressione degli anni Trenta. La Grande Recessione del 2007-2009 potrebbe rappresentare un caso di flussi di energia moderatamente inadeguati – in quanto aggiustabili con una massiccia dose di allentamento quantitativo (QE) (che porta ad un minor costo del denaro), unito a uno stimolo dell'indebitamento da parte della Cina. Questi fattori hanno aiutato a far risalire i prezzi del petrolio, dopo il loro crollo a metà del 2008.

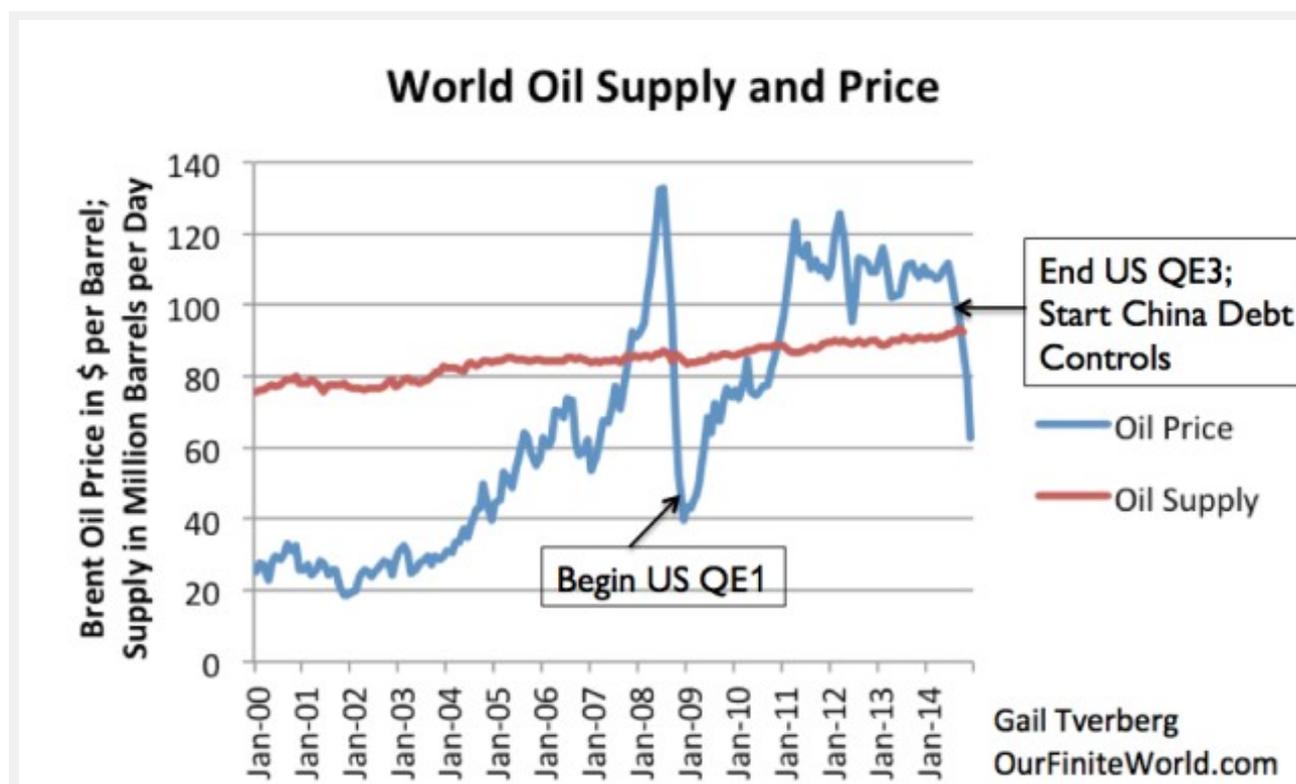


Figura 2. Offerta mondiale di petrolio (la produzione include biocombustibili e liquidi del gas naturale) e prezzi spot medi mensili del Brent, sulla base dei dati EIA.

Chiaramente, ora stiamo di nuovo cominciando ad avvertire gli effetti dei flussi di energia inadeguati, e la cosa è preoccupante perché molte economie in passato sono collassate quando si è verificata questa situazione.

Come sono regolati i flussi energetici di un'economia

In un'economia, il sistema finanziario è il regolatore dei flussi di energia del sistema. Se il prezzo di un prodotto è basso, ciò impone che una piccola percentuale dei flussi di energia vengano diretti verso il prodotto; se il prezzo è alto, questo indica che una frazione maggiore dei flussi energetici



sarà indirizzata verso quel prodotto. I salari seguono uno schema simile, coi salari bassi che indicano flussi di energia bassi e i salari alti che indicano flussi di energia più alti. I flussi di energia di fatto “pagano” tutti gli aspetti del sistema, compresa una tecnologia più avanzata e i cambiamenti apportati al sistema (più istruzione, meno tempo nella forza lavoro) che rendono possibile la tecnologia avanzata.

Un aspetto disorientante dell'economia attuale è l'uso di un approccio del tipo “ti pago dopo” per pagare i flussi di energia. Se i flussi di energia sono inadeguati usando quelli che pensavamo come i flussi naturali del sistema, il debito viene spesso utilizzato per aumentare i flussi di energia. Il debito ha l'effetto di dirigere flussi energetici *futuri* in una direzione particolare, come l'acquisto di una fabbrica, di una casa o di una macchina. Questi flussi saranno disponibili quando il prodotto sarà già parte del sistema, e quindi sono più facili da allocare nel sistema.

L'uso di un debito sempre maggiore permette la crescita della “domanda” totale di molti tipi di prodotti, perché dirige sia i *flussi futuri* che i *flussi attuali* di energia verso un certo prodotto. Dal momento che fabbriche, case ed automobili sono fatte utilizzando le materie prime, *l'uso di una quantità crescente di debito tende ad aumentare i prezzi delle materie prime*. Se tali prezzi sono più alti, una parte maggiore delle risorse dell'economia sarà diretta alla produzione di prodotti energetici. Questo consente di aumentare il consumo di energia, cosa che tende a favorire i flussi di energia verso molte aree dell'economia allo stesso tempo: salari, tasse, redditività delle imprese e fondi per il pagamento di interessi e dividendi.

