

Oltre i Limiti.

In che misura il metabolismo socio-economico umano ha superato i limiti fisici del pianeta.

Luca Pardi

Contributo per il convegno: **Demografia e consumi... quali limiti?** Promosso dalla Lista Bonino alla Regione Piemonte. Torino 15 Gennaio 2005

1. Introduzione.

La Terra è sovrappopolata. A chi afferma che questo sia un problema, si chiede di fornire una prova oggettiva del regime di sovrappopolazione. La domanda è legittima. Perché possiamo affermare che il pianeta è abitato da troppi esseri umani? Esistono osservazioni e misure che nell'ultimo decennio hanno tentato di dare una risposta. E l'hanno data. Oggi possiamo affermare con convinzione, che il metabolismo socio-economico ha oltrepassato i limiti fisici del pianeta. **Questo è determinato dagli ultimi due secoli e mezzo di aumento esponenziale[†] della popolazione e dalla parallela crescita dello sfruttamento delle risorse.** Il regime appena descritto, è definito in lingua inglese con una sintetica espressione: *overshoot*. *Overshoot* significa letteralmente 'oltrepassare', superare un limite, una barriera. Questa è un'esperienza che trova infiniti esempi nella vita di tutti i giorni. Andare oltre i limiti è una esperienza che si verifica in genere per la combinazione di tre fattori: 1) la rapida crescita di una grandezza 2) la presenza di limiti o barriere a questa crescita e 3) ritardi nella percezione dei limiti e errori nel controllo della crescita.[1]

Il fenomeno di crescita rapida che c'interessa in questo contesto è la crescita della popolazione e dell'economia materiale, che è stato il comportamento del sistema socio-economico globale per più di 200 anni. Non credo che ci sia bisogno di convincere nessuno del fatto che la crescita, ed in particolare la crescita esponenziale, siano la regola per molte grandezze che caratterizzano il metabolismo socio-economico contemporaneo. Alcuni dati sono riportati in Tabella 1.[1]

Grandezza	1950	% di crescita nei 25 anni	1975	% di crescita nei 25 anni	2000
Popolazione umana (milioni)	2.520	60%	4.077	50%	6.067
Veicoli registrati (milioni)	70	370%	328	1220%	723
Consumo di petrolio (milioni di barili/anno)	3,800	440%	20.512	30%	27.635
Consumo di carbone (milioni di t/anno)	1.400	130%	3.300	50%	5.100
Energia elettrica (Milioni di kW)	154	940%	1.606	100%	3.240
Produzione di Mais (milioni di t/anno)	131	160%	342	70%	594
Produzione di grano (milioni di t/anno)	143	150%	356	60%	584
Produzione di riso (milioni di t/anno)	150	140%	357	70%	598

[†] La crescita esponenziale di una grandezza si verifica quando questa grandezza cresce nel tempo ad un tasso proporzionale al valore della grandezza stessa. Una crescita lineare al contrario si verifica quando la grandezza cresce di una quantità costante nel tempo.

Produzione di cotone (milioni di t/anno)	5,4	230%	12	150%	18
Produzione di polpa di legno (milioni di t/anno)	12	830%	102	170%	171
Produzione di Ferro (milioni di t/anno)	134	350%	468	120%	580
Produzione di acciaio (milioni di t/anno)	185	350%	651	120%	788
Produzione di alluminio (milioni di t/anno)	1,5	800%	12	190%	23

Tabella 1. Crescita globale di alcune grandezze e prodotti selezionati, nel periodo 1950- 2000. (Dati tratti dal PRB; American Automobile Association, U.S. DoE; UN; FAO; CRB. Adattata dal riferimento bibliografico [1])

Il limite fisico di cui ci occupiamo invece, è definito dalle capacità di ricostituzione degli ecosistemi sotto l'effetto dello sfruttamento da parte dell'uomo.

Come fu a suo tempo evidenziato nel primo rapporto per il Club di Roma *I Limiti dello Sviluppo* di Meadows et al. le crescite esponenziali sono la forza guida che determina l'instaurarsi di un regime di *overshoot* ecologico. Mettere in luce la caratteristica delle crescite esponenziali fu uno, ma certamente non l'unico, dei meriti dell'opera dei ricercatori del MIT per il Club di Roma,[2] che mostrarono l'attualità dell'eredità malthusiana. Oggi l'evidenza mostra che alcune grandezze macroscopiche, come la popolazione, non crescono più in modo esponenziale. Ma il fatto di aver trascurato gli effetti a lungo termine della crescita esponenziale e aver lasciato che il sistema evolvesse in modo spontaneo, o, nel migliore dei casi, sotto l'unica guida delle leggi economiche, ha determinato quella situazione di superamento dei limiti fisici del pianeta.

