

Energia mondiale e popolazione

= Tendenze fino al 2100 =

di Paul Chefurka,

Original text: <http://www.paulchefurka.ca/WEAP/WEAP.html>

ottobre 2007

Premessa: *Il legame causale tra energia e popolazione che prospetto in quest'articolo è essenzialmente intuitivo. Anche se mi sembra ragionevole, "provarlo" (o anche solo dimostrarlo in maniera contundente) è difficile. Se però l'intuizione è corretta, le conseguenze per il genere umano di un declino globale delle fonti energetiche sono troppo gravi per essere ignorate.*

Lo scenario energetico descritto è stato completato, e in una certa misura sostituito, da un'analisi in qualche modo più rigorosa nel successivo articolo "[World Energy to 2050](#)", che invito i lettori a consultare per le sue conclusioni sulle fonti energetiche mondiali a medio termine.

Sintesi

Nel corso della storia, l'espansione della razza umana è stata sostenuta da un costante aumento dell'uso di energia esosomatica di alto livello. Il funzionamento della nostra attuale civiltà industriale dipende completamente dalla possibilità di accedere a un'enorme quantità di energia di vario tipo. Se la disponibilità di tale energia dovesse ridursi in modo significativo, la civiltà e la razza umana che da essa dipendono subirebbero dure conseguenze. Il documento configura i modelli di produzione delle varie fonti di energia attualmente sfruttate e proietta fino al 2100 l'evoluzione probabile della loro disponibilità. Il quadro energetico globale che si ottiene viene quindi integrato in un modello della popolazione basato su una stima del cambiamento del consumo energetico medio pro capite nel corso del secolo. Infine, per arrivare a una stima finale della popolazione, viene aggiunto l'impatto del danno ecologico.

Il modello, noto come modello WEAP ("World Energy and Population" cioè "Energia mondiale e popolazione") lascia pensare che nel corso del secolo la popolazione mondiale si ridurrà sensibilmente.

Introduzione

Nel recente periodo storico dell'industrializzazione globale, il livello della popolazione umana è stato in stretta correlazione con la quantità di energia usata. Negli ultimi

quaranta anni, il consumo energetico pro capite annuo medio è stato pari a 1,5 toe ([tonnes of oil equivalent](#), [Tonnellate equivalenti di petrolio](#)) a persona. Man mano che l'industrializzazione aumentava, anche l'energia pro capite aumentava, passando dagli 1,2 toe del 1966 agli 1,7 toe del 2006. In questo periodo la fornitura globale di energia si è triplicata e la popolazione mondiale si è raddoppiata.

Il grafico 1 mostra lo stretto rapporto tra [consumo energetico mondiale](#), [PIL e popolazione globale](#) e lascia intendere che l'aumento della fornitura energetica totale ha reso possibile quello della popolazione. Ne possiamo dedurre che quando la disponibilità di energia diminuirà vi saranno serie ripercussioni negative per la razza umana? In questo articolo esporrò le mie stime sulla situazione energetica mondiale per il prossimo secolo, e le leggerò a una proiezione della popolazione umana da ora al 2100.

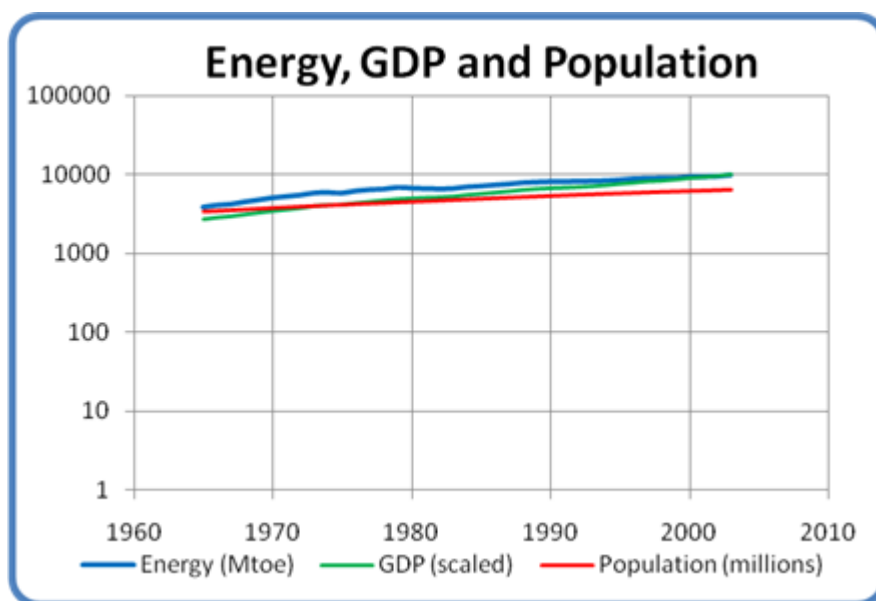


Grafico 1: energia, PIL e popolazione dal 1965 al 2003

Metodologia

L'analisi nel documento è supportata da un modello delle tendenze nella produzione di energia basato su dati storici integrati in proiezioni ottenute a partire dalle conclusioni di numerosi esperti in analisi energetica e dalla mia personale interpretazione delle tendenze future.

L'attuale mix energetico include petrolio (36%), gas naturale (24%), carbone (28%), nucleare (6%), energia idrica (6%) e fonti rinnovabili, ad esempio l'eolico e il solare (1% circa). I dati sulla produzione storica di ciascun tipo (eccetto le fonti rinnovabili) sono stati tratti da [BP Statistical Review of World Energy 2007](#). Per rendere omogenee le differenti categorie ho utilizzato il toe ([tonnes of oil equivalent](#), [Tonnellate equivalenti](#)

[di petrolio](#)), un indicatore standard grazie al quale fattori di conversione ben noti permettono di confrontare facilmente l'energia ottenuta dalle differenti fonti. L'approccio non tiene conto delle variazioni di efficienza delle differenti fonti, ad esempio petrolio e idroelettricità, ma fornisce un modello standard largamente accettato di confronto d'assieme.

Esamineremo dapprima le singole categorie di energia, applicando a ciascuna i parametri di sviluppo ritenuti più adatti. Per ciascuna categoria descriverò nel modo più chiaro possibile i fattori e parametri che ho preso in conto nel definire lo scenario, mettendovi così in grado di decidere da soli se le mie ipotesi sono plausibili. Successivamente combineremo le varie ipotesi in un'unica proiezione energetica globale.

Dopo aver delineato il quadro energetico esploreremo gli effetti che i previsti cambi nella fornitura di energia potranno avere sulla popolazione mondiale, e, una volta tracciate le linee di base, vi aggiungeremo i probabili effetti del danno ecologico in corso per arrivare così a una proiezione finale del numero d'individui sull'arco del secolo.

Note

Il modello WEAP è stato sviluppato come semplice foglio di calcolo elettronico Excel. I tempi degli avvenimenti significativi legati all'energia e i tassi d'incremento (o decremento) sono stati scelti dopo un attento esame degli studi disponibili. In alcuni casi, autori diversi hanno fornito opinioni divergenti. Per risolvere situazioni di questo tipo, mi sono affidata alla mia analisi personale e al mio giudizio. Il modello è stato quindi influenzato dalle mie personali tendenze. Non me ne scuso: gli scenari di questo tipo riflettono inevitabilmente il punto di vista degli autori, ed è meglio mettere subito le cose in chiaro. Mi sono comunque costantemente sforzata di essere obiettiva nelle mie scelte, di basare le proiezioni sulle tendenze rilevate al giorno d'oggi o nel passato recente, e di non manifestare tutto il tempo pie illusioni.

Il modello WEAP presenta un'aggregato globale degli effetti dei fattori ecologici ed energetici sulla popolazione mondiale. Anche se vengono discusse le differenze regionali o nazionali che ci si può aspettare abbiano un impatto profondo sullo svolgersi degli avvenimenti a tali livelli, il modello non tiene direttamente conto della loro influenza. Questa mancanza di dettaglio potrebbe essere considerata un difetto, ma il documento intende fornire una visione più globale e definire un ampio quadro concettuale che permetta di spiegare le disparità locali.

L'analisi non indica misure prescrittive; si limita a delineare lo scenario futuro "più probabile", sulla base della situazione attuale e della sua probabile evoluzione. Non

troverete suggerimenti specifici su quel che dobbiamo fare, o proposte basate sull'assunto che nel breve periodo sia possibile cambiare radicalmente il comportamento della gente o delle istituzioni. La probabilità di cambiamenti di questo tipo aumenterà in caso di un grave peggioramento della situazione mondiale, ma tenerne conto adesso avrebbe introdotto nell'analisi un livello di incertezza tale da renderla inutilizzabile sul piano concettuale. E lo stesso discorso vale per le nuove tecnologie. Non troverete accenni all'energia da fusione dell'idrogeno, tanto per fare un esempio.

Qui potrete trovare il foglio elettronico Excel con i dati usati per elaborare il modello WEAP.

Modelli delle componenti energetiche

Petrolio

Nell'analizzare le nostre disponibilità di petrolio, bisogna tener presente che la risorsa è finita, non rinnovabile, e sottoposta a effetti che porteranno nell'immediato futuro a una diminuzione del tasso di produzione. Il punto centrale della situazione, nota come "Picco petrolifero", è che l'estrazione dell'oro nero raggiunge il punto massimo quando è stato recuperato all'incirca la metà del totale disponibile, e comincia poi un declino irreversibile.

Si tratta di una regola valida sia per i singoli giacimenti petroliferi che per le aree più vaste, ad esempio interi paesi. Ma per ragioni differenti: nel primo caso il fenomeno è legato a fattori geologici legati alla struttura del giacimento, nel secondo caso, o a livello mondiale, è invece legato a fattori logistici. Quando avviamo le operazioni in una certa regione, di solito localizziamo e sfruttiamo dapprima i giacimenti più grandi e più facilmente raggiungibili. Man mano che la loro produzione si riduce, tentiamo di sopperire alle minori quantità estratte con i nuovi giacimenti disponibili, più piccoli e con un minore tasso di produzione che non compensa interamente il declino dei grandi pozzi che stanno sostituendo.

I siti petroliferi consistono in genere in alcuni giacimenti grandi e una numerosa serie di giacimenti più piccoli. Questa distribuzione spiega perché il 60% della produzione globale di petrolio è ricavata da solo l'[1% dei campi petroliferi attivi in tutto il mondo](#). Per rimpiazzare la produzione di un grande giacimento esaurito può quindi essere necessario svilupparne migliaia di più piccoli.

La teoria alla base del concetto di "Picco petrolifero" può essere facilmente trovata su Internet; alcuni rimandi sono forniti [qui](#), [qui](#) e [qui](#).