La necessità dell'indebitamento cresce fortemente quando un'economia comincia ad usare combustibili fossili, perché l'uso di combustibili fossili consente un salto di livello nello stile di vita. Non c'è modo di pagare in anticipo per questo salto di livello, perché i benefici del nuovo sistema sono parecchio superiori a ciò che era disponibile prima dei combustibili fossili. Per esempio, un agricoltore che coltiva cereali usando solo una zappa come attrezzo non sarà mai in grado di risparmiare i fondi sufficienti (flussi di energia) necessari a pagare un trattore. Anche se può sembrare bizzarro che le banche creino denaro per mezzo dei prestiti, questo approccio è di fatto *essenziale*, se devono essere disponibili flussi di energia adeguati per compensare il miglior stile di vita reso possibile dall'uso dei combustibili fossili.

Le necessità del debito sono basse quando è basso il costo (in realtà, il costo energetico) di produzione dei prodotti energetici. Serve molto più debito quando il costo di estrazione dell'energia è più alto. La ragione per cui serve più debito è perché i combustibili fossili ed altri tipi di prodotti energetici tendono a moltiplicare l'efficacia del lavoro umano rendendolo più produttivo, come detto precedentemente. Ma per mantenere questo moltiplicatore è necessaria una *quantità* adeguata di

prodotti energetici (misurati in *British Thermal Units*, o *Barrels of Oil Equivalent* o in qualche altra unità di misura simile).

Man mano che il prezzo dei prodotti energetici aumenta, ci vuole sempre più debito per finanziare una ugual quantità di prodotto energetico, in aggiunta al maggior costo di case, automobili, fabbriche e strade che usano energia a costi più alti. Infatti, con costi energetici più alti, tutti i beni capitali tenderanno ad essere più cari. Questo è uno dei principali motivi per cui il rapporto del debito rispetto al PIL tende ad aumentare man mano che sale il costo di produzione dei prodotti energetici. Alle condizioni attuali, negli Stati Uniti ci vogliono circa 3 dollari di debito in più per aumentare il PIL di un dollaro (calcolo dell'autrice).

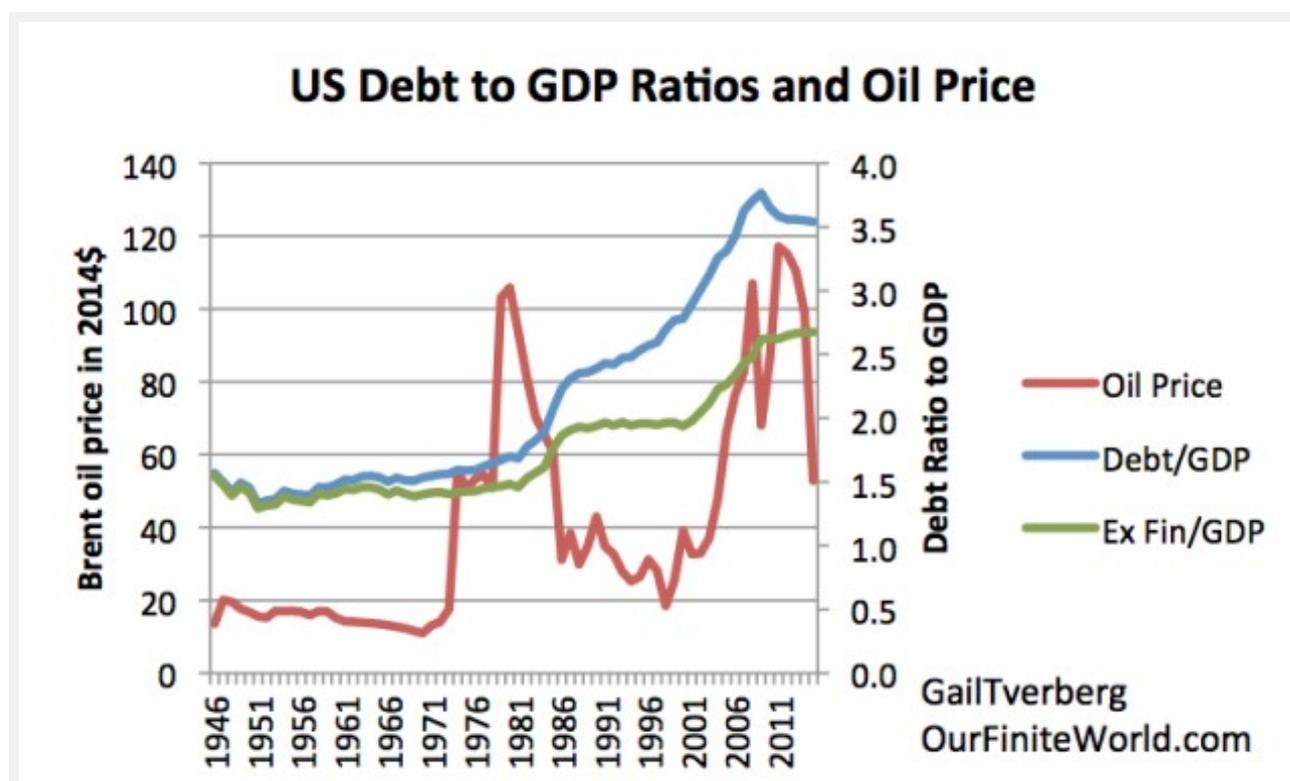


Figura 3. Prezzi del petrolio Brent aggiustati all'inflazione (in dollari del 2014, principalmente dalla BP Statistical Review of World Energy) mostrata a fianco di due misure del debito relative all'economia statunitense. Una misura riguarda l'intero debito, l'altra esclude il debito relativo agli affari finanziari. Entrambe sono basate su dati della FRED-Federal Reserve of St. Louis.

Chiaramente, uno dei fattori di rischio per un'economia che usa i combustibili fossili è che il debito crescerà a livelli inaccettabili. Un secondo rischio è che il debito smetterà di crescere con rapidità sufficiente a mantenere i prezzi delle materie prime ad un livello accettabilmente alto. Il recente rallentamento della crescita del debito (Figura 3) contribuisce senza dubbio agli attuali bassi prezzi delle materie prime.

Un terzo rischio per il sistema è che il tasso della crescita economica rallenterà nel tempo perché

nonostante la grande quantità di debito aggiunto al sistema, la moltiplicazione di produttività del lavoro umano mediante energia supplementare non sarà sufficiente a mantenere la crescita economica in presenza di ritorni decrescenti. Infatti, è del tutto evidente che la crescita economica degli Stati Uniti ha avuto nel tempo una tendenza al ribasso (Figura 4).