2. Misura delle interazioni società umana- natura.

Uno degli assunti di questo contributo è che sia possibile misurare la maggior parte delle risorse che l'umanità consuma e dei rifiuti che essa genera. In poche parole che sia possibile avere un'idea quantitativa e sufficientemente dettagliata del metabolismo socio-economico. Due grandezze che misurano l'impatto umano sulla Natura sono: l'Appropriazione della Produzione Primaria Netta da parte dell'uomo (APPN) e l'Impronta Ecologica (IE), in inglese Ecological Footprint (EF). Si tratta di due modi complementari per misurare l'entità del prelievo di risorse dal resto della natura, da parte delle società umane. Ambedue le grandezze mettono in relazione il metabolismo socio-economico con la bioproduttività della terra e sono disegnate per fornire una più profonda comprensione della sostenibilità delle interazioni società – natura, ma sono anche uno strumento per intraprendere le azioni individuali e collettive finalizzate alla riduzione dell'impatto delle nostre azioni sulla natura.

2.1 Impronta ecologica.

L'IE non è altro che *la misura della superficie di suolo coltivabile che una data popolazione o un individuo richiedono per produrre le risorse che consumano e assorbire i rifiuti che producono.* [3] È dunque un mezzo di valutazione dell'impatto degli individui, delle comunità

locali, delle nazioni e dell'intera umanità sul resto della natura. La condizione necessaria per eseguire tale valutazione è la misurabilità dei consumi e dei rifiuti prodotti. Oggi si sa che l'umanità ha un'IE che eccede di più del 20% le capacità produttive del pianeta. [4-6] In altre parole noi stiamo consumando come se avessimo a disposizione una Terra più un ulteriore venti percento di Terra. Oppure significa che ogni anno, consumiamo risorse ad una velocità per cui la loro rigenerazione richiederebbe un anno e oltre due mesi. Questo significa che stiamo consumando le risorse in modo irreversibile. Ma il dato globale non deve nascondere il fatto che le nazioni industrializzate Europa e Stati Uniti in particolare hanno un IE tale che i loro cittadini consumano le risorse terrestri come se avessero a disposizione due, tre, quattro pianeti come la Terra. In altre parole, secondo la misura dei consumi umani in rapporto alla capacità rigenerativa del pianeta, i paesi industrializzati sarebbero in equilibrio se avessero a disposizione due, tre o quattro Terre.

L'IE può essere rappresentata come numero di pianeti Terra necessari al sostentamento dell'attività socio-economica. L'evoluzione nel tempo di questa grandezza è riportata in Figura 1 e mostra che la popolazione mondiale (*e cioè 4,8 miliardi di persone, di cui solo 600 milioni nei paesi sviluppati*) era in equilibrio con la capacità bioproductiva (o biocapacità) della Terra nella seconda metà degli anni 80' quando la curva della domanda globale interseca la retta che rappresenta la capacità bioproductiva del pianeta.

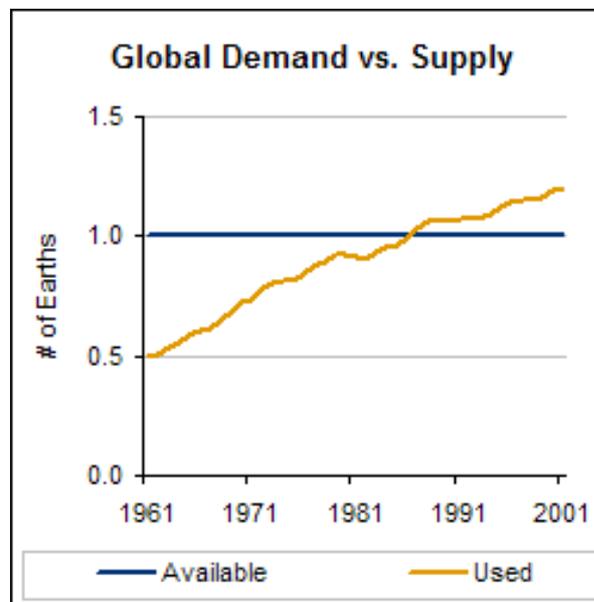


Figura 1. Evoluzione temporale della domanda mondiale di bioproductività annuale espressa in 'numero di Terre'. La bioproductività della Terra è indicata come sempre uguale ad 1 ed è rappresentata dalla linea blu orizzontale. (Figura tratta da <http://www.footprintnetwork.org/>. © 2003-2004 Global Footprint Network)

L'IE valuta l'area bioproductiva totale necessaria per sostenere una definita attività sociale, ovunque essa si svolga sulla Terra. Così facendo essa tiene in conto le tre funzioni degli ecosistemi usati dagli umani: i) la fornitura di risorse ii) l'assorbimento dei rifiuti iii) e lo spazio utilizzato per le infrastrutture della società.

Le componenti dell'impatto umano includono sei attività principali che richiedono spazio bioproductivo. Esse sono: 1) la produzione agricola di cibo per l'uomo e per gli animali da allevamento, di fibre, oli e gomme 2) l'allevamento di erbivori per la produzione di carne, latte, pelle e lana 3) la raccolta di legname come materiale strutturale, carta, fibre e come combustibile 4) la pesca in mare e nelle acque interne 5) l'occupazione di spazio per le infrastrutture umane: strutture residenziali, trasporti, industria e produzione energetica 6) l'uso dei combustibili fossili.