Tempi

Si discute molto su quando ci si possa aspettare che la produzione globale di petrolio giunga al suo massimo e su quale sarà il suo tasso di declino. Mentre quest'ultimo è estremamente controverso, sui tempi vi sono meno disaccordi. Recentemente, numerosi conoscitori del settore hanno annunciato che il picco è già arrivato. Tra costoro annoveriamo l'investitore miliardario [T. Boone Pickens](#), il banchiere specialista d'investimenti energetici [Matthew Simmons](#) (autore del libro "Twilight in the Desert" che decompone lo stato delle riserve petrolifere in Arabia Saudita), il geologo in pensione [Ken Deffeyes](#) (un collega di King Hubbert, noto fautore della teoria del "Picco petrolifero"), e il dottor [Samsam Bakhtiari](#) (un ex scienziato della compagnia petrolifera statale iraniana).

La mia posizione coincide con quella di questi esperti: al momento in cui scrivo (fine 2007) il picco è già stato raggiunto. Me ne sono pienamente convinto esaminando l'evoluzione della produzione di petrolio e del suo costo negli ultimi tre anni, e sono arrivato alla conclusione che l'estrazione dell'oro nero ha [raggiunto il punto più alto nel maggio 2005](#). A partire da quel momento non è più aumentata, nonostante il raddoppio del prezzo e la frenetica attività di ricerca.

Tasso di declino

Il tasso di declino successivo al picco è un altro problema. I migliori indici a nostra disposizione sono i risultati dei giacimenti petroliferi e dei paesi del cui declino siamo già consapevoli. Disgraziatamente questi tassi variano da un posto all'altro. Gli Stati Uniti, ad esempio, sono in declino [dal 1971](#) e da allora hanno perso i due terzi delle proprie capacità, a un ritmo del 3% all'anno. D'altra parte, il bacino del mare del nord sta perdendo annualmente il [10% circa](#), e il gigantesco giacimento messicano di Cantarell sta perdendo addirittura il [20% circa](#).

Per creare un modello realistico di declino del petrolio nel mondo ho scelto di seguire l'approccio del modello [WOCAP](#) del dott. Bakhtiari, che presuppone un tasso di riduzione dapprima molto limitato e poi sempre più accelerato col passare degli anni. Fino ad ora l'approccio WOCAP si è dimostrato piuttosto accurato, e io ne ho adottato una variante, che si distingue soprattutto per essere leggermente meno aggressiva: se WOCAP prevede una caduta della produzione dagli attuali 4.000 milioni di tonnellate per anno ai 2.750 nel 2020, il mio modello raggiunge questo limite solo nel 2030. Nel modello WEAP il tasso di declino passa dall'1% nel 2015 al 5% del 2040 e si stabilizza poi su questo livello, ma anche con una stima relativamente prudente lo sviluppo nel corso del secolo è sorprendente, come appare evidente nel grafico 2.

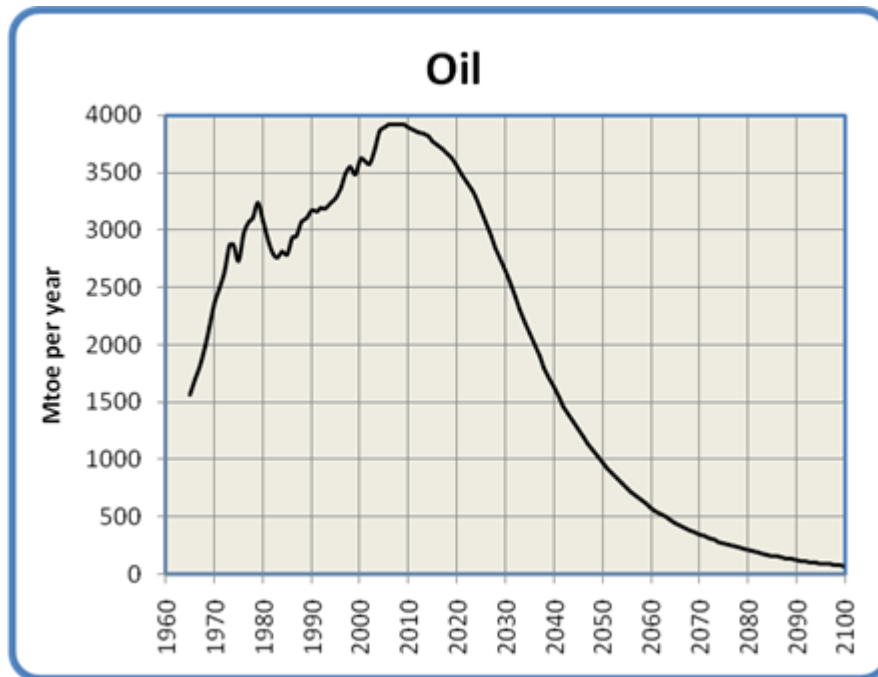


Grafico 2: produzione mondiale di petrolio dal 1965 al 2100

Il problema dell'esportazione netta

Prima di accantonare il tema del petrolio è necessario parlare delle esportazioni. Il grafico 2 mostra la sua produzione aggregata a livello mondiale, ma il mondo non è un assieme uniforme di produzione e consumo del prodotto: alcuni paesi sono esportatori netti, altri sono invece importatori netti che comprano il petrolio degli esportatori sul mercato internazionale.

Nella maggior parte dei paesi la domanda di petrolio è in costante aumento, e questo è particolarmente vero per gli stati esportatori, la cui crescita economica è stata stimolata dall'aumento del prezzo dell'oro nero. La crescita supplementare ha a sua volta provocato una maggiore domanda interna, soddisfatta con i surplus prima di procedere all'esportazione. Fino a quando la produzione del paese aumenta la cosa non crea grandi problemi, ma quando invece raggiunge il suo picco e comincia a declinare s'innescia un processo pericoloso: la quantità di petrolio destinata all'esportazione diminuisce più velocemente della produzione. È quello che è stato definito il "problema dell'esportazione netta di petrolio".

Facciamo un esempio. Diciamo che un paese esportatore produce un milione di barili di petrolio al giorno e che i suoi abitanti ne consumano 500.000: ne restano quindi 500.000 per l'esportazione. A partire da un certo momento la produzione scende di un 5% all'anno; dopo un anno sarà dunque pari a 950.000 barili. Nel frattempo l'economia è in

espansione e provoca un aumento della domanda del 5%; il consumo sale così a 525.000 barili al giorno. Ne restano solo 425.000 da esportare, con una riduzione del 15%. Il grafico 3 indica cosa succede sull'arco di vari anni:

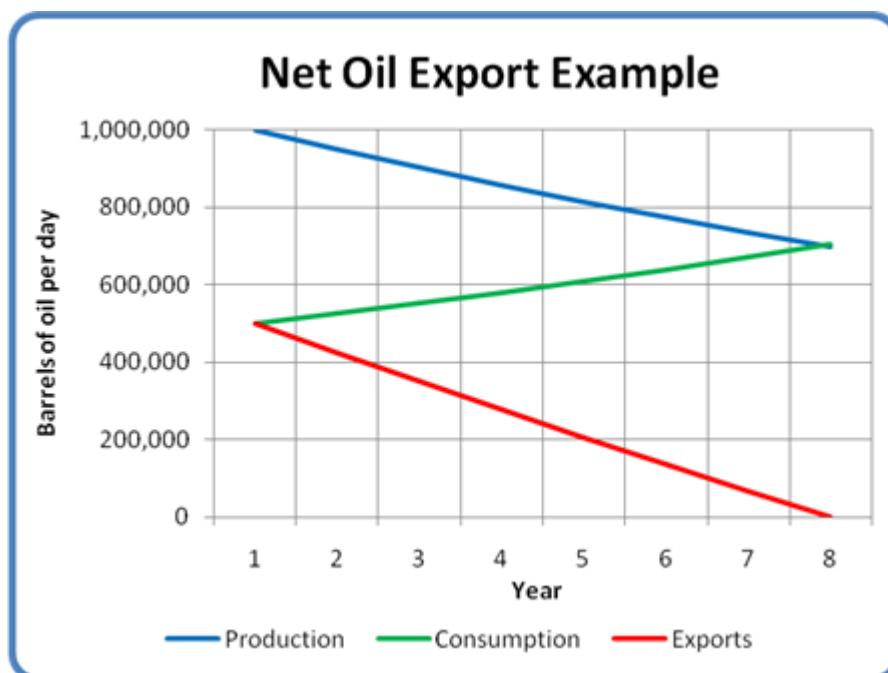


Grafico 3: esempio di esportazione netta

Anche se produce ancora oltre 700.000 barili di petrolio al giorno, dopo 8 anni le esportazioni del paese sono scese a zero. È un fenomeno già constatato in Indonesia, nel Regno Unito e negli USA, tutte nazioni un tempo esportatori e ora importatori netti.

L'effetto è già rilevabile sul mercato mondiale del petrolio. Il grafico 4 mostra [le esportazioni mondiali totali](#) negli ultimi 5 anni. La linea più spessa (un polinomio di secondo grado, per i più curiosi) indica la tendenza: un imminente e repentino crollo delle esportazioni mondiali nette dell'oro nero.

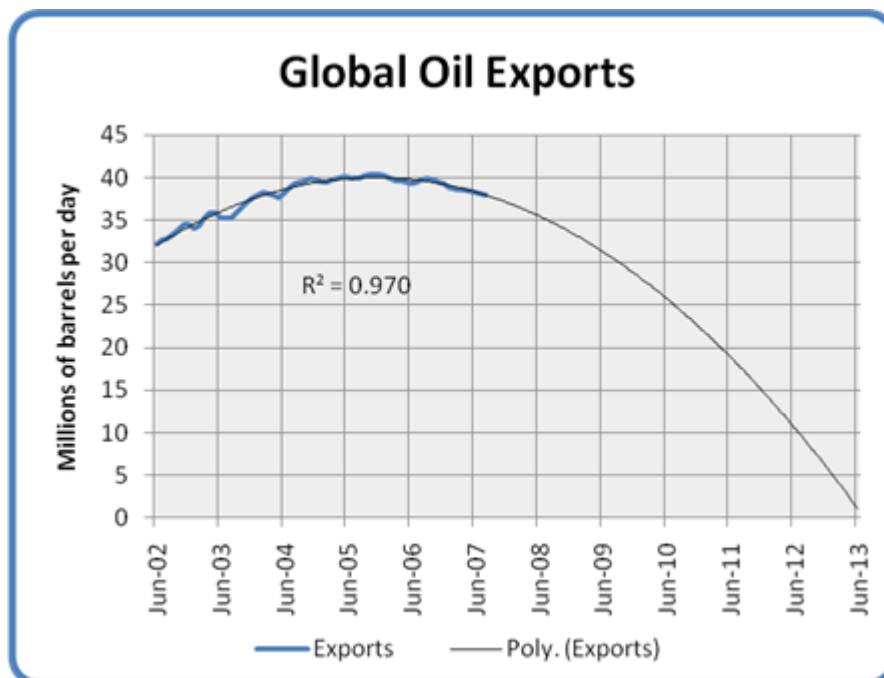


Grafico 4: esportazione mondiale netta di petrolio dal 2002 al 2013

Le variazioni delle esportazioni sono estremamente pericolose per i paesi importatori. Ad esempio, gli USA importano all'incirca i due terzi del petrolio di cui hanno bisogno. Se il mercato delle esportazioni dovesse cominciare improvvisamente a contrarsi, come il grafico 4 suggerisce, la nazione si troverebbe di fronte a una scelta estremamente ardua: accettare una drastica riduzione dell'attività industriale, del PIL e dello stile di vita, uscire dal mercato petrolifero internazionale e sottoscrivere contratti di fornitura di lunga durata con i paesi produttori, o tentare avventure militari per assicurarsi fonti di approvvigionamento all'estero (come hanno già tentato di fare in Iraq).