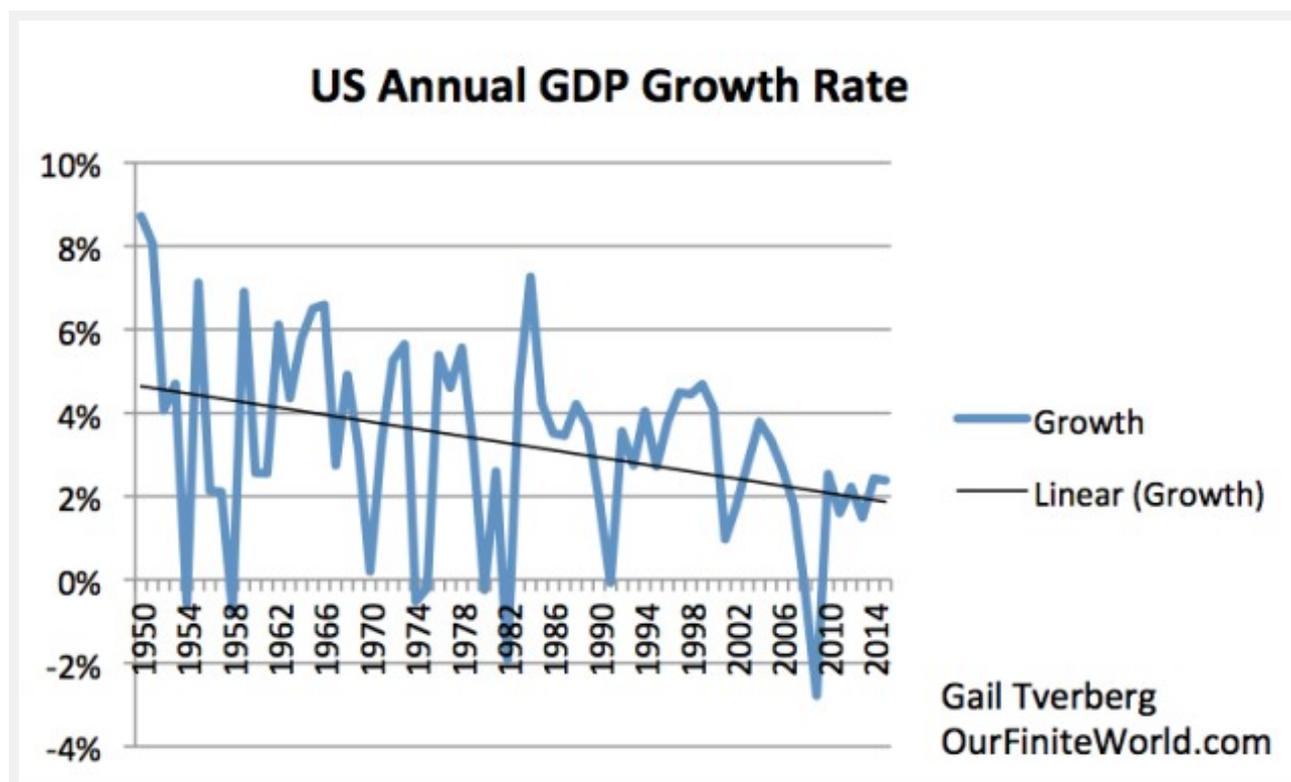


Figura 4. Tassi di crescita annuale statunitense (usando i dati "reali" e quelli aggiustati all'inflazione del Bureau of Economic Analysis).

Un quarto rischio è che l'intero sistema diventi insostenibile. Quando viene emesso nuovo debito, non c'è una reale corrispondenza col flusso di energia futuro. Per esempio, i salari di coloro che contraggono un debito per pagare l'università saranno sufficientemente alti da permettere ai debitori di comprare casa e metter su famiglia? In caso contrario, la mancanza di reddito adeguato sarà uno dei fattori che renderà difficile che i prezzi delle materie prime rimangano abbastanza alti incoraggiarne l'estrazione.

Uno dei problemi dell'economia di oggi è che le promesse di flussi energetici futuri si estendono ben al di là di ciò che viene formalmente chiamato *debito*. Queste promesse comprendono i dividendi degli azionisti e la copertura dei programmi governativi come la *Social Security* [assistenza pensionistica] e *Medicare* [assistenza sanitaria]. È probabile che il fatto di rinnegare promesse del genere sia cosa impopolare per i cittadini; per conseguenza i prezzi delle azioni

probabilmente calerebbero e le pensioni private non potrebbero essere pagate, per cui da ultimo i governi potrebbero venir rovesciati dai cittadini delusi.

Esempi di crolli economici del passato

Esempio del crollo parziale dell'ex Unione Sovietica

Un esempio recente di crollo parziale è stato quello della ex Unione Sovietica (FSU) nel dicembre del 1991. Io lo chiamo crollo parziale perché ha implicato “soltanto” il crollo del governo centrale che teneva insieme le diverse repubbliche. I governi delle singole repubbliche sono rimasti al loro posto e molti dei servizi che fornivano, come il trasporto pubblico, sono continuati. L'attività manifatturiera della FSU è calata precipitosamente, così come l'estrazione di petrolio. Prima del crollo, la FSU aveva problemi finanziari seri. Poco prima del crollo, le principali nazioni industriali del mondo [si sono accordate per prestare all'Unione Sovietica un miliardo di dollari e posticipare il pagamento su 3,6 miliardi di altro debito](#).

Un grande problema che sta alla base di questo crollo è stato un calo dei prezzi del petrolio nell'ordine dei 30 dollari al barile nel periodo 1986-2004. L'Unione Sovietica era una grande esportatrice di petrolio, e il prezzo basso ha avuto un impatto negativo sull'economia, una situazione simile a quella di oggi.