In pratica l'IE è una grandezza che misura l'area bioproduttiva necessaria alle attività di comunità e di singoli individui. Si può quindi calcolare l'IE di ciascuno di noi, delle nazioni e dell'intera umanità. Questa grandezza è in genere espressa in unità di area, cioè in ettari. Ciascuna attività viene espressa in unità di area attraverso fattori di equivalenza.[4] Una volta espresso in ettari equivalenti l'impatto viene aggregato in una unica figura di merito che rappresenta l'area bioproduttiva necessaria a sostenere le attività descritte. L'impronta ecologica delle varie aree del pianeta è riportata in Figura 2 in unità di ettari equivalenti *pro capite*.

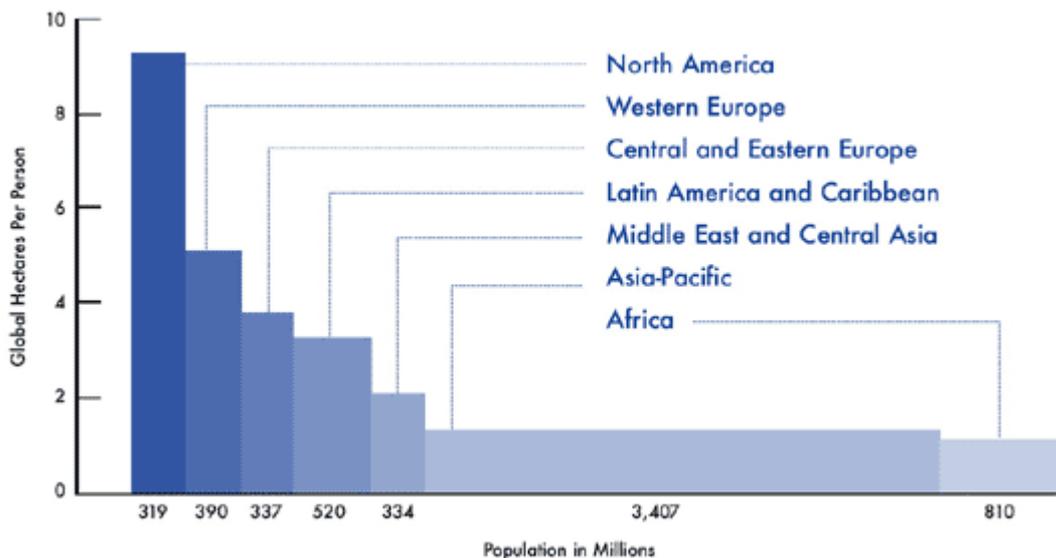


Figura 2. Valore dell'IE espresso in ettari globali pro capite per le diverse aree geografiche del pianeta riportato in funzione della popolazione delle aree stesse. (© 2003-2004 Global Footprint Network)

Attualmente vi sono 11,4 miliardi di ettari biologicamente produttivi disponibili sul pianeta distribuiti fra terre emerse e mari. Dividendo questo numero per il numero di persone viventi oggi – 6,3 miliardi nel 2003 – si ha una media di area bioproduttiva disponibile pro-capite di 1,8 ettari globali per persona. In base ai dati disponibili il deficit globale ammontava, nel 2001, a 0,4 ettari/procapite. Questo valore è la differenza fra l'IE totale (2,2 ha) e la biocapacità (1,8 ha), esso non tiene conto delle necessità delle altre specie perchè non esiste, al momento, una precisa misura quantitativa di questa grandezza. È evidente che parte della bioproduttività debba essere lasciata alle altre specie. E.O. Wilson [7] suggerisce di lasciare alle altre specie circa la metà degli 1,8 ettari bioproduttivi procapite. Il problema sarebbe dunque, come vivere con una media di 0,9 ettari globali per persona. L'IE delle nazioni divise per aree geografiche è riportato nella Tabella seguente.

Dati 2001

	Popolazione	IE Totale	Biocapacità	Deficit ecologico
	(milioni)	(ha globali/ pro capite)	(ha globali/ pro capite)	(ha globali/ pro capite)
Mondo	6.148,1	2,2	1,8	0,4
Paesi con reddito elevato	920,1	6,4	3,3	3,1