Devo queste informazioni al lavoro di Jeffrey Brown e al suo [Export Land Model](#).

Gas naturale

L'approvvigionamento di gas naturale mostra una situazione sensibilmente eguale a quella del petrolio. Ed è logico, dato che gas e petrolio provengono dalla stessa fonte biologica e tendono a concentrarsi in formazioni geologiche dello stesso tipo; i loro giacimenti vengono inoltre trivellati con apparecchiature molto simili. La differenza più importante consiste nel fatto che il petrolio è un liquido viscoso mentre il gas è... beh, è un gas.

Petrolio e gas avranno entrambi un picco di produzione, ma la successiva curva di declino di questo secondo prodotto sarà molto più accentuata, a causa della sua minore viscosità. Per capirne i motivi, pensate a due palloncini identici, riempiti rispettivamente

di acqua e di aria: se li poggiate a terra e li lasciate, quello pieno d'aria si sgonfierà molto più velocemente dell'altro. Un giacimento di gas si comporta allo stesso modo: quando viene perforato dalle trivelle il gas fuoriesce per la sua stessa pressione. Man mano che si svuota, il flusso si mantiene relativamente costante fino a quando il gas finisce, per poi interrompersi bruscamente.

I giacimenti di gas mostrano la stessa distribuzione di taglia di quelle petrolifere. Come nel caso del petrolio, abbiamo trovato e sfruttato prima i più grandi, ma quelli che entrano ora in produzione tendono a diventare sempre più piccoli e a richiedere un maggior numero di perforazioni per fornire la stessa quantità di gas. Ad esempio, il numero di nuove trivellazioni in Canada è [aumentato del 400%](#) tra il 1998 e il 2004 (dalle 400 del 1998 alle 16.000 del 2004), mentre la produzione annua si è mantenuta costante. In altri termini, la disponibilità di gas naturale seguirà la stessa curva a campana che abbiamo visto nel caso del petrolio.

La natura dei rispettivi mercati mondiali di esportazione rappresenta un'altra importante differenza tra petrolio e gas, che nel caso del secondo è abbastanza più piccolo, a causa della sua maggiore difficoltà di trasporto. Il petrolio dev'essere semplicemente pompato nei serbatoi e poi recuperato, mentre il gas naturale dev'essere liquefatto (con un notevole dispendio di energia), trasportato in contenitori speciali a bassa temperatura e alta pressione, e infine rigassificato a destinazione (con un ulteriore notevole dispendio di energia). Di conseguenza, buona parte del gas naturale viene instradato via gasdotto, e il suo mercato è quindi tipicamente nazionale o al massimo continentale. Con un'importante implicazione: se la disponibilità a livello continentale si riduce è molto difficile porvi rimedio importando gas da altre aree mondiali con riserve ancora abbondanti.

Il picco produttivo a livello mondiale non era ancora stato raggiunto nel 2005, ma due cose sono sicure: il periodo di preallarme sarà ancora più breve che nel caso del petrolio, e il successivo tasso di declino potrebbero essere [sorprendentemente elevato](#). Per il modello del gas ho scelto come momento di picco un arco di tempo che va dal 2025 al 2030, cui farà seguito un rapido accentuarsi del tasso di declino che raggiungerà l'8% all'anno entro il 2050 e si manterrà poi costante per i successivi 50 anni. La curva di produzione che ne consegue è riportata nel grafico 5.

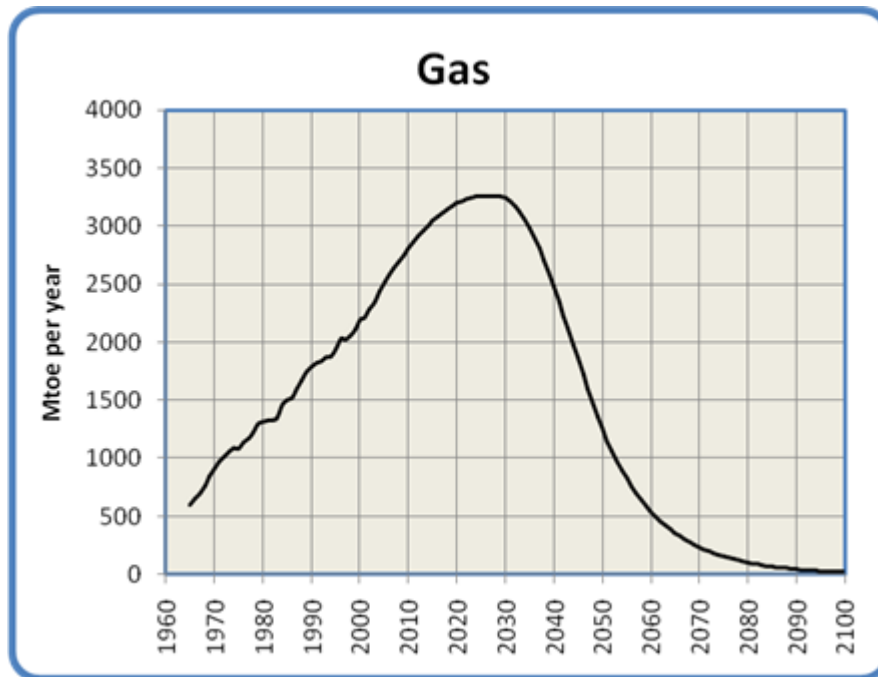


Grafico 5: produzione mondiale di gas naturale dal 1965 al 2100

Carbone

Con la sua pessima fama sul piano ambientale, che rimonta all'epoca, il 1700, in cui in Gran Bretagna se ne fece per la prima volta largo uso, il carbone è la pecora nera tra i carburanti fossili. Le nebbie di Londra, alimentate dai camini, erano famose e hanno danneggiato la salute di centinaia di migliaia di persone. Al giorno d'oggi la maggiore preoccupazione riguarda però non tanto fuliggine e cenere quanto il biossido di carbonio sprigionato dal suo uso: a parità di peso il carbone rilascia più CO₂ del petrolio o del gas, anche se, dal punto di vista della produzione di energia ha il vantaggio di essere estremamente abbondante. Nell'ottica del riscaldamento globale, questa caratteristica ha ovviamente una connotazione fortemente negativa.

Il carbone viene in massima parte sfruttato per produrre elettricità. Col crescere delle economie cresce anche la domanda di elettricità, e se quest'ultima viene usata per rimpiazzare quella persa a causa del declino del petrolio e del gas naturale la domanda di carbone sarà messa sotto pressione. Attualmente la Cina sta installando due o tre nuove centrali a carbone ogni settimana, e prevede di continuare a questo ritmo per almeno tutto il prossimo decennio.

Anche il carbone, come abbiamo già visto nel caso del petrolio e del gas, avrà un picco e un declino. In passato abbiamo cercato e usato soprattutto l'antracite, il carbone di migliore qualità; ma molti degli attuali giacimenti consistono in lignite e materiale

bituminoso di grado inferiore, che hanno un rendimento inferiore quando vengono bruciati e richiedono quindi uno sfruttamento più ampio delle miniere per fornire la stessa quantità di energia.

L'[Energy Watch Group](#) ha condotto un'approfondita analisi sull'uso del carbone nel prossimo secolo, e io ho usato le loro conclusioni come punto di partenza per il mio modello. Il modello prevede un uso in costante aumento del fossile, fino al picco nel 2025. Il riscaldamento globale comincia ad avere serie conseguenze e aumenteranno quindi le pressioni per ridurre il ricorso al carbone; la curva di declino sarà quindi leggermente meno ripida di quella prevista dall'Energy Watch Group. Disgraziatamente, l'abbondanza del carbone e la nostra necessità almeno in parte l'energia persa per l'esaurimento del petrolio e del gas renderanno meno brusco, rispetto ai combustibili fossili, il declino d'uso, che nel modello passa dallo 0% del 2025 a un limitato 5% annuo nel 2100. Otteniamo così la curva del grafico 6.

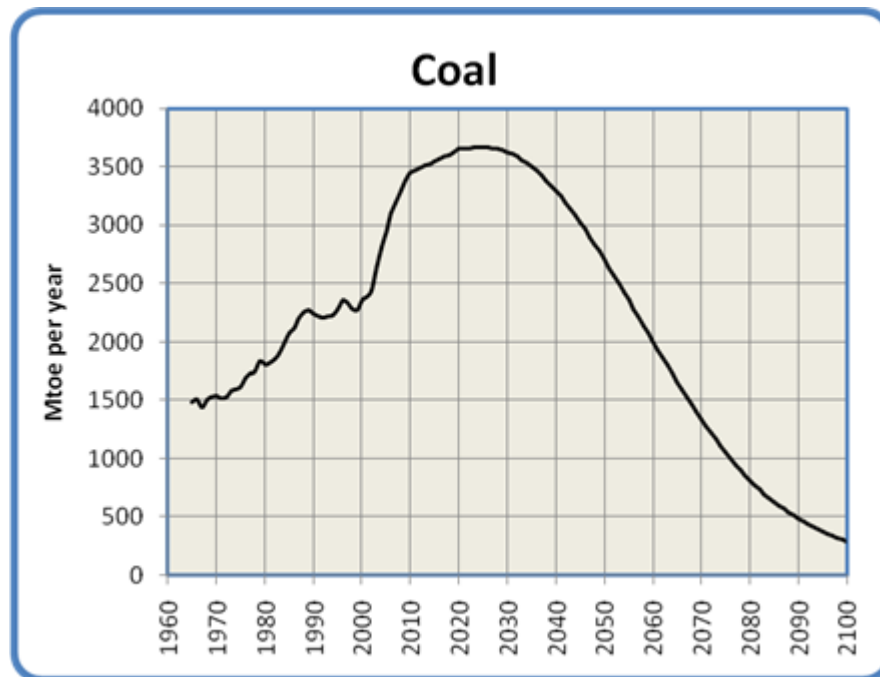


Grafico 6: produzione mondiale di carbone dal 1965 al 2100

Naturalmente, l'uso del carbone implica il pericolo di un maggior riscaldamento globale a causa della produzione di CO₂. Sono state scritte molte belle parole sulla possibilità di ridurre il rischio ricorrendo al CCS (Carbon Capture and Storage), che prevede la cattura negli scarichi delle centrali e la compressione del CO₂, e il suo successivo pompaggio in giacimenti di gas ormai esauriti per una conservazione nel lungo periodo. Si tratta di una tecnologia ancora sperimentale, e dal punto di vista della sicurezza ci sono notevoli perplessità sullo stoccaggio di enormi quantità di CO₂ in strati di roccia porosi. La mia analisi non tiene in gran conto piani di questo, e quando discuteremo l'incrociarsi del

degrado ecologico col declino energetico darò per scontato che sia stato fatto ben poco in rapporto alla quantità di carbonio prodotta a scala globale.