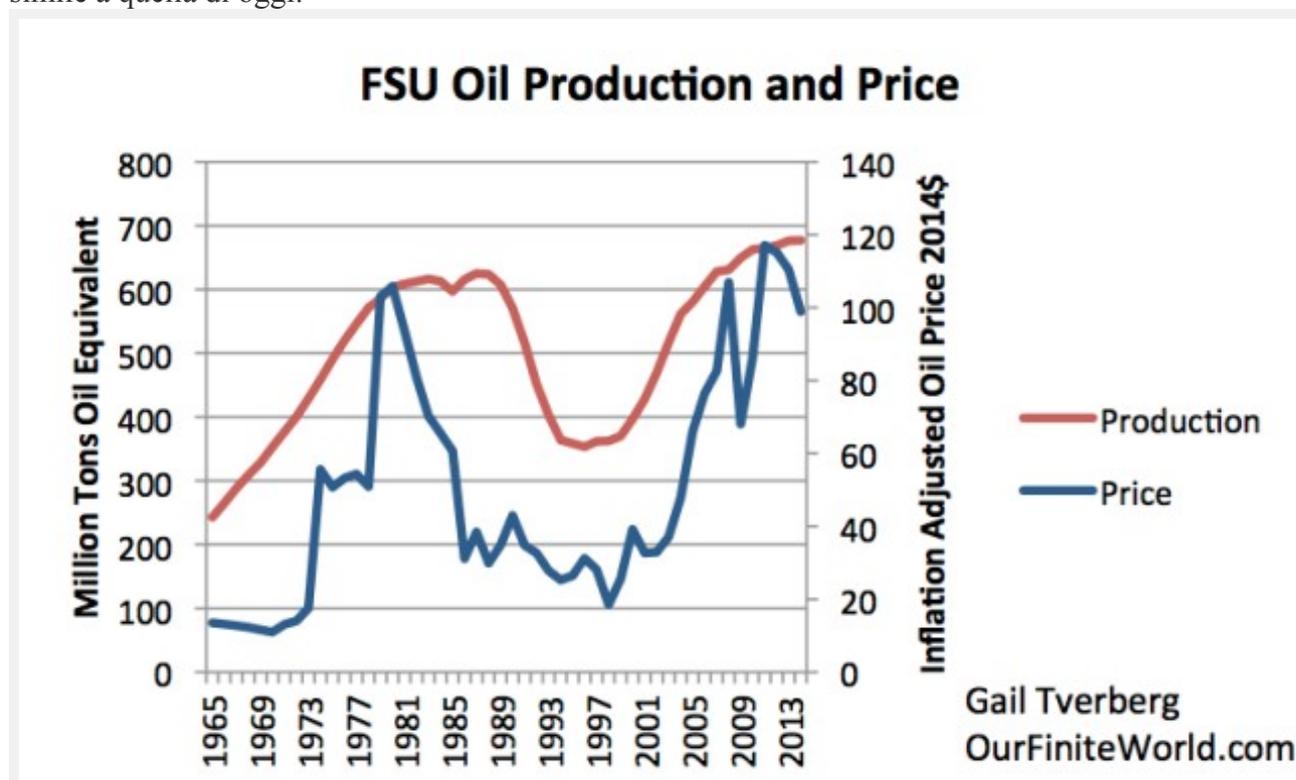


Figura 5. Produzione e prezzo del petrolio dell'ex Unione Sovietica, sulla base della BP Statistical Review of World Energy del 2015.

La Russia ha continuato a pompare petrolio anche dopo il calo del prezzo nel 1986; di fatto ha aumentato la produzione per compensare il prezzo basso (il flusso di energia che riceveva per ogni barile). Questo somiglia alla situazione odierna, ed è ciò che ci aspettiamo se gli esportatori di petrolio sono molto dipendenti da questi flussi di energia, non importa quanto piccoli essi siano. La produzione di petrolio non è scesa al di sotto dei livelli del 1986 fino al 1989, molto probabilmente per gli scarsi capitali reinvestiti. La produzione di petrolio è aumentata ancora, una volta che il prezzo è aumentato.

La Figura 6 mostra che il consumo di prodotti energetici della FSU ha iniziato a precipitare nel 1991, l'anno del crollo – proprio un declino da Dirupo di Seneca.

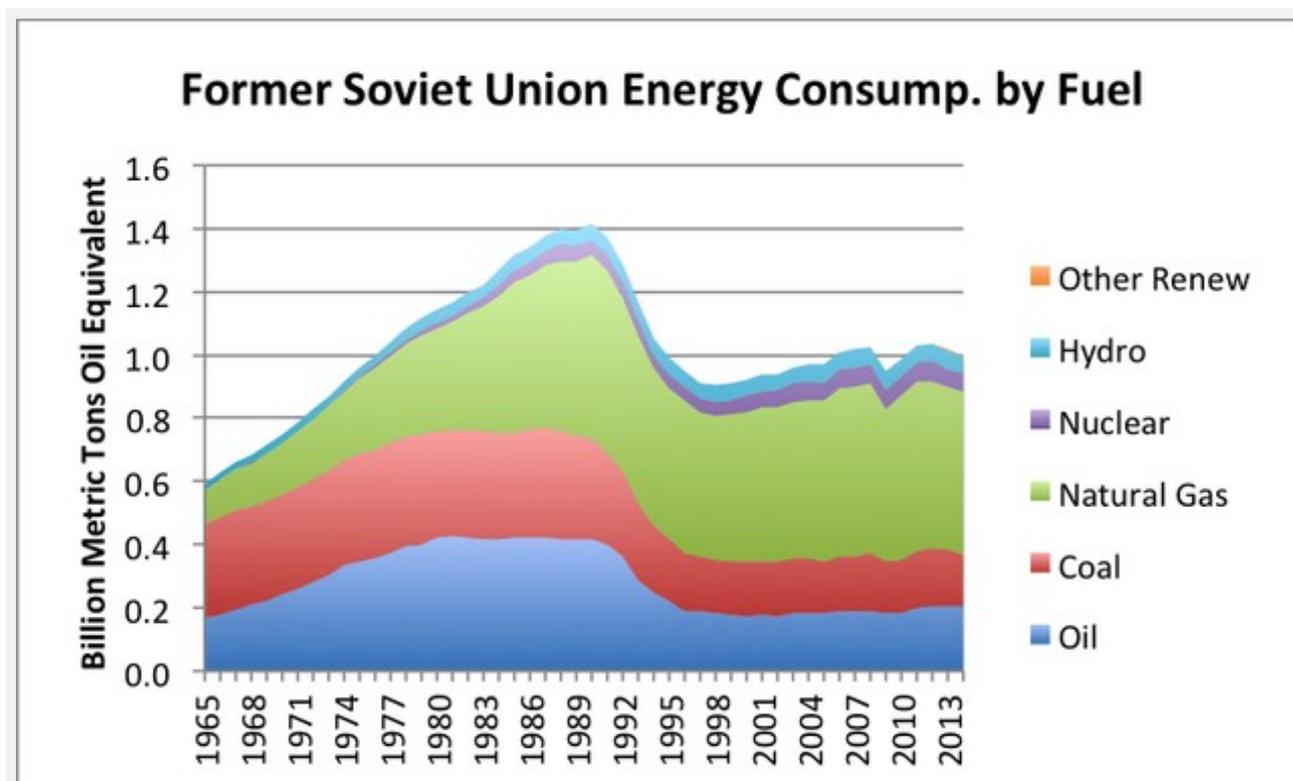


Figura 6. Consumi energetici dell'ex Unione Sovietica per fonte di energia, sulla base dei dati della BP Statistical Review of World Energy del 2015.