Paesi con reddito medio	2.970,8	1,9	2,0	-0,1
Paesi con reddito basso	2.226,3	0,8	0,7	0,1
<hr/>				
Africa	810,2	1,2	1,3	-0,13
Algeria	30,7	1,5	0,7	0,8
Angola	12,8	0,8	3,5	-2,7
Benin	6,4	1,0	0,7	0,3
Botswana	1,8	1,3	4,3	-3,1
Burkina Faso	12,3	1,1	1,0	0,1
Burundi	6,4	0,7	0,6	0,1
Cameroon	15,4	0,9	1,4	-0,5
Central African Rep.	3,8	1,1	3,7	-2,7
Chad	8,1	1,3	2,8	-1,4
Congo	3,5	0,9	8,1	-7,3
Congo, Dem. Rep.	49,8	0,7	1,6	-0,9
Côte d'Ivoire	16,1	0,9	2,1	-1,2
Egypt	69,1	1,5	0,5	1,0
Eritrea	3,8	0,7	0,7	-0,1
Ethiopia	67,3	0,7	0,5	0,2
Gabon	1,3	1,7	20,1	-18,4
Gambia, The	1,4	1,1	1,0	0,1
Ghana	20,0	1,1	1,3	-0,2
Guinea	8,2	1,0	2,8	-1,8
Guinea-Bissau	1,4	0,7	3,0	-2,3
Kenya	31,1	0,9	0,7	0,2
Lesotho	1,8	0,6	1,1	-0,4
Liberia	3,1	0,7	3,4	-2,7
Libya	5,3	3,1	1,0	2,0
Madagascar	16,4	0,8	3,1	-2,3
Malawi	11,6	0,7	0,5	0,1
Mali	12,3	1,1	1,5	-0,4
Mauritania	2,7	1,1	6,0	-4,8
Mauritius	1,2	2,4	1,2	1,2
Morocco	29,6	0,9	0,7	0,2
Mozambique	18,2	0,7	2,1	-1,5
Namibia	1,9	1,6	4,5	-2,9
Niger	11,1	1,1	1,2	-0,1
Nigeria	117,8	1,2	1,0	0,2
Rwanda	8,1	0,7	0,5	0,2
Senegal	9,6	1,2	0,9	0,3
Sierra Leone	4,6	0,9	1,2	-0,3
Somalia	9,1	0,4	1,1	-0,7
South Africa, Rep.	44,4	2,8	2,0	0,8
Sudan	32,2	1,0	1,8	-0,8
Swaziland	1,1	1,1	1,1	0,0
Tanzania, United Rep.	35,6	0,9	1,3	-0,3
Togo	4,7	0,9	0,8	0,1
Tunisia	9,6	1,4	0,7	0,6
Uganda	24,2	1,5	1,1	0,4
Zambia	10,6	0,8	3,6	-2,8
Zimbabwe	12,8	1,0	0,9	0,2

Asia-Pacific	3.406,8	1,3	0,7	0,6
Australia	19,4	7,7	19,2	-11,5
Bangladesh	140,9	0,6	0,3	0,3
Cambodia	13,5	1,1	1,0	0,1
China	1.292,6	1,5	0,8	0,8
India	1.033,4	0,8	0,4	0,4
Indonesia	214,4	1,2	1,0	0,2
Japan	127,3	4,3	0,8	3,6
Korea, DPR	22,4	1,5	0,7	0,8
Korea, Rep.	47,1	3,4	0,6	2,8
Lao PDR	5,4	1,0	1,4	-0,4
Malaysia	23,5	3,0	1,9	1,1
Mongolia	2,5	1,9	11,8	-9,9
Myanmar	48,2	0,9	1,3	-0,4
Nepal	24,1	0,6	0,5	0,2
New Zealand	3,8	5,5	14,5	-9,0
Pakistan	146,3	0,7	0,4	0,3
Papua New Guinea	5,5	1,3	2,6	-1,3
Philippines	77,2	1,2	0,6	0,6
Sri Lanka	18,8	1,1	0,4	0,7
Thailand	61,6	1,6	1,0	0,6
Viet Nam	79,2	0,8	0,8	0,0
Central and Eastern Europe	336,5	3,8	4,2	-0,4
Albania	3,1	1,5	0,9	0,6
Belarus	10,0	3,2	3,1	0,0
Bosnia and Herzegovina	4,1	2,3	1,8	0,5
Bulgaria	8,0	2,7	2,4	0,3
Croatia	4,4	2,9	2,8	0,1
Czech Rep.	10,3	5,0	2,8	2,2
Estonia	1,4	6,9	5,7	1,2
Hungary	10,0	3,5	2,4	1,1
Latvia	2,4	4,4	6,5	-2,1
Lithuania	3,5	3,9	3,9	0,0
Macedonia, FYR	2,0	2,3	0,9	1,4
Moldova, Rep.	4,3	1,2	1,0	0,2
Poland	38,7	3,6	2,0	1,6
Romania	22,4	2,7	2,4	0,3
Russian Federation	144,9	4,4	6,9	-2,6
Serbia and Montenegro	10,5	3,0	1,7	1,3
Slovakia	5,4	3,6	2,9	0,6
Slovenia	2,0	3,8	2,9	0,9
Ukraine	49,3	3,3	2,0	1,4
Latin America and the Caribbean	520,3	3,1	5,5	-2,4
Argentina	37,5	2,6	6,7	-4,2
Belize	0,2	2,6	6,9	-4,3
Bolivia	8,5	1,2	15,6	-14,4