Nucleare

Il grafico della figura 7 è il risultato di una sintesi dei dati disponibili e delle mie proiezioni. Sono partito da una tabella sull'età dei reattori pubblicata dall'AIEA ([ristampata in occasione di una presentazione all'Association for the Study of Peak Oil and Gas](#)), dalla tabella delle serie storiche di produzione dell'energia nucleare della [BP Statistical Review of World Energy 200](#) e da una tabella dell'[Uranium Information Centre](#) che indica il numero di reattori installati, in costruzione, in fase di progettazione o proposti a livello mondiale.

La tabella sull'età dei reattori è particolarmente interessante perché mostra che nella maggior parte dei casi (361 su 439, per essere esatti) la loro età va dai 17 ai 40 anni. Naturalmente il numero medio di centrali varia da un anno all'altro, ma in generale si aggira sui 17 e in un paio di anni supererà i 30.

Alla base del mio modello di energia nucleare ci sono due considerazioni. La prima è che la durata di vita utile di un reattore si aggira sui 40 anni, e che quindi gli impianti stanno in buona parte approssimandosi alla loro fine di esercizio. La seconda è che il tasso di sostituzione ricavato dalla tabella dell'UIC è di soli 3 o 4 reattori all'anno almeno nel prossimo decennio, e molto probabilmente anche in quello successivo.

Ciò significa che nei prossimi 20 anni andranno fuori servizio più di 300 reattori, ma ne metteremo in funzione solo 60 nuovi. Nel 2030 avremo quindi una perdita netta di oltre 240 reattori, cioè più della metà del totale odierno. Si tratta di reattori di una potenza più o meno eguale (in media poco meno di 1 GW), e possiamo dunque calcolare la capacità mondiale di produzione fino al 2030 con ragionevole accuratezza.

Il modello interpreta in modo non restrittivo i dati disponibili: ipotizza che costruiremo ogni anno 3 GW di potenza nucleare nei prossimi 10 anni (grosso modo i reattori attualmente in costruzione), 4,5 GW nei dieci anni successivi (si tratta dei reattori in fase di progettazione la cui costruzione è più che probabile) e 6 GW nei 20 anni successivi (si tratta dei reattori di cui è stata proposta la costruzione). Ipotizza inoltre un crescente appoggio alle nuove centrali, perché penso che tra una 20 d'anni saremo alla disperata ricerca di energia, e questo spiega perché nel periodo esaminato il numero di centrali completate raddoppierà.

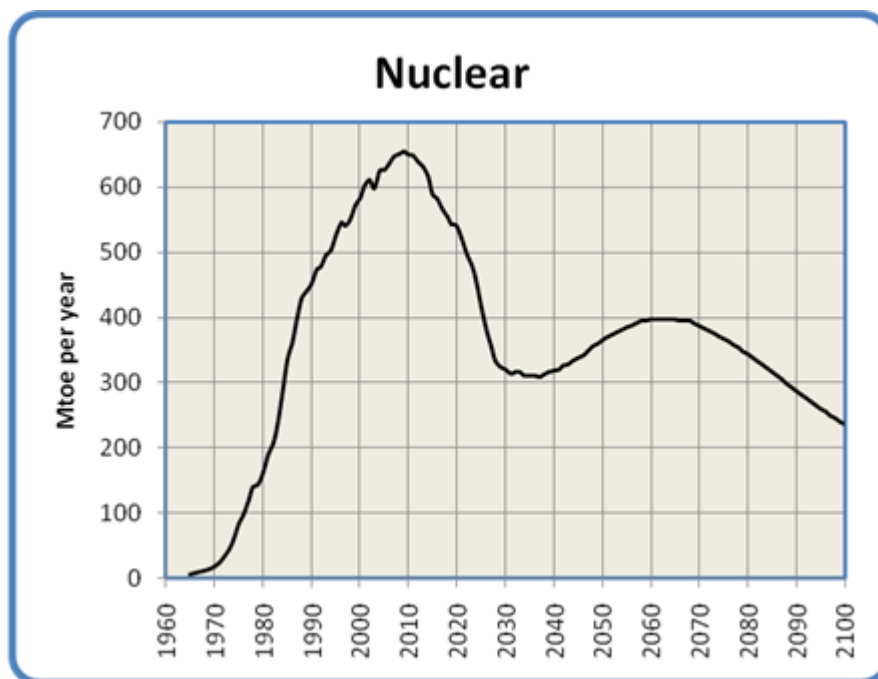


Grafico 7: produzione nucleare mondiale dal 1965 al 2100

Il crollo di capacità tra ora e il 2030 dipende dal fatto che le nuove costruzioni non tengono il passo con il rapido smantellamento di un gran numero di vecchi reattori. L'aumento dopo il 2030 deriva dal fatto che, secondo le mie previsioni, il ritmo di costruzione raddoppierà all'incirca dal 2025, quando la situazione energetica diventerà visibilmente critica e ci renderemo conto che la maggior parte dei reattori del periodo d'oro 1970-1990 sono ormai fuori servizio. Il declino finale dopo il 2060, infine, deriva dal fatto che, sempre secondo le mie previsioni, in qualche decennio la scarsità di petrolio e gas naturale darà il via a un rapido declino della capacità industriale. Di conseguenza, nel 2060 non avremo la capacità di cui avremmo bisogno per sostituire tutti i vecchi reattori nucleari.

La spiegazione del picco di capacità nucleare nel 2010 e del successivo calo è molto simile a quella del Picco petrolifero: il grosso dei reattori sarà fuori uso tra poco e non ne stiamo costruendo in numero sufficiente per sostituirli. In effetti per bilanciare l'attuale tasso di smantellamento dovremmo costruire 17 nuovi reattori all'anno (oltre 5 volte il numero attualmente in programma) per sempre, e la cosa è molto improbabile alla luce del contesto economico, normativo e sociale in cui l'industria nucleare opera oggi. Il crollo della capacità produttiva dopo il 2010 significa inoltre che le preoccupazioni sull'estrazione dell'uranio (che si aggira oggi sulle 50.000 tonnellate all'anno in tutto il mondo) sono inutili.

Idroelettrico

Se nella favola dell'energia il carbone è la sorellastra cattiva, l'idroelettrico è invece la fatina buona. Dal punto di vista ambientale è relativamente pulita, anche se forse non tanto quanto si pensavo un tempo, è in grado di fornire grosse quantità di elettricità in modo continuo, ha una tecnologia ben controllata, è disponibile ovunque e non richiede un eccessivo livello di sofisticazione (almeno in confronto al nucleare). Dighe e generatori hanno una lunga durata di esercizio. Anche se tendono ad essere a scala soprattutto locale, ha comunque la sua buona dose di problemi, primi tra i quali la distruzione dell'habitat provocato dalle inondazioni, il rilascio di CO₂ e metano dalla vegetazione sommersa dalle acque e l'alterazione del flusso dei fiumi. In termini di sviluppo ulteriore, il principale ostacolo è rappresentato dal fatto che in molte aree i siti più adatti dal punto di vista idrologico sono già sfruttati.

Ciononostante resta una fonte di energia interessante, e in futuro il suo sviluppo continuerà probabilmente allo stesso ritmo del passato, almeno fino a quando la capacità tecnologica o le domande del mercato non renderanno irrilevanti ulteriori sviluppi.

Per calcolare il tasso di crescita della produzione idroelettrica ho usato una curva polinomiale di secondo ordine nella serie storica di produzione degli ultimi 420 anni. Una proiezione di questo tipo sottintende che lo sviluppo futuro sarà molto simile a quello registrato in passato, quanto meno fino a quando un'influenza esterna non alteri il corso degli eventi. Il risultato è mostrato nel grafico 8. Un motivo di fiducia nell'affidabilità della proiezione è l'elevata corrispondenza della curva scelta con i dati reali, come si vede dal valore di R² (0,994) che è tanto migliore quanto più si avvicina a 1,0.

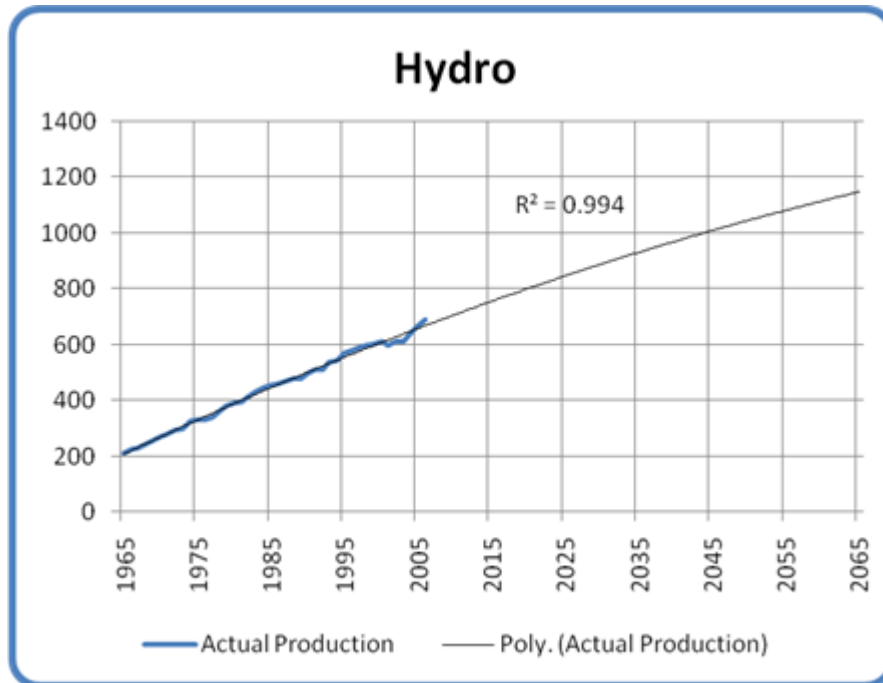


Grafico 8: proiezione della produzione idroelettrica

Il modello di produzione idroelettrica del grafico 9 ha la possibilità di arrivare entro il 2060 a un livello doppio di quello attuale, per poi ridiscendere ai valori odierni entro il 2100. Il declino della seconda metà del secolo è da imputare a una perdita della capacità industriale mondiale e a una riduzione dei flussi di acqua provocati dal riscaldamento globale. Sono, appunto, le influenze esterne di cui parlavamo prima.