Di fatto, i consumi di tutte le fonti di energia, persino il nucleare e l'idroelettrico, sono calati simultaneamente, ed è quanto ci saremmo aspettati se i problemi della FSU fossero stati causati dai bassi ricavi che stava incassando come esportatrice di petrolio. Con bassi prezzi del petrolio, potevano esserci pochi lavori ben pagati, e la loro mancanza – in altre parole, una resa inadeguata



ASPO Italia
Associazione per lo Studio del Picco del Petrolio
Sezione Italiana di ASPO International

dal lavoro umano – è ciò che taglia la domanda di prodotti energetici di ogni tipo.

C'è stato anche un calo della popolazione, ma non è iniziato prima del 1996 ed è continuato fino al 2007. Fra il 1995 e il 2007, la popolazione è scesa complessivamente dell'1,6%, poco più dello 0,1% l'anno. Prima del crollo parziale, la popolazione stava crescendo dello 0,9% l'anno, per cui esso sembra aver ridotto il tasso di crescita della popolazione di circa l'1% l'anno. Parte del calo della popolazione è stato causato dall'abuso di alcool da parte di uomini che avevano perso il lavoro (le loro fonti di flussi di energia) dopo la caduta del governo centrale.

Quando i prezzi delle materie prime scendono al di sotto del costo di produzione del petrolio, è come se l'economia si raffreddasse a causa di bassi flussi di energia. Il professor Francois Roddier descrive il punto in cui inizia il crollo come il punto di *criticità auto-organizzata*. Secondo Roddier (comunicazione personale):

Oltre il punto critico, la ricchezza si condensa in due fasi che possono essere paragonate ad una fase gassosa ed una fase liquida. Un piccolo numero di persone ricche formano l'equivalente della fase gassosa, mentre un grande numero di persone povere formano l'equivalente della fase liquida. Come le molecole di gas, le persone ricche monopolizzano gran parte dell'energia ed hanno la libertà di movimento. Incorporate nella loro fase liquida, le persone povere hanno perso l'accesso a energia e libertà, e fra le due fasi vi è la cosiddetta classe media che collassa.

Mi chiedo se coloro che muoiono sono l'equivalente dello stato solido, visto che non si possono più muovere del tutto.

Analisi dei crolli precedenti

Sono stati eseguiti diversi studi per analizzare i crolli precedenti. In [Secular Cycles](#) Turchin e Nefedov analizzano nel dettaglio otto crolli anteriori ai combustibili fossili. La Figura 7 mostra la mia interpretazione del modello che hanno scoperto.

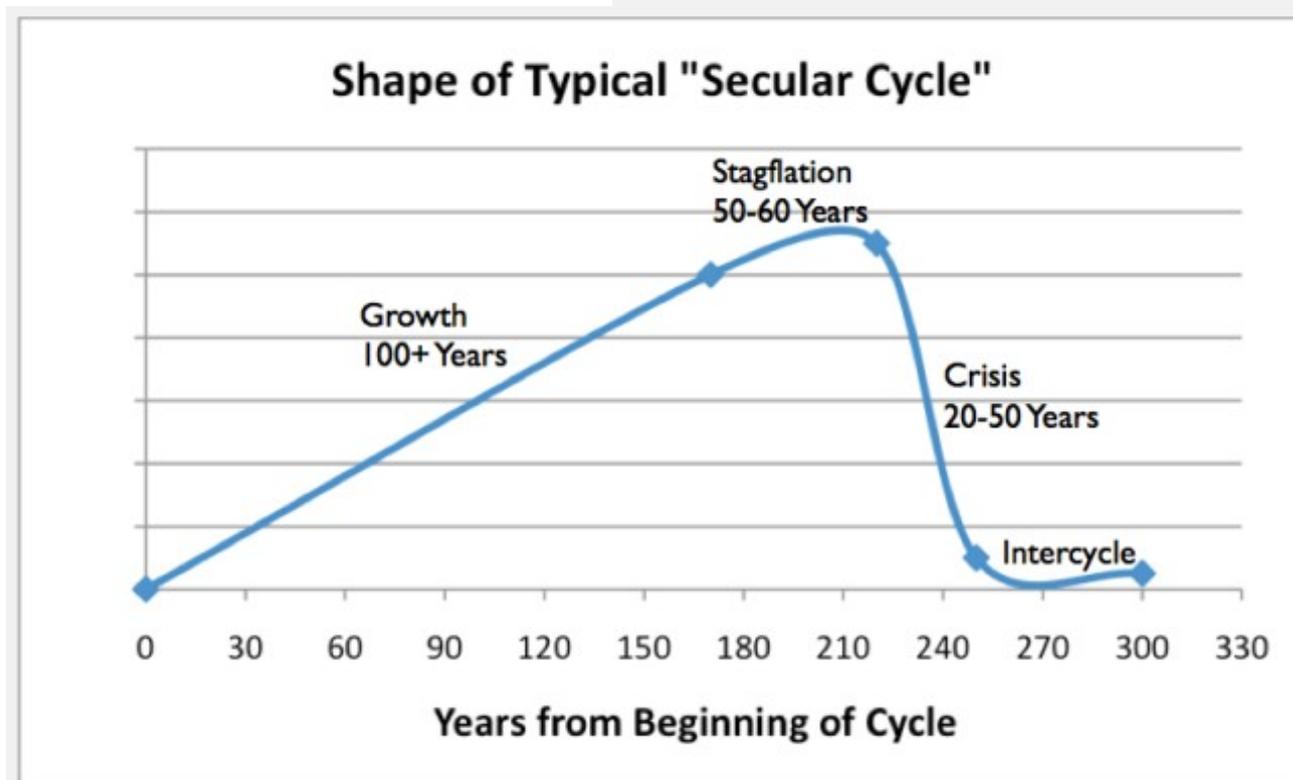


Figura 7. Forma di un tipico Ciclo Secolare, sulla base del lavoro di Peter Turchin e Sergey Nefedov in [Secular Cycles](#).