Brazil	174,0	2,2	10,2	-8,0
Chile	15,4	2,6	5,5	-2,8
Colombia	42,8	1,3	3,7	-2,4
Costa Rica	4,0	2,1	1,6	0,6
Cuba	11,2	1,4	0,8	0,7
Dominican Rep.	8,5	1,6	0,8	0,7
Ecuador	12,6	1,8	2,1	-0,3
El Salvador	6,3	1,2	0,6	0,6
Guatemala	11,7	1,2	1,3	-0,1
Haiti	8,1	0,5	0,3	0,3
Honduras	6,6	1,4	1,9	-0,5
Jamaica	2,6	2,6	0,5	2,1
Mexico	100,5	2,5	1,7	0,8
Nicaragua	5,2	1,1	3,7	-2,6
Panama	3,0	1,8	2,7	-1,0
Paraguay	5,6	2,2	5,7	-3,5
Peru	26,4	0,9	4,3	-3,3
Trinidad and Tobago	1,3	2,3	0,4	1,9
Uruguay	3,4	2,6	7,5	-4,9
Venezuela	24,8	2,4	2,5	-0,1
Middle East and Central Asia	334,3	2,1	1,0	1,1
Afghanistan	22,1	0,3	1,1	-0,8
Armenia	3,1	1,0	0,6	0,4
Azerbaijan	8,2	1,5	1,2	0,3
Georgia	5,2	0,8	1,2	-0,4
Iran	67,2	2,1	0,7	1,4
Iraq	23,9	1,1	0,6	0,5
Israel	6,2	5,3	0,4	4,9
Jordan	5,2	1,9	0,2	1,6
Kazakhstan	15,5	2,8	4,1	-1,2
Kuwait	2,4	9,5	0,3	9,2
Kyrgyzstan	5,0	1,1	1,4	-0,3
Lebanon	3,5	2,3	0,3	2,0
Saudi Arabia	22,8	4,4	0,9	3,4
Syria	17,0	1,9	0,9	1,0
Tajikistan	6,1	0,6	0,4	0,1
Turkey	69,3	2,0	1,4	0,6
Turkmenistan	4,7	3,1	3,5	-0,4
United Arab Emirates	2,9	9,9	1,0	8,9
Uzbekistan	25,3	1,9	0,7	1,1
Yemen	18,7	0,7	0,4	0,3
North America	319,1	9,2	5,4	3,9
Canada	31,0	6,4	14,4	-8,0
United States of America	288,0	9,5	4,9	4,7
Western Europe	390,1	5,1	2,1	3,0
Austria	8,1	4,6	3,5	1,1

Belgium/Luxembourg	10,7	4,9	1,2	3,7
Denmark	5,3	6,4	3,5	2,9
Finland	5,2	7,0	12,4	-5,4
France	59,6	5,8	3,1	2,8
Germany	82,3	4,8	1,9	2,9
Greece	10,9	5,4	1,6	3,9
Ireland	3,9	6,2	4,7	1,5
Italy	57,5	3,8	1,1	2,7
Netherlands	16,0	4,7	0,8	4,0
Norway	4,5	6,2	6,9	-0,8
Portugal	10,0	5,2	1,6	3,6
Spain	40,9	4,8	1,6	3,2
Sweden	8,9	7,0	9,8	-2,7
Switzerland	7,2	5,3	1,6	3,7
United Kingdom	59,1	5,4	1,5	3,9

Tabella 2. Impronta ecologica e biocapacità globali e delle nazioni (dati 2001, tratto, con modifiche, da: <http://www.footprintnetwork.org/>. © 2003-2004 Global Footprint Network).

Come si vede per i paesi industrializzati il deficit ecologico ha valori molto maggiori della media globale. Ho stimato la mia impronta ecologica ed ho calcolato un valore minimo di 2,5 ed un massimo di 4.5 ettari globali a seconda delle risposte che fornisco (cercando di essere il più accurato possibile riguardo i miei consumi). Il mio personale debito ecologico ricavato prendendo la bioproduttività procapite dell'Italia (1,1 ha) è dunque nell'intervallo fra 1,4 e 3,4 ettari globali. E' mia intenzione abbassarlo. Si noti che la media nazionale italiana dell'IE (3.8 ha) è leggermente inferiore alla media europea. Questo non è tanto il risultato di un generale atteggiamento ecologicamente virtuoso degli italiani, quanto al fatto che gli italiani hanno una dieta meno ricca di carne, si spostano in genere meno per raggiungere il posto di lavoro e abitano in abitazioni mediamente meno estese degli altri europei.

2.2 L'Appropriazione umana della Produzione Primaria.

La Produzione Primaria (PP) è la quantità di materia organica che gli organismi fotosintetici producono. Gli organismi fotosintetici sono le piante verdi, le alghe e alcune specie di batteri. La materia organica prodotta attraverso la fotosintesi è la base della vita sul nostro pianeta per questo motivo gli organismi fotosintetici vengono anche indicati come produttori primari. La fotosintesi è una reazione chimica che trasforma l'energia luminosa (in natura la luce del sole) in energia chimica immagazzinata in certe molecole organiche (gli zuccheri). Dal punto di vista chimico essa produce una molecola di zucchero e sei molecole di ossigeno a partire da sei molecole di anidride carbonica (CO₂) e sei molecole di acqua. Per questo motivo si dice anche che nella fotosintesi il Carbonio (C) presente nella CO₂ atmosferica viene 'fissato' nei tessuti vegetali. Coerentemente con lo schema sommariamente delineato, la produzione primaria viene misurata in grammi di Carbonio (g C) 'fissati' nell'unità di superficie (per esempio: metro quadro, indicato come mq o m²) e per unità di tempo (per esempio: anno).

I produttori primari utilizzano una parte degli zuccheri prodotti nella fotosintesi per sostenere il proprio metabolismo; facendo ciò essi 'bruciano' una parte dei prodotti fotosintetici emettendo CO₂ in un processo analogo a quello della respirazione animale. La quantità di PP, cioè la quantità di Carbonio fissato nella fotosintesi, ripulita dalla quantità di Carbonio riemessa nella respirazione, costituisce la PPN. L'appropriazione di questa quantità da parte dell'uomo (APPN) costituisce una misura della pressione dell'uomo sul resto della natura.