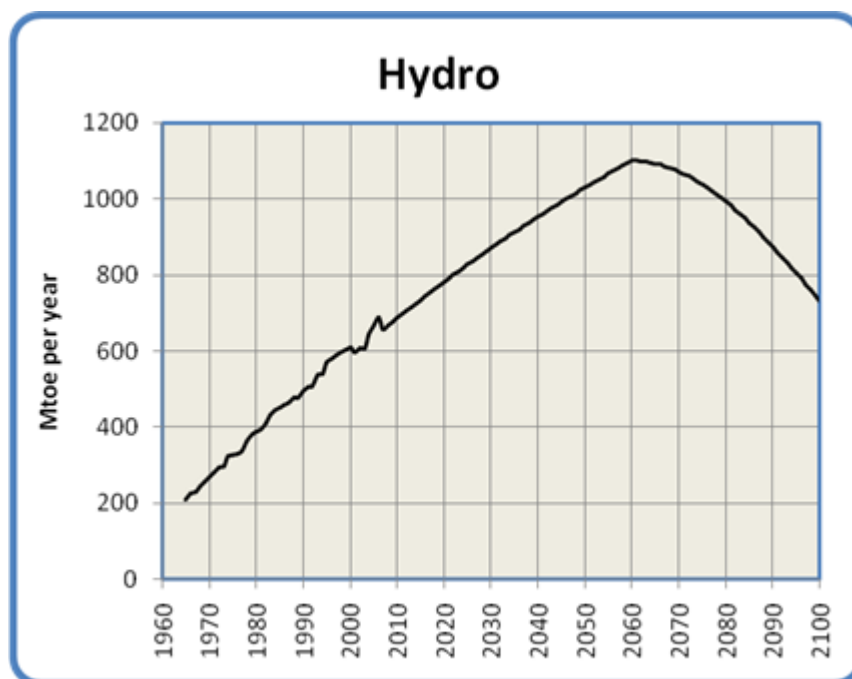


Figure 9: Global Hydro Production, 1965 to 2100

Energie rinnovabili

Col termine energie rinnovabili s'intendono fonti quali l'eolico, il fotovoltaico e il solare termico, l'energia di marea, ecc. Valutarne il probabile contributo alla futura disponibilità energetica è una delle fasi più difficili cui ho dovuto far fronte nel mettere a punto questo modello, dato che il settore è ancora nella sua infanzia. Per il momento mostra quindi un impatto minimo ma delle possibilità enormi. Il contributo a livello mondiale è ancora trascurabile (meno dell'1% del bisogno energetico globale) ma il tasso di crescita è eccezionale. L'energia eolica, ad esempio, ha fatto registrare, nell'ultimo decennio, un [tasso di crescita annuo del 30%](#).

I fautori delle energie rinnovabili sottolineano l'enorme massa di ricerca attualmente in corso e l'ampia gamma di approcci esplorati. Sottolineano inoltre a ragione che lo stimolo è enorme: lo sviluppo di alternative rinnovabili è cruciale per la sostenibilità della civiltà umana. Consapevolezza, impegno e possibilità in nuce danno al nascente settore un'aura di invincibilità, e ciò a sua volta rafforza il punto di vista dei sostenitori che tutto è possibile.

Ovviamente il mondo reale è pieno di limiti imprevisti e ottimismo infondato. Uno di questi limiti è venuto alla luce nel campo dei biocarburanti, dove il pubblico ha dovuto prender coscienza del conflitto tra cibo e carburante. E un ottimismo eccessivo si può notare nello stesso campo, ove il sogno di sostituire a livello mondiale la benzina con l'etanolo e il biodiesel si scontra adesso con i limiti del basso rendimento energetico dei processi biologici.

Il punto centrale nel costruire un modello credibile è: qual'è il probabile tasso di sviluppo a lungo termine dell'energia rinnovabile nei prossimi 50 anni, e in che percentuale contribuirà alle esigenze mondiali?

Non sono d'accordo sul giudizio negativo secondo cui le fonti rinnovabili forniranno un contributo trascurabile, ma è irrealistico attendersi che possano raggiungere una posizione dominante sul mercato energetico. In primo luogo per l'avvio tardivo rispetto all'imminente declino del petrolio, del gas, e dell'energia nucleare, e in secondo luogo per il persistente svantaggio economico rispetto al carbone.

Per ottenere una proiezione realistica del tasso di sviluppo delle energie rinnovabili, ho usato lo stesso approccio indicato per l'energia idroelettrica. Come punto d'avvio per il grafico 10, sono stati usati i dati sulla produzione globale di energie rinnovabili dal 1980 al 2005 raccolti dall'[Energy Information Agency](#). Come già nella proiezione della

produzione idroelettrica, l'elevata corrispondenza della curva scelta con i dati reali, come si vede dal valore di R^2 (0,994) garantisce l'affidabilità della curva.

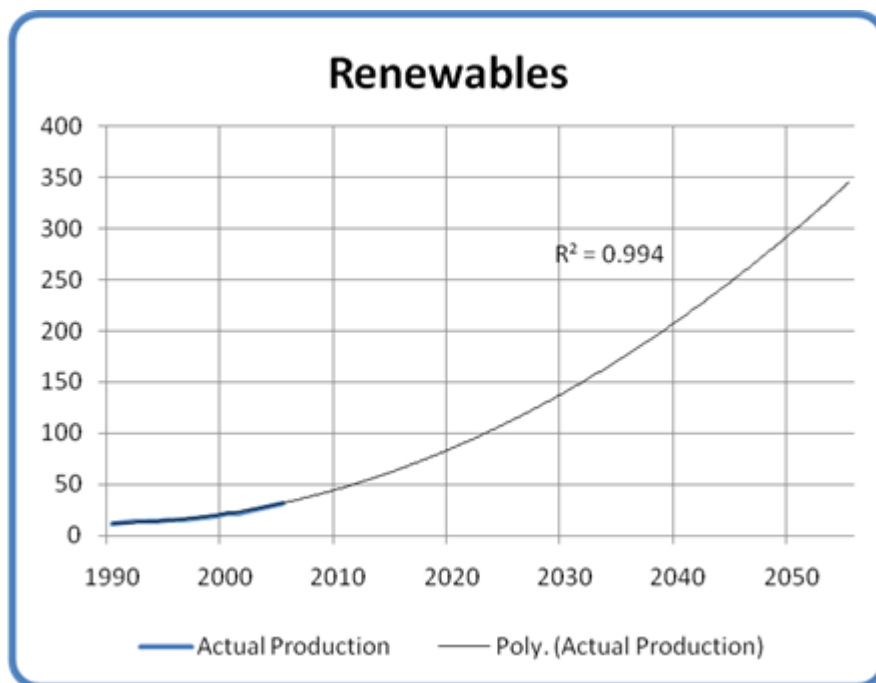


Grafico 10: proiezione della produzione da fonti rinnovabile

In questo caso la tecnica mostra un paio di punti deboli. In primo luogo, mette insieme tutte le fonti di energia rinnovabile (geotermico, solare, eolico, biomassa, ecc.): alcune stanno ancora muovendo i primi passi, ed è quindi possibile che in futuro facciano registrare tassi di sviluppo più elevati e facciano quindi sembrare la proiezione troppo prudente (d'altra parte è anche possibile che si trovino di fronte a limiti imprevisti e finiscano con l'andare in tutt'altra direzione). In secondo luogo, il settore è giovane, e discontinuità di produzione da un anno all'altro possono rendere la curva inaffidabile. Il problema è stato affrontato usando come base solo i dati degli ultimi 15 anni, cioè quelli di più alta crescita dei settori eolico e solare: l'indice di correlazione elevato mostra che la variazione annua della curva resta piuttosto limitata. Nell'insieme, la proiezione sembra quindi adatta a essere usata come base del modello.

Ho posto il contributo massimo nel 2070, dopo di che la produzione declina perché molte fonti di energia rinnovabile (turbine eoliche e pannelli solari fotovoltaici) dipendono da un elevato livello tecnologico e dalle capacità industriali. Anche così il modello prevede che alla fine del secolo il contributo delle fonti rinnovabili sarà percentualmente superiore a quello di qualsiasi altra fonte, eccetto l'idroelettrica.

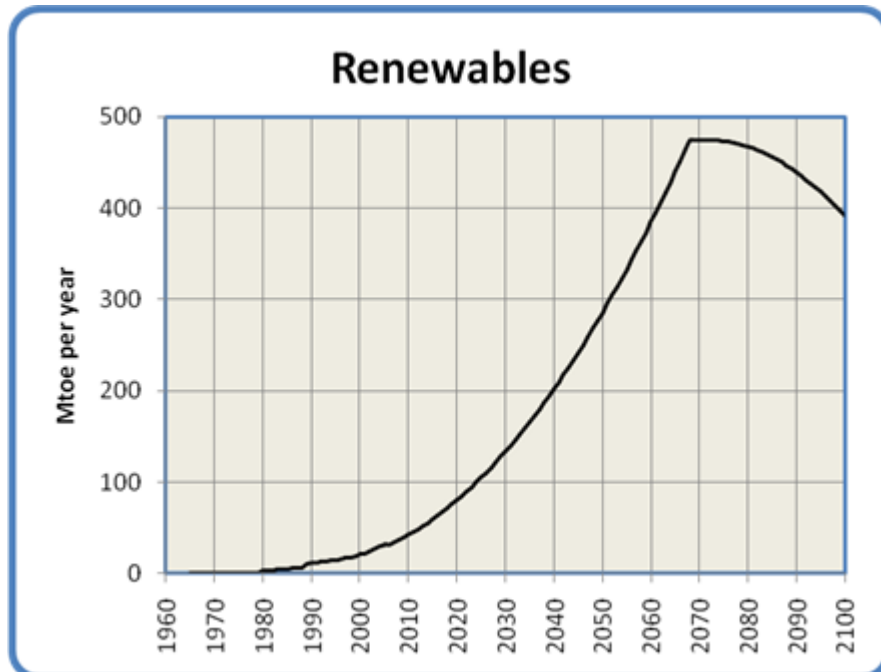


Grafico 11: produzione di energia rinnovabile mondiale dal 1965 al 2100

Le fonti energetiche in prospettiva

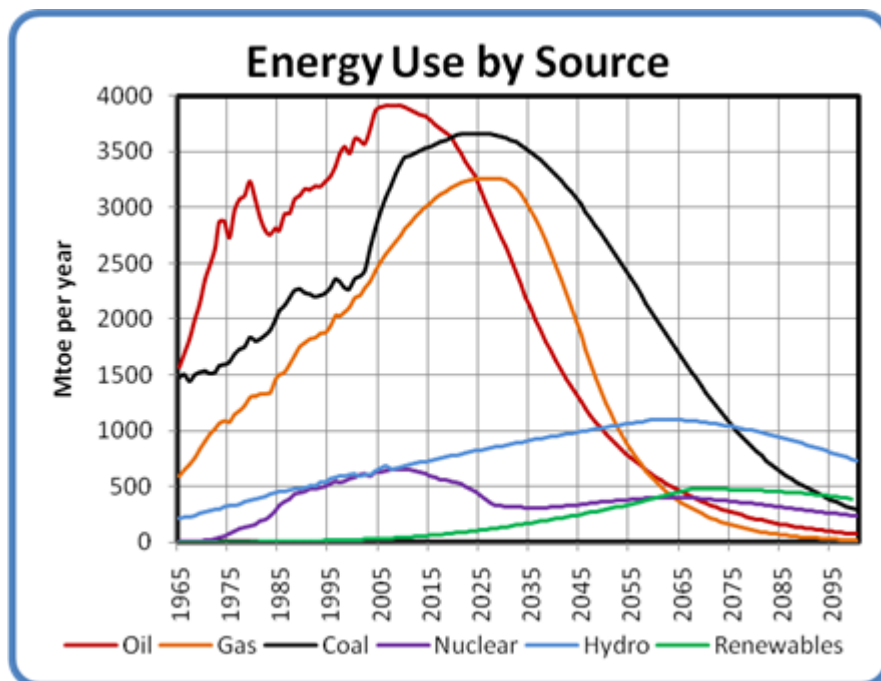


Grafico 12: uso dell'energia in base alle fonti dal 1965 al 2100

Il grafico 12 riunisce tutte le proiezioni precedenti; permette così di rendersi conto dei tempi relativi dei vari picchi di produzione e di controllare nel tempo il contributo di ogni fonte energetica rispetto alle altre.