Di nuovo, lo schema è quello di un Dirupo di Seneca. Alcuni dei problemi che portano al crollo comprendono quanto segue:

1. **Aumento della popolazione in relazione alla terra coltivabile.** O la terra coltivabile veniva divisa in lotti più piccoli, di modo che ogni agricoltore produceva di meno, o i nuovi lavoratori ricevevano posti di lavoro “nei servizi”, a salari molto ridotti. Il risultato era il calo dei guadagni di molti dei lavoratori non privilegiati.
2. **Impennata dei prezzi di cibo ed energia.** A volte prezzi erano alti a causa della mancanza di offerta, ma venivano contenuti dai bassi salari dei lavoratori.
3. **Aumento della necessità di interventi statali nella soluzione dei problemi** (per esempio, una guerra per conquistare più terre, o l'installazione di sistemi di irrigazione per avere più cibo dalla terra disponibile). Ciò ha comportato la necessità di aumentare le tasse, cosa che i lavoratori impoveriti non si potevano tuttavia permettere.
4. **Aumento del numero di nobili ed amministratori di alto livello.** Il risultato è stato un aumento della disparità nei salari.
5. **Aumento del debito,** man mano che sempre più persone non potevano far fronte alle necessità primarie.



Alla fine, i lavoratori indeboliti dai bassi salari e dall'alta tassazione tendevano a soccombere alle epidemie. Alcuni morivano in guerra. Ancora una volta siamo in presenza di una situazione di bassi flussi di energia ove i lavoratori con salari più bassi non ne ricevono abbastanza. Molti sono morti – in alcuni casi anche il 95% del totale. Queste situazioni sono state molto più estreme di quella della FSU. Il lato positivo è che il fatto che nell'era preindustriale ci fossero relativamente pochi mestieri per cui coloro che erano sopravvissuti a volte potevano reinsediarsi in altre comunità vicine e continuare a praticarli.

In *The Collapse of Complex Societies* [il collasso delle società complesse], Joseph Tainter parla della necessità di un aumento della complessità, man mano che incominciano i ritorni decrescenti. Questo sembrerebbe corrispondere alla necessità di maggiori servizi statali e ad un aumento del ruolo delle imprese. Nell'aumento di complessità sarebbe incluso anche l'aumento della struttura gerarchica. Tutti questi cambiamenti concederebbero una parte minore dei flussi di energia ai lavoratori di grado inferiore – un problema già menzionato in precedenza.

Il [dottor Tainter solleva anche il problema](#) per cui, per mantenere la complessità, “La sostenibilità potrebbe richiedere un consumo maggiore di risorse, non minore”.

Alcune intuizioni riguardo alla natura del problema fisico

Il [Secondo Principio della Termodinamica](#) sembra funzionare in una sola direzione. Parla della tendenza naturale di ogni sistema “chiuso” a decadere verso un sistema più disordinato. Con questa visione, l'implicazione è che l'universo finirà in una morte del calore, in cui tutto si troverà alla stessa temperatura.

I sistemi dissipativi funzionano nell'altra direzione; creano ordine dove prima non ne esisteva. Le economie diventano sempre più complesse, man mano che le aziende si ingrandiscono e diventano più gerarchiche nella loro forma, gli stati forniscono più servizi e il numero dei diversi posti di lavoro occupati dai soggetti economici si amplia. Come si spiega questo ordine aggiuntivo? Secondo [Ulanowicz](#), la termodinamica si è tradizionalmente focalizzata sugli stati, piuttosto che sui processi di passaggio da uno stato all'altro. Ciò che serve è una teoria che sia più concentrata sui processi, piuttosto che sugli stati. Scrive:

... la visione prevalente sul secondo principio è una versione troppo semplificata della sua vera natura. Detto semplicemente, l'entropia non ha a che fare soltanto col disordine. Lontano dall'equilibrio, c'è un meccanismo contrario e largamente incompreso del secondo principio che, in alcune circostanze, impone la creazione di ordine.

Stiamo osservando la creazione comandata di ordine. Per esempio, il corpo umano prende l'energia chimica e la trasforma in energia meccanica. C'è un dualismo del sistema entropico che molti non hanno smesso di apprezzare. Anziché tendere sempre verso la morte del calore come obiettivo fondamentale, i sistemi hanno una natura a doppio senso al riguardo. I sistemi dissipativi sono in grado di crescere finché raggiungono un punto chiamato *criticità auto-organizzata* o “punto critico”, poi si contraggono a causa dei flussi di energia inadeguati. Nelle foreste, questo punto di criticità auto-organizzata si raggiunge quando la crescita degli alberi più alti comincia a bloccare la luce per le piante più basse. Come già detto in precedenza, a quel punto la foresta comincia a diventare più soggetta agli incendi. [Ulanowicz](#) mostra che per gli ecosistemi con più di 12 elementi c'è una “finestra di vitalità” piuttosto ridotta.