In un lavoro pubblicato su Nature nel giugno scorso,[8] la PPN viene misurata per via satellitare e confrontata con i consumi locali di cibi, fibre, e materiali di origine vegetale. I risultati di questa ricerca sono abbastanza chiari e forniscono una misura del livello di sovrappopolazione del pianeta e dell'intensità di sfruttamento delle risorse naturali da parte dell'uomo. Il prodotto principale della ricerca sono le due mappe dell'APPN riportate in Figura 3. Ambedue le mappe riportano l'APPN. Esse differiscono per l'unità di misura usata: quella in alto riporta l'APPN in grammi di Carbonio fissati per anno e quella in basso in percentuale della PPN totale rilevata dal satellite nell'unità di area. La mappa in basso riporta la percentuale di APPN rispetto alla PPN disponibile per unità di area. Si noti che la PPN è un dato sperimentale ottenuto mediante osservazioni dal satellite, mentre l'APPN è una stima fatta considerando i consumi nelle varie aree geografiche. Il risultato globale è, a mio parere, abbastanza impressionante. L'uomo, che rappresenta circa l'1% della biomassa animale totale, si appropria di una quantità compresa fra il 20 e il 26% della PPN. Ma questo è un valore medio. In alcune aree del pianeta infatti, il livello di appropriazione supera il 100% e raggiunge valori parossistici fino al 40.000 %. Queste aree: la costa orientale degli Stati Uniti, gran parte dell'Europa, il Medio Oriente, il subcontinente indiano e parti consistenti del sud est asiatico e di Cina e Giappone, dipendono interamente dal continuo apporto esterno di materiali e cibo di origine vegetale.

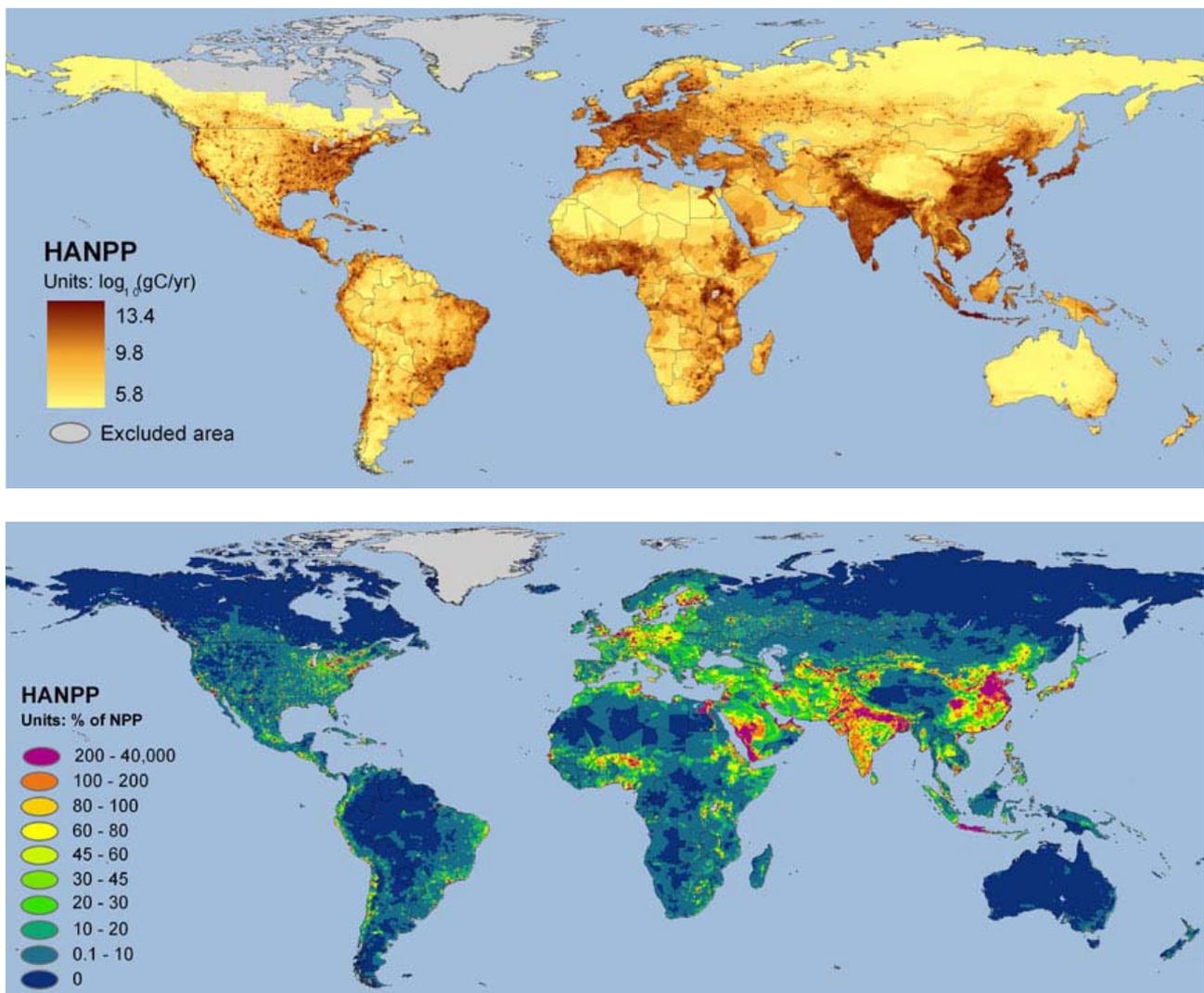


Figura 3. Appropriazione umana della produzione primaria netta. In alto grammi di carbonio per anno. In basso in percentuale della PPN. HANPP è la sigla inglese per Human Appropriation of Net Primary Production.