Come appare chiaro, i combustibili fossili offrono il contributo di gran lunga più importante all'attuale mix energetico mondiale ma declineranno rapidamente nella seconda metà del secolo. A partire dalla metà del secolo i settori idroelettrico e delle energie rinnovabili offriranno un contributo sensibile, mentre l'energia nucleare si manterrà costante. Sul finire del secolo, petrolio e gas naturale saranno usciti dal grafico e l'idroelettrico, le energie rinnovabili, il carbone e il nucleare costituiranno (in questo ordine) le principali fonti di approvvigionamento.

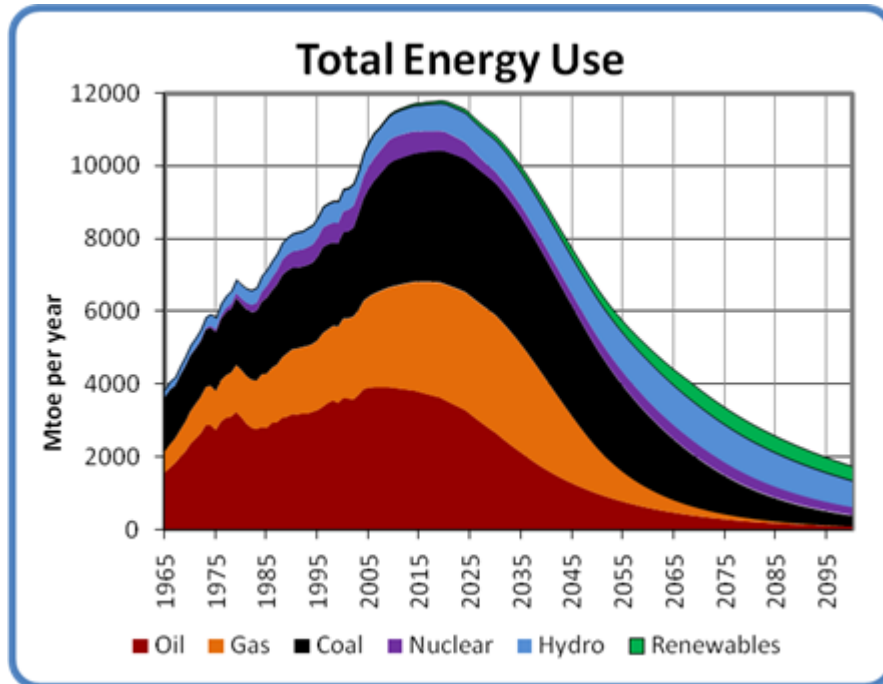


Grafico 13: uso totale dell'energia dal 1965 al 2100

Il grafico 13 riunisce tutte le curve energetiche per mostrare l'andamento globale del consumo di energia a scala mondiale. Il grafico indica crescita, picco e declino di ciascuna fonte per consentire una visione d'assieme della situazione energetica fino al 2100. Il picco maggiore si colloca attorno al 2020, con un successivo accentuato declino fino al 2100, giustificato soprattutto dalla perdita di petrolio, gas e, in misura minore, carbone. Il declino è attenuato da un aumento verso la metà del secolo dell'idroelettrico e delle fonti rinnovabili, con una media leggermente inferiore al 3% annuo.

Disgraziatamente, la perdita dell'enorme contributo dei combustibili fossili significa che l'energia totale a disposizione dell'umanità a fine secolo potrebbe essere meno di 1/5 di quella attuale e meno di 1/6 di quella di picco, tra dieci anni o poco più. La situazione contiene un ovvio messaggio, ed è proprio questo messaggio l'obiettivo dell'articolo.

Effetto del declino energetico sulla popolazione

Come ho spiegato nell'introduzione, la crescita della popolazione mondiale è stata resa possibile dalla nostra produzione di energia. Adesso è tempo di analizzare un poco più in dettaglio tale rapporto e di riflettere sulle implicazioni del modello energetico mondiale che abbiamo appena messo a punto.

Situazione storica e situazione attuale

Secondo un'analisi storica dell'energia umana pubblicata da [Western Oregon University](#), il consumo pro capite di energia alimentare si è mantenuto relativamente stabile (con un rapporto 3:1 sull'arco di buona parte della storia umana) ma l'energia che ciascuno di noi usa per le altre attività è aumentato di circa 30 volte dall'inizio dell'era agricola alla situazione attuale dei paesi industrializzati. La popolazione mondiale è cresciuta in maniera simile, passando dai 200 milioni dell'anno 1 DC ai 6,6 miliardi di oggi.

Uno dei risultati più importanti dello studio del WOU concerne il consumo energetico non-alimentare di un "agricoltore evoluto" del nord Europa nel 1400. Se convertiamo le 20.000 kcalorie diarie nella nostra misura standard di toe (tonnellate di petrolio equivalente) abbiamo una cifra di 0,75 all'anno. Il consumo di un "uomo della prima industrializzazione" si aggirava sui 2,5 toe all'anno. La media pro capite globale del consumo energetico non-alimentare nel 1965 era di sole 1,2 toe all'anno.

Nel consumo energetico globale esistono, naturalmente, grandi disparità: la popolazione aggregata di Cina, India, Pakistan e Bangladesh (2,7 miliardi d'individui) usa oggi una media di 0,8 toe per persona all'anno, rispetto a una media mondiale di 1,7 toe e un consumo negli USA di circa 8,0 toe.

È ragionevole aspettarsi che il declino della fornitura mondiale di energia influirà in modo differente sui paesi alle due estremità dello spettro. La situazione si complica ulteriormente per gli effetti della contrazione netta delle esportazioni di petrolio sui paesi importatori, e per il loro livello di ricchezza o povertà. Un'analisi rigorosa di tali effetti oltrepassa gli obiettivi questo' articolo, ma esamineremo alcuni impatti probabili a breve e lungo termine. Completeremo così l'analisi dell'effetto complessivo del declino energetico sulla popolazione mondiale, oggetto principale dello scritto.

Effetti a lungo termine e aggregati

Come abbiamo visto nel precedente esempio dell' "agricoltore evoluto", gli esseri umani hanno bisogno di una notevole quantità di energia anche solo per una qualità di vita

relativamente povera. Ciò significa che col declinare delle disponibilità energetiche e della quota pro capite, la qualità di vita di coloro che si collocano all'estremità inferiore della scala dei consumi risulterà tanto più gravemente colpita quanto più si troveranno vicini a un livello di consumi di pura sussistenza.

Nella nostra civiltà il valore dei beni dipende dalla loro scarsità: quanto più un bene indispensabile è raro tanto più il suo prezzo è elevato. Chi se lo può permettere l'ottiene a spese di quelli che invece non possono. E chi è escluso deve ridurre il consumo, o eliminarlo del tutto. Il principio si applica all'energia, come bene aggregato, esattamente come a qualsiasi altro bene.

In che misura l'individuo potrà sopravvivere a un crollo delle forniture di energia e al conseguente aumento dei prezzi, dipenderà soprattutto dalla sua capacità di eliminare altri consumi per potersi permettere di comprare l'energia di cui ha bisogno: chi è in fondo alla scala economica non sarà in grado di rindirizzare le sue spese voluttuarie verso l'acquisto di energia, semplicemente perché non può permettersi spese voluttuarie. Di conseguenza verrà messo fuori gioco e dovrà limitare l'uso di carburante o elettricità; ma se il consumo di questi beni è già tanto basso da permettergli a stento di sopravvivere il risultato sarà ovviamente catastrofico.

Oltre 4,5 dei 6,6 miliardi d'individui che popolano la terra vivono in paesi che hanno un consumo energetico pro capite inferiore a 2,0 toe all'anno. Al declinare delle forniture di energia, questi paesi rischieranno un forte aumento della mortalità, perché verranno esclusi dal mercato mondiale dell'energia e la popolazione scenderà al di sotto del livello minimo di energia necessario per la sopravvivenza.

Effetti a breve termine e regionali

Gli effetti di questo tipo saranno dovuti soprattutto del picco petrolifero e della successiva crisi dell'esportazione netta. Non appena le esportazioni cominceranno a contrarsi in misura percettibile, i prezzi del petrolio saliranno rapidamente.

Alcuni paesi produttori decideranno di vendere la maggior parte della produzione sui mercati internazionali per i guadagni che ne potranno ricavare; la scelta metterà in difficoltà la popolazione e potrà provocare disordini o addirittura innescare una rivoluzione. Altri paesi produttori decideranno di immettere il petrolio sul mercato interno per soddisfare in priorità i bisogni dei propri cittadini; si assisterà così a un'ondata di nazionalizzazioni delle risorse petrolifere che consentiranno ai governi di gestire direttamente la distribuzione e controllare i prezzi a livello nazionale.

I paesi importatori si troveranno a dover fare una scelta simile a quella prima descritta per i paesi poveri. Dovranno riorientare le loro spese discrezionali verso l'acquisto di petrolio; se non potranno acquistarne a sufficienza per soddisfare i propri bisogni, saranno obbligati a ridurre i consumi, oppure, se lo possono permettere, potranno essere tentati di assicurare la fornitura ricorrendo alle armi. I paesi produttori che stanno lasciando il proprio petrolio fuori dal mercato mondiale (o che pensano di farlo) saranno quindi particolarmente esposti al pericolo di diventare obiettivi di una possibile guerra. Alcuni aspetti di questo calcolo geopolitico sono già entrati in gioco nell'invasione statunitense dell'Iraq.