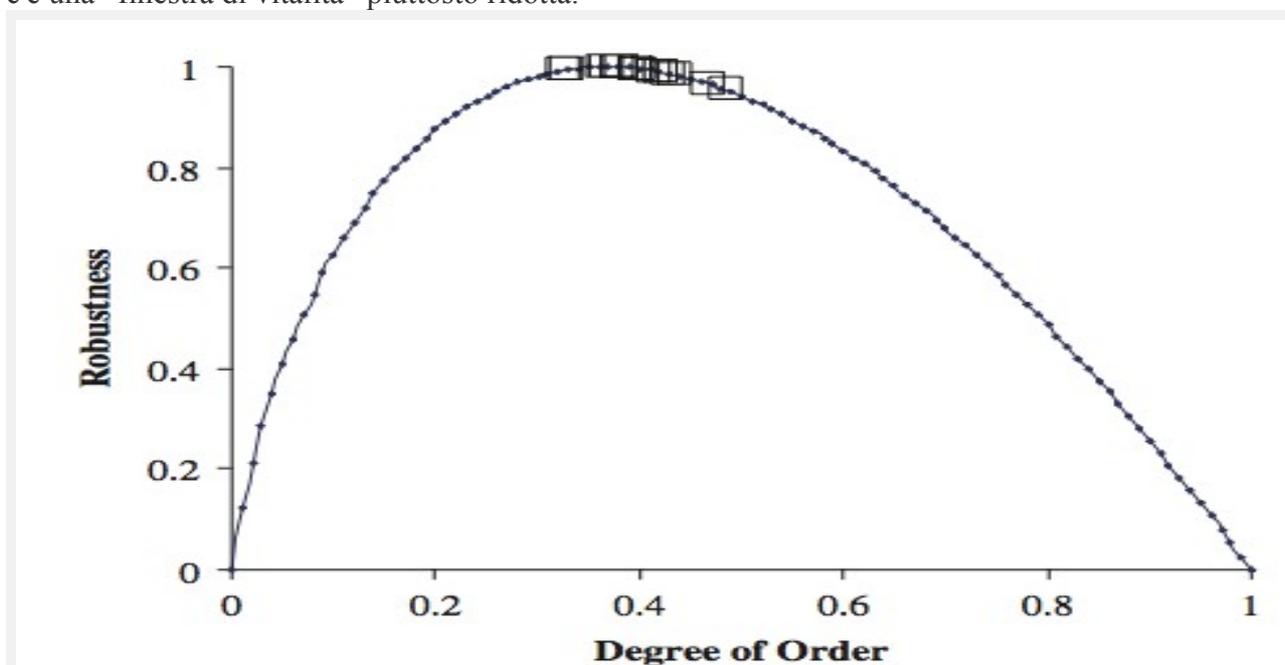


Figura 8. Illustrazione di raggruppamento ravvicinato di ecosistemi con più di 12 elementi che indica la stretta “finestra di vitalità” di tali ecosistemi. Da [Ulanowicz](#)

Se guardiamo il consumo pro capite mondiale di energia, questo sembra indicare a sua volta una “finestra di vitalità” piuttosto stretta.

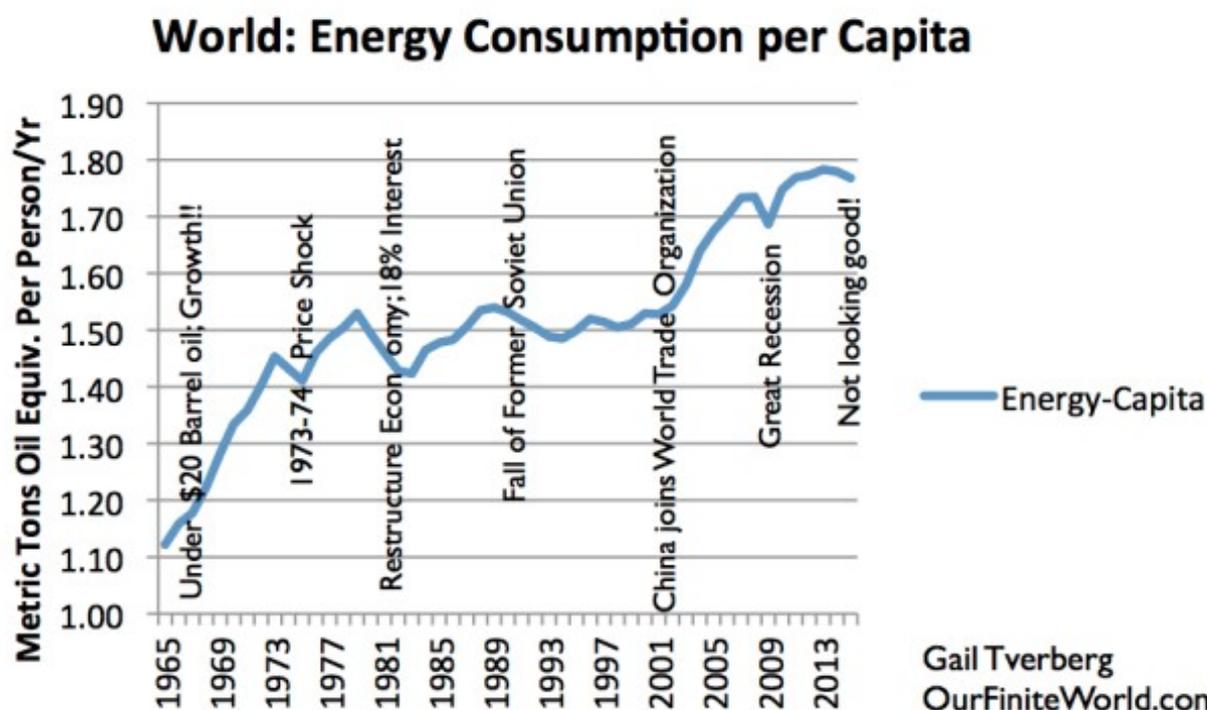


Figura 9. Consumo mondiale di energia pro capite, sulla base dei dati del 2015 della BP Statistical Review of World Energy. Stima per il 2015 e note di G. Tverberg.

Quando guardiamo a cosa è accaduto nell'economia mondiale in parallelo alla storia del consumo mondiale di energia, possiamo riconoscere uno schema. Prima del 1973, quando il petrolio costava meno di 30 dollari al barile, il consumo di petrolio e l'economia crescevano rapidamente. In questo quadro temporale venivano aggiunte molte infrastrutture (autostrade, linee di trasmissione elettrica, oleodotti e gasdotti). Lo shock dei prezzi e la relativa recessione del 1973-74 hanno fatto scendere il consumo di energia per un breve periodo.

Ma solo con la ristrutturazione dell'economia tra la fine degli anni Settanta e i primi anni Ottanta il consumo di energia è sceso veramente. Allora molte cose sono cambiate: le automobili sono diventate più piccole e più efficienti; per la produzione di elettricità il petrolio è stato sostituito con altre fonti, spesso nucleari; la regolamentazione dei servizi pubblici è stata modificata verso una maggior competizione, scoraggiando così la costruzione di infrastrutture, a meno che non fossero assolutamente essenziali.

La diminuzione dei consumi di energia dopo il 1991 riflette la caduta dell'ex Unione Sovietica. L'enorme aumento dei consumi di energia dopo il 2001 rappresenta l'effetto dell'entrata della Cina (con tutti i suoi posti di lavoro e i suoi consumi di carbone) nel WTO. Con questi cambiamenti, i fabbisogni energetici sono aumentati in modo permanente, se la Cina vuol mantenere un numero



sufficiente di posti di lavoro per il suo popolo. Ogni piccola flessione sembra rappresentare una recessione, e di recente il consumo di energia sembra si sia di nuovo abbassato. Se consideriamo i bassi consumi insieme ai bassi prezzi delle materie prime, questo costituisce una situazione preoccupante: non è che ci stiamo avvicinando ad una grande recessione, o peggio?

Se pensiamo all'economia mondiale in relazione al suo punto critico, essa è stata vicina a questo punto già a partire dal 1981, ma varie cose ci hanno tolto d'impaccio.