(Figura tratta dal sito della NASA: <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0624hanpp.html> . Allo stesso URL è possibile leggere alcuni dettagli sul metodo di misura e stima dell'APPN)

Lo stato di cose fotografato attraverso la determinazione dell'IE e dell'APPN a livello globale e locale è una prova quantitativamente rilevante del regime di *overshoot* ecologico in cui si trovano globalmente le società umane.

3. Il Picco di Produzione del Petrolio.

La fotografia del mondo che abbiamo fatto fin'ora, ed in particolare quella che esce dalla mappa dell'APPN, appare anche come una semplice misura quantitativa del livello di globalizzazione dell'economia. In effetti, le zone rosse, arancione, e gialle, corrispondono anche alle aree di maggiore industrializzazione. Sono aree di trasformazione che dipendono dalle materie prime, non solo di origine vegetale, prodotte altrove. Ma una riflessione sul modo in cui questo continuo afflusso di risorse è sostenuto, rende la fotografia poco rassicurante. L'afflusso di cibi, fibre, e altre materie prime è, infatti, interamente sostenuto da un sistema di trasporti che dipende per l'80% dal consumo di fonti di energia fossile, e prevalentemente dai derivati del petrolio. La dipendenza dai combustibili fossili è divenuta una regola delle società industriali dalla rivoluzione industriale in poi. Questa dipendenza si è accentuata nel secolo scorso, e si è specializzata ulteriormente nella dipendenza da un'unica risorsa: il petrolio. E' sufficiente guardarsi intorno per rendersi conto del grado di dipendenza dal petrolio delle nostre società e non solo per quanto riguarda i trasporti. La nostra dipendenza dal petrolio tocca attività di primaria importanza ma soprattutto l'agricoltura industriale moderna che, da questo punto di vista, è un modo più o meno efficiente di trasformare petrolio in cibo.[9;10] E' ovvio infatti che tutti i macchinari utilizzati in agricoltura sono basati sull'uso del motore a scoppio. Inoltre l'agricoltura non dipende dal petrolio solo per l'aspetto energetico, ma anche per la sintesi dei pesticidi, dei fertilizzanti e per i materiali plastici utilizzati in varie attività agricole come: irrigazione, confezionamento e conservazione dei prodotti. L'uso del petrolio è l'irrinunciabile base energetica della rivoluzione verde.

Sfortunatamente il petrolio si è formato centinaia di milioni di anni fa, in un processo durato molti milioni di anni e non è perciò una risorsa rinnovabile.§ Nessuna altra fonte fossile lo è. Sfortunatamente previsioni fatte dai più diversi organismi internazionali che vanno da agenzie come l'EIA (Energy Information Administration) [11] ai centri studi delle compagnie petrolifere, prevedono un picco di produzione del petrolio entro questo secolo, osservatori indipendenti e certamente più disinteressati lo prevedono molto prima.[12;13] Ancora più sfortunatamente le risorse energetiche che potrebbero sostituire il petrolio sono meno convenienti del petrolio da molti punti di vista e non sono state sviluppate ancora sufficientemente.

3.1 Il Modello di Hubbert.

Il picco di produzione rappresenta il massimo della quantità di risorsa che può essere estratta, indipendentemente dalla domanda. E dunque non corrisponde all'esaurimento di una risorsa mineraria. Lo studio di questo aspetto della produzione mineraria si deve al geologo M. King Hubbert che nel 1954 prevede con successo il picco di produzione del petrolio degli Stati Uniti del 1970. Il modello di Hubbert è piuttosto semplice. [14;15] Una risorsa mineraria viene in genere sfruttata in un processo che è indipendente dal tipo di risorsa.

§Vi è una teoria sull'origine abiotica del petrolio secondo la quale il petrolio si formerebbe continuamente in una zona a cavallo fra il Mantello e la Crosta terrestre per trasformazione delle rocce carbonatiche. A prescindere dalla validità di questa teoria, il tasso di produzione abiotica sarebbe comunque insufficiente a modificare l'analisi sul Picco del Petrolio presentata in questo contributo.