La crisi dell'esportazione netta di petrolio potrebbe ben diventare l'elemento centrale nel definire gli sviluppi geopolitici del prossimo decennio.

Il modello della popolazione

Il modello della popolazione si basa soprattutto sugli effetti aggregati a lungo termine del declino energetico, e non specifica i meccanismi della riduzione di popolazione presi in conto nella proiezione. È comunque probabile che includano cause quali grandi penurie di cibo a livello regionale, diffusione di malattie a causa della perdita di assistenza medica e servizi sanitari, maggiore mortalità per l'esposizione al caldo e al freddo.

La principale interazione del modello è quella tra l'energia disponibile in un certo momento (cfr. grafico 13) e la stima del consumo medio mondiale pro capite. Il consumo mondiale individuale è attualmente di circa 1,7 toe all'anno, quantità che nel modello scende uniformemente a 1,0 toe entro il 2100. per mettere le cose nella giusta prospettiva, nel 1965 la media mondiale era pari a 1,2: il modello non sta quindi predicendo una discesa molto al di sotto di questo livello. È molto probabile che aumenti la disparità tra i paesi ricchi e quelli poveri, ma l'approccio usato ne maschera l'effetto.

Con queste premesse, la popolazione mondiale aumenterebbe nel 2025 a circa 7,5 miliardi per poi cominciare un inarrestabile declino a 1,8 miliardi entro il 2100.

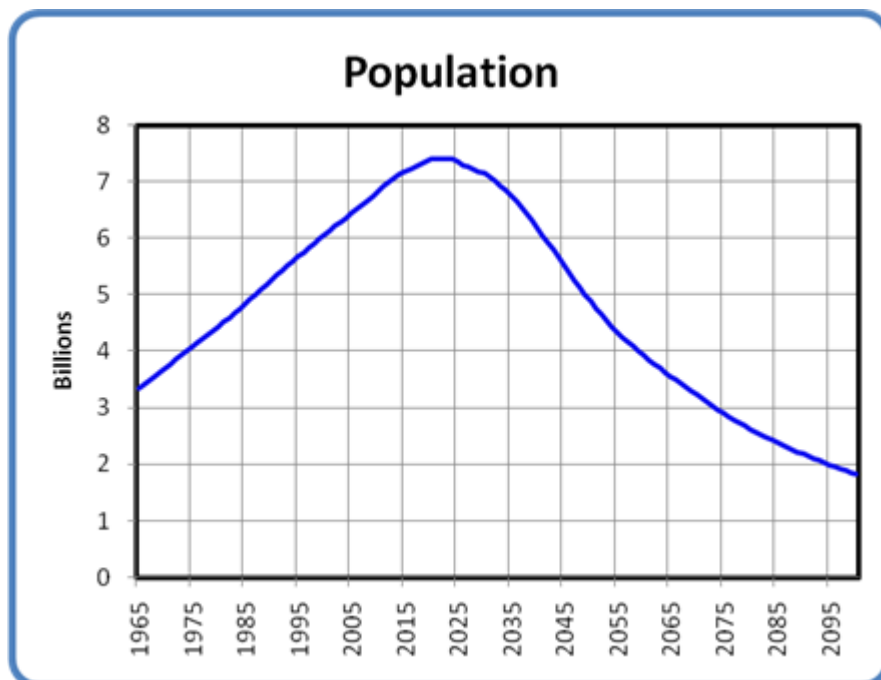


Grafico 14: popolazione mondiale e declino energetico dal 1965 al 2100

Effetti del disastro ecologico

Per completare il quadro della popolazione umana nei prossimi cento anni, è necessario accennare ad alcuni problemi ecologici da tenere in considerazione.

Secondo [Wikipedia](#), l'ecologia è lo studio scientifico della distribuzione e della presenza di organismi viventi e di come tale distribuzione e presenza vengano modificate dalle interazioni tra organismi e ambiente.

I concetti ecologici fondamentali per capire la situazione attuale dell'umanità sul nostro pianeta sono due: la capacità di carico e il soprannumero.

Capacità di carico

La capacità di carico di un ambiente è data dalla quantità di risorse a disposizione della popolazione che lo abita. La risorsa limitante è considerata di solito la disponibilità di cibo, un concetto facilmente applicabile a piante e animali. Due esempi classici sono la fluttuazione del rapporto predatore-preda (lupi e cervi oppure volpi e coniglio) o il numero di bufali che possono vivere su una certa prateria.

Ma i problemi cominciano quando tentiamo di applicare lo stesso criterio agli esseri umani. Nel mondo animale, una popolazione è al di sotto della capacità di carico dell'ambiente si moltiplica e si stabilizza quando la raggiunge. Nel caso degli esseri

umani, però, il totale ha continuato ad aumentare per moltissimo tempo (e in effetti sta ancora aumentando, anche se più lentamente): non abbiamo ancora raggiunto la capacità di carico della terra o sono intervenuti altri fattori?

Il punto che non è stato preso in esame è, ovviamente, il tipo di risorsa consumata dai singoli componenti della popolazione.

Nel mondo animale la principale risorsa consumata è il cibo, un'esigenza praticamente costante: può variare leggermente per fattori quali la crescita o il periodo dell'anno, ma in media la quantità di cibo necessaria a ciascun organismo per vivere è relativamente stabile. Gli animali hanno poche esigenze, oltre al cibo e all'acqua, ed è quindi relativamente facile (almeno in teoria) calcolare la capacità di carico di un certo ambiente per una specie particolare.

Anche nel caso degli esseri umani, come abbiamo visto prima, la quantità di cibo necessaria per sopravvivere si mantiene relativamente costante, diciamo tra le 2.000 e le 5.000 chilocalorie al giorno, in funzione del livello di attività. Quello che invece varia, differenziandoci dagli altri animali e complicando il calcolo della capacità di carico, è invece il livello di risorse non alimentari consumate. Nelle sezioni anteriori abbiamo usato l'energia come indice indiretto di tutte le altre risorse.

La definizione di capacità di carico che preferisco è la seguente: La capacità di carico di un ambiente è il numero massimo d'individui che tale ambiente può ospitare in modo sostenibile per un dato livello di attività.

La sostenibilità è definita in questi termini: processo o stato sostenibile è quello che può essere mantenuto a un certo livello per un periodo indeterminato. Un processo o stato sostenibile dovrebbe offrire condizioni ottimali a tutti gli organismi che ne dipendono, e non dovrebbe minacciare, in modo diretto o indiretto, la loro capacità di vivere.

Alla luce di queste definizioni, s'intuisce facilmente che l'attuale livello di attività umana non è sostenibile. Il fatto che sia stato possibile dipende soprattutto dall'uso dei combustibili fossili, una risorsa non rinnovabile. Si tratta di un uso per definizione non sostenibile, e il picco petrolifero ne è la prova lampante.

Soprannumero

Una specie è detta in soprannumero quando i suoi componenti (o per essere esatti il suo livello aggregato di consumi) ha superato la capacità di carico dell'ambiente.

Quando supera la capacità di carico dell'ambiente, la popolazione esistente non può essere sostenuta e deve ridursi per allinearsi alla capacità di carico, o per scendere al di sotto di tale capacità: in linea generale una popolazione non può restare per molto tempo in soprannumero. La rapidità e l'ampiezza della riduzione dipende dal grado di soprannumero e dall'eventuale erosione della capacità di carico nel periodo di [soprannumero](#), come mostra il grafico 15. Per una trattazione completa del fenomeno consigliamo la lettura del libro "Soprannumero", di William Catton.

In caso di soprannumero esistono due possibilità per riallinearsi alla capacità di carico dell'ambiente in cui vive: se rimane costante (o continua a crescere) la popolazione deve ridurre la sua attività (in termini di consumo pro capite delle risorse e di produzione di rifiuti), se invece rimane costante il consumo pro capite deve ridursi il numero d'individui.

Le popolazioni in forte soprannumero non possono che declinare. Il fenomeno si constata nei fusti, dove le cellule di lievito muoiono dopo aver consumato tutto lo zucchero dei grappoli ed essersi immerse nei loro stessi rifiuti alcolici velenosi, o nel rapporto predatore-preda del mondo animale, dove il declino delle specie predate provoca il parallelo declino del numero di predatori. Questo tipo di declino delle popolazioni può essere estremamente rapido.

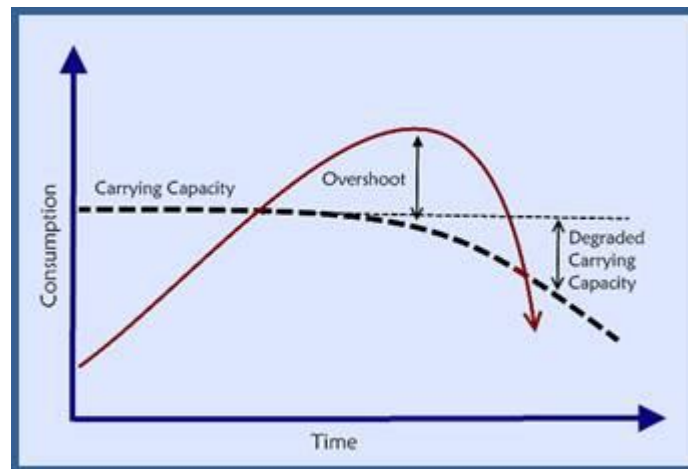


Figure 15: soprannumero

È un assioma dell'ecologia che il soprannumero degrada la capacità di carico dell'ambiente, come appare chiaro dalla curva calante della capacità di carico nel grafico 15. Nel caso della specie umana, l'uso del petrolio ci ha permesso di arrivare a risultati prodigiosi nell'estrazione delle risorse e nella produzione di rifiuti, che sarebbero stati assolutamente impensabili senza la disponibilità, non ripetibile, di petrolio. I combustibili fossili in generale, e il petrolio in particolare, hanno permesso all'umanità di restare a lungo in una situazione di soprannumero.

Al tempo stesso, l'uso di combustibili fossili e di altri tipi di energia ad alta intensità ci hanno permesso di non vedere il soggiacente degrado delle capacità di carico della Terra. La perdita di terreni coltivabili e di fertilità ([stimata in un 30%](#) o più [dalla Seconda guerra mondiale in poi](#)) è stata ad esempio mascherata con l'uso di fertilizzanti chimici ottenuti in gran parte dal gas naturale. Un altro esempio è la morte degli Oceani, dove il 90% di tutte le grandi specie ittiche [sono adesso in pericolo](#), e molte altre lo saranno nei prossimi 40 anni. La situazione sarebbe disastrosa per quei paesi la cui alimentazione di base sulla pesca se i combustibili fossili non permettesse loro di aumentare il volume di pescato nelle acque nazionali o di importare cibo non marino per supplire alla mancanza di pesce. L'impoverimento delle falde idriche può essere dimenticato usando acqua ottenuta da pozzi più profondi, l'inquinamento atmosferico usando i condizionatori d'aria, e così via. Sono tutti esempi che indicano come il declino ecologico possa essere opportunamente mascherato dall'uso dell'energia.