Una cosa che ha aiutato l'economia è il tasso di interesse estremamente alto (18%) applicato nel 1981. All'epoca questo elevato tasso di interesse ha spinto verso il basso l'uso dei combustibili fossili, e ha anche dato ai tassi di interesse molto spazio per scendere. La discesa dei tassi di interesse ha un impatto molto favorevole sull'economia, incoraggiando maggiori prestiti e spingendo al rialzo il prezzo di vendita delle azioni. L'economia ha ricevuto una spinta alla crescita data dalla diminuzione dei tassi di interesse per quasi tutto il periodo che va dal 1981 ad oggi.

Anche altri fattori sono stati importanti. Il crollo dell'Unione Sovietica nel 1991 ha fatto guadagnare un po' di tempo al resto del mondo (ed ha risparmiato per dopo il petrolio da estrarre); inoltre l'entrata della Cina nel WTO nel 2001 ha aggiunto al mix energetico una gran quantità di carbone a buon mercato, aiutando ad abbassare i costi energetici. Questi bassi costi, assieme a tutto l'indebitamento che la Cina è stata in grado di aggiungere, hanno permesso di far crescere di nuovo il consumo di energia e l'economia mondiale – allontanando temporaneamente il mondo dal punto critico.

Nel 2008, i prezzi del petrolio sono scesi molto in basso. E' stato solo con il QE che si è potuto abbassare di molto anche i tassi di interesse, per cui i prezzi delle materie prime sono tornati a livelli adeguati. Ora siamo di nuovo di fronte a prezzi bassi, come se ci trovassimo ancora al punto critico, e quindi sull'orlo del collasso.

Una volta che una struttura dissipativa supera il punto critico, Roddier dice che ciò che lo abbatte è una *valanga di biforcazioni*. Nel caso di un'economia, queste potrebbero essere i default del debito.

In una struttura dissipativa, la comunicazione e l'informazione immagazzinate sono entrambe importanti. L'informazione immagazzinata, che è molto prossima alla tecnologia, diventa molto importante quando il cibo è difficile da trovare o l'energia si estrae ad alto costo. Quando l'energia si estrae a basso costo, praticamente tutti possono trovare energia e usarla, quindi la tecnologia è meno importante.



La comunicazione in un'economia si effettua in vari modi, anche usando soldi e debito. Poche persone capiscono fino a che punto il debito ci possa dare falsi segnali circa la disponibilità futura dei flussi di energia. Così, è possibile che un'economia si espanda fino a raggiungere una dimensione molto grande, mentre pochi si rendono conto che, nella costruzione un economia, questo approccio è molto simile ad uno [schema Ponzi](#). Può continuare finché i costi energetici sono estremamente bassi o se il debito viene aggiunto rapidamente.

In teoria, i calcoli dell'EROEI (confrontando l'energia prodotta da un dispositivo o prodotto energetico all'energia da combustibili fossili consumata per aumentare tale prodotto) dovrebbe comunicare il “valore” di un particolare prodotto energetico. Sfortunatamente, questo calcolo è basato sul comune fraintendimento della natura del problema fisico che ho menzionato all'inizio dell'articolo. (Questo vale anche per analisi simili, come le Lifecycle Analyses, o LCA). Questi calcoli comunicerebbero informazioni preziose se il nostro problema fosse “l'esaurimento” dei combustibili fossili e se il modo per mitigarlo fosse di usare tali combustibili con quanta più parsimonia possibile. Se però il nostro problema è l'aumento dei livelli di debito, l'EROEI e calcoli simili non ci danno alcuna indicazione su come mitigarlo.

Se l'economia crolla, lo farà fino a che non raggiungerà un livello sostenibile più in basso. Gran parte delle infrastrutture mondiali sono state costruite quando il petrolio poteva essere estratto a 20 dollari al barile; ma quei giorni sono lontani. Così, sembra che il mondo dovrà collassare ad un livello antecedente all'epoca dei combustibili fossili – forse molto precedente ad essa.

Se fosse di qualche consolazione, il professor Roddier afferma che quando le nuove economie torneranno a formarsi, i sopravvissuti al collasso tenderanno ad essere più cooperativi. Infatti ci fornisce questo grafico.

General	Physics	Biology	Sociology
Slow macroevolution.	Formation of large organized structures. Order.	<i>K selection:</i> Large organisms. Efficiency.	Solidarity. Cooperation. <i>Cultural</i> integration. Adaptation.
Critical point: <i>Scale invariance.</i> Power law distributions.			
Fast microevolution	Split down into small disordered structures (chaos).	<i>r selection:</i> Small organisms. Resilience	Individualism. Competition. <i>Cultural</i> segregation. Adaptability.

Table 1. The two sides of the *critical* point.



ASPO Italia
Associazione per lo Studio del Picco del Petrolio
Sezione Italiana di ASPO International

Figura 10. Visione di F. Roddier circa gli eventi ai due lati del punto critico. Dalla traduzione [in inglese] del suo libro di prossima pubblicazione "The Thermodynamics of Evolution".

Sappiamo che se ci saranno sopravvissuti, è probabile che ci saranno nuove economie. Non sappiamo esattamente come saranno, eccetto che saranno limitate all'utilizzo delle risorse disponibili al momento.

Alcuni riferimenti al lavoro di Francois Roddier (in francese)

THERMODYNAMIQUE DE L'ÉVOLUTION "UN ESSAI DE THERMO-BIO-SOCIOLOGIE"

The Thermodynamics of Evolution – Volume di prossima traduzione in lingua inglese. Sarà poi disponibile sullo stesso sito in inglese.

Roddier scrive:

Questa è una conferenza che ho fatto al [CNAM](#) di Parigi il 2 dicembre 2013. Il titolo è: *Thermodynamique et économie: des sciences exactes aux sciences humaines*

In questa conferenza spiego che il modello di rete neurale di Per Bak può essere usato per descrivere un sistema economico come una rete neurale di agenti che scambiano denaro. L'articolo dà una breve spiegazione di come avvengono i crolli economici.

L'altra conferenza è quella che ho fatto a Parigi il 12 marzo del 2015, per lo *Jancovici's Shift Project*. Il titolo è:

La thermodynamique des transitions économiques

Un video di questa conferenza è disponibile sul web al seguente indirizzo:

<https://www.youtube.com/watch?v=5-qap1cQhGA>

In questa conferenza descrivo l'economia in termini di potenziali di Gibbs-Duhem (analoghi ai potenziali chimici). I flussi di denaro misurano i flussi di entropia (con segno opposto), mentre il costo dell'energia gioca il ruolo dell'inverso di una temperatura. Inoltre mostro che i cicli economici sono simili a quelli di una macchina a vapore, e che si auto-organizzano attorno ad un punto critico.