Dato che le nostre disponibilità di energia (specialmente di quelle non rinnovabili, come i combustibili fossili) cominciano a ridursi, la maschera sparirà gradualmente lasciando apparire la vera portata della nostra predazione ecologica. Dobbiamo affidarci sempre più alla generosità della natura; le conseguenze dei nostri atti cominceranno quindi ad avere conseguenze per noi tutti.

È impossibile dire a colpo sicuro di quanto l'umanità è in soprannumero. Alcuni calcoli indicano una [percentuale del 25%](#), altri puntano a cifre più alte. Qualunque sia la portata reale, non c'è dubbio sul danno che abbiamo inferto ai sistemi naturali atmosferici, terrestri e acquatici che ci hanno sostenuto prima dell'era del petrolio, del carbone, e del gas naturale.

Per completare il modello della popolazione ho fattorizzato l'effetto crescente legato alla graduale scoperta della perdita globale di capacità di carico, effetto che aumenta nel tempo per due motivi. Il primo è semplicemente che, col diminuire dell'energia a disposizione, non saremo più capaci di nascondere le soggiacenti perdite ecologiche. Il secondo è più insidioso: man mano che diminuiscono le fonti energetiche provocheremo ancora più danni all'ecosfera, nel tentativo di ritardare l'inevitabile. Un buon esempio è il riscaldamento globale che sarà prodotto dal CO₂ supplementare rilasciato quando bruceremo carbone nel tentativo di sostituire l'energia persa per la minore disponibilità di petrolio e gas.

Come in altri punti del modello, sono stati usati aggregati. In questo caso ho utilizzato una sola espressione numerica per il "danno ecologico" che ingloba tutte le possibili fonti di danno in un singolo termine matematico. Si da per scontato che il danno sia dovuto a molte cause: cambiamento climatico (siccità, alluvioni, e altri eventi atmosferici estremi), ridotta fertilità del suolo, inaridimento delle falde acquifere, morte

degli oceani, inquinamento chimico dei suoli e delle acque, perdita della biodiversità dovuta a estinzione delle specie, a distruzione dell'habitat o a produzione agricola monoculturale. Un aggregato di questo tipo causa inevitabilmente una perdita di precisione, e potrebbe causare una sovrastima o sottostima della situazione reale. I valori scelti sono quelli che considero più vicini allo stato attuale reale dell'ecologia globale.

Il modello assume che l'impatto della minore capacità di carico sta cominciando adesso per arrivare a circa il 40% nel 2100. L'impatto, che indica in che misura la capacità di carico si è ridotta e non può essere nascosta dall'uso energetico, viene applicato direttamente ai dati sulla popolazione del grafico 14: un impatto del 40% significa quindi che il mondo potrà sostenere 40% meno individui di quanto potrebbe in assenza di effetti.

Lo scenario viene alterato in tre modi: in primo luogo la popolazione massima è leggermente inferiore a quella del grafico 12. in secondo luogo la curva discendente è leggermente più accentuata, in terzo luogo la popolazione globale nel 2100 ammonta non più a 1,8 miliardi ma solo a 1 miliardo. Il grafico 15 indica la curva finale della popolazione.

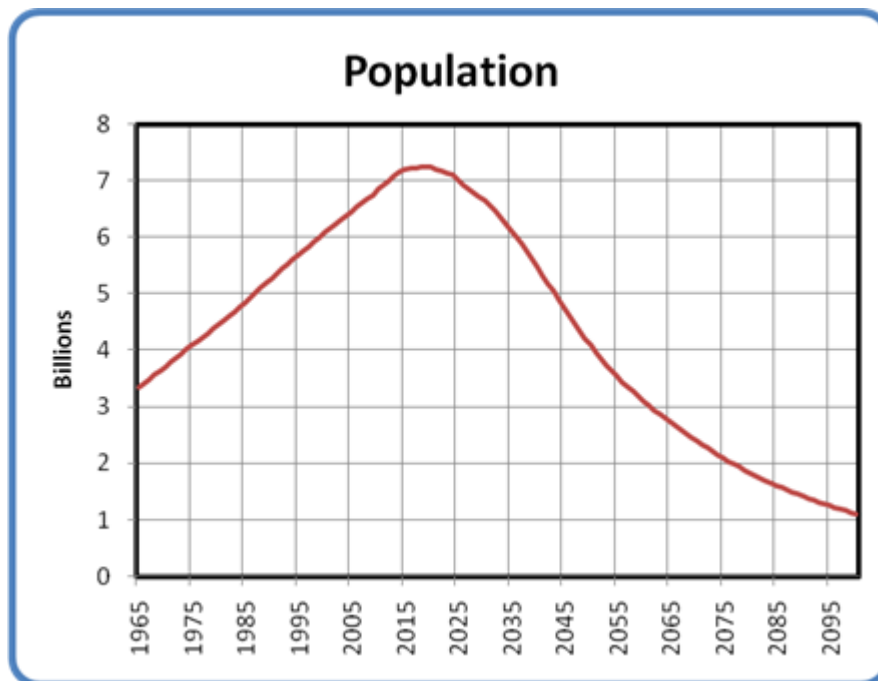


Grafico 16: popolazione mondiale e declino delle fonti energetiche e della capacità di carico dal 1965 al 2100

Analisi

Lo scenario sviluppato è ovviamente spaventoso, e la maggior parte di noi ha una viscerale avversione a parlare della sovrappopolazione. Secondo il mio punto di vista, se vogliamo prendere le giuste decisioni o azioni, a livello personale e pubblico è però fondamentale essere consapevoli delle possibilità descritte: capire i problemi di scala legati alle fonti di energia è imprescindibile per formare una tale consapevolezza.

L'obiezione immediata a ogni preoccupazione sulla sovrappopolazione è che questa si sta comunque riducendo in modo naturale, e si stabilizzerà ben presto a un livello gestibile. Il comportamento più logico è quindi accelerare il crollo del tasso di fertilità, attraverso la formazione delle donne. Altri affermano che il tasso delle nascite si ridurrà automaticamente quando i paesi poveri s'industrializzeranno, secondo il comportamento descritto nel [Demographic Transition Model](#). Esamineremo la fondatezza di ciascun argomento.

L'approccio formativo ha molti vantaggi: è umano, premia le società che lo mettono in pratica, costa poco (sia in termini economici che energetici), rappresenta un valido strumento che può essere pubblicizzato in molte occasioni, permette - anche in un mondo povero di risorse popolato da un miliardo di persone - alle comunità emarginate che lo hanno messo in pratica di trovarsi in una posizione comunque di gran lunga migliore di quelle che hanno invece difeso i principi "maschilisti" della nostra civiltà (concorrenza, dominio e sfruttamento). Dare il potere alle donne aumenta la diversità dei valori e lascia più spazio a organizzazioni sociali alternative, ad approcci nuovi per risolvere i conflitti e a una migliore comprensione dei rapporti tra esseri umani e ambiente.

Non possiamo però sperare che un tale approccio contribuisca in misura significativa a risolvere il problema della popolazione nel lasso di tempo a disposizione. Formazione e passaggio di poteri richiedono tempo, e ce ne è rimasto ben poco prima di essere travolti dall'ondata di impatti. Sarà però di grande aiuto durante il declino della popolazione, che continuerà per molti anni, probabilmente per almeno due generazioni: in questo arco di tempo, ogni nascita evitata ridurrà di un'unità il numero di coloro che si ritroveranno sotto la spaventosa minaccia di guerre, carestie, malattie o morte. In tali circostanze mi aspetto che il tasso di natalità crolli comunque, ma, se ci concentreremo sulla formazione e il passaggio di potere alle donne, renderemo l'evento più accettabile e rafforzeremo le fila di quelli cui spetterà preservare la nostra civiltà.

I sostenitori del Demographic Transition Model si trovano in una posizione più difficile. Il modello sostiene che le società che si industrializzano passano attraverso due fasi: la

prima vede aumentare le speranze di vita, la seconda si caratterizza per un crollo della fertilità. La società passa da una fase demografica di elevato tasso di nascite e decessi a una di elevato tasso di nascite e basso tasso di decessi, per poi arrivare a una fase di basso tasso di nascite e decessi. Ho pubblicato uno [studio](#) in cui viene analizzata l'energia necessaria per portare il mondo a una situazione di popolazione stabile o in declino usando tale metodo. Il risultato è che sarebbe necessaria una quantità di energia cinque volte superiore a quella che usiamo oggi, una prospettiva chiaramente irrealistica.

E questo ci porta alla domanda "E se scopriremo una nuova fonte in grado di darci l'energia di cui abbiamo bisogno? Magari la fusione o un altro metodo? Non risolveremo il problema?". Secondo me chi si pone questa domanda dovrebbe guardare con attenzione cosa abbiamo fatto con l'energia di cui disponevamo: abbiamo rovinato i terreni di superficie, svuotato le falde idriche, distrutto gli oceani, sciolto i ghiacciai, modificato la temperatura del pianeta, sterminato un numero enorme di altre specie. Più energia cambierebbe il nostro comportamento? Non c'è una sola probabilità al mondo.

Comunque, se le conclusioni del modello sono più o meno esatte tutti questi argomenti sono irrilevanti. Le limitazioni energetiche provocheranno una contrazione della popolazione nei prossimi 20 anni, e il loro impatto supererà di molto qualsiasi cambio che potrebbe essere introdotto da misure umanitarie. In effetti, se il modello è corretto, non vi sarà più un problema di sovrappopolazione, dato che i processi naturali interverranno per ridurre il nostro numero alle risorse disponibili.

Resta il problema di sapere sotto che forma si presenterà il declino della popolazione. Non è possibile anticipare dettagli sul fenomeno, ma si può tranquillamente affermare che sarà più catastrofico di qualsiasi altro disastro l'umanità abbia mai affrontato. Nella fase più acuta, nel corso di due o tre decenni a metà secolo, anche in presenza di un tasso di natalità pari a zero ci dovremo aspettare una mortalità tra i 100 e 150 milioni di persone all'anno. Per mettere le cose nella giusta prospettiva, la Seconda guerra mondiale causò 10 milioni di decessi all'anno, e durò solo 6 anni. Quello che ci aspetta dovrebbe quindi essere 50 volte peggio. Parlare in generale di morti previste non ci dice naturalmente niente sul rischio per la struttura stessa della nostra civiltà. Se è vero che gli Inuit usano una dozzina di termini per la nostra "neve", noi dovremmo inventarne un centinaio per "tempi duri".

Conclusioni

Tutte le ricerche fatte per quest'articolo mi hanno convinto che la corsa umana è ora alla fine. Ci stiamo adesso concentrando sui duri limiti imposti alle nostre attività dalla