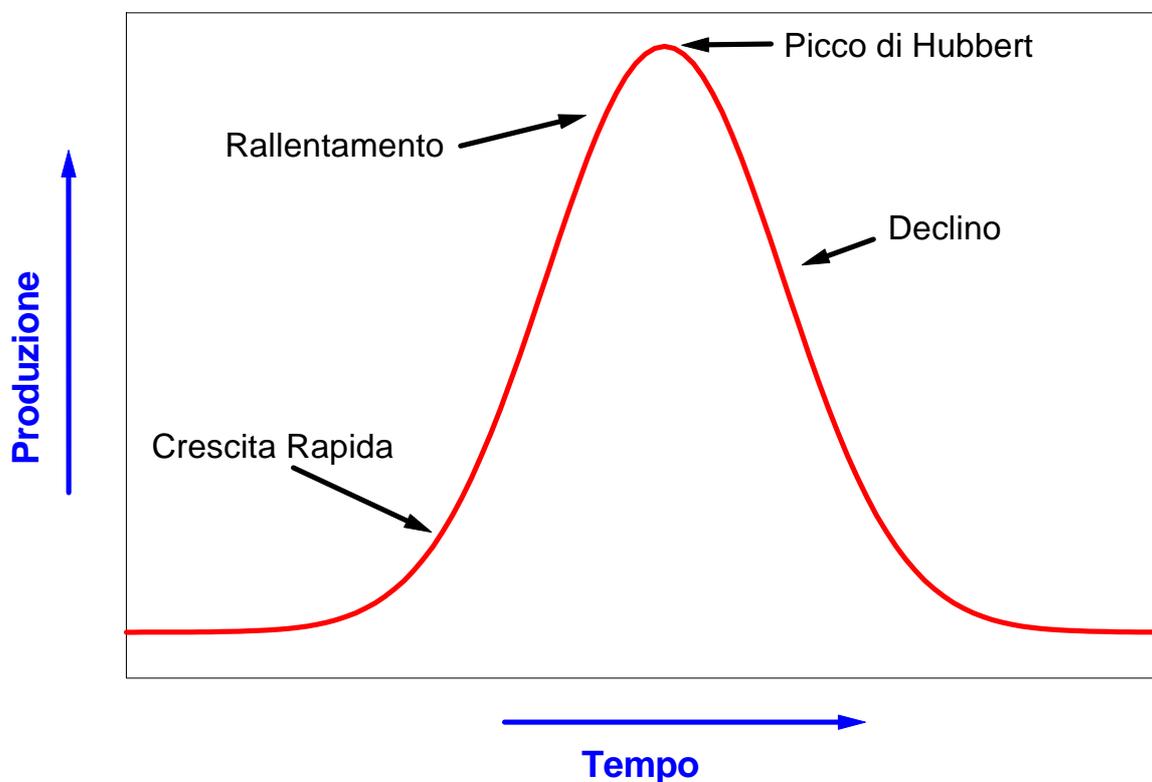


Figura 4. Curva a campana che descrive il modello di Hubbert.

Prima vengono sfruttati i giacimenti più accessibili per i quali sono sufficienti investimenti relativamente modesti, in questa fase la produzione aumenta in modo esponenziale poi, man mano che la difficoltà di estrazione aumenta, la produzione rallenta fino a raggiungere un picco (il Picco di Hubbert o picco di produzione). A questo massimo, che si colloca approssimativamente in corrispondenza del momento in cui la metà delle riserve esistenti è stata estratta, segue un declino inesorabile della produzione secondo una curva a campana del tipo di quella riportata in Figura 4. Il modello di Hubbert si adatta alla storia estrattiva di varie risorse minerarie ed è stato verificato, con piccole modifiche, in molti casi di giacimenti minerari. Nel caso della produzione petrolifera nella seconda metà del secolo scorso si sono osservati un certo numero di picchi locali, il primo nel 1970 proprio quello degli Stati Uniti (vedi Figura 5)

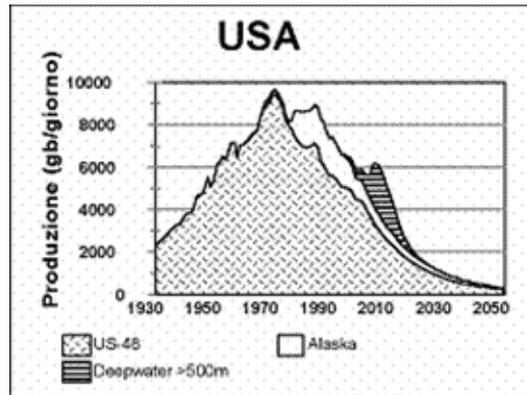


Figura 5. Storia estrattiva del petrolio negli Stati Uniti (Figura tratta dalla ref [14]).

La novità della situazione attuale consiste nel fatto che il picco, previsto nella prima metà di questo secolo, è un **picco di produzione globale**. Se in seguito al superamento del picco di Hubbert nel 1970 le compagnie petrolifere statunitensi trovarono conveniente delocalizzare la produzione in altri paesi, e in particolare in Medio Oriente, oggi, a meno di improbabili imprese fantascientifiche, dopo che sarà stato superato il picco globale, non ci saranno altri posti dove andare ad estrarre petrolio. L'era del petrolio a buon mercato volgerà inesorabilmente alla fine. E' necessario ripetere fino alla noia, per evitare equivoci, che il raggiungimento del picco di Hubbert **non corrisponde all'esaurimento delle riserve di petrolio, significa la fine del petrolio 'facile', la fine del petrolio a buon mercato.**

3.2 La realtà del Picco di Hubbert

Una delle prove più convincenti dell'avvicinarsi del picco di Hubbert per il petrolio è, secondo la mia opinione, fornita dalla curva storica delle scoperte di nuovi giacimenti. Questo grafico riportato in Figura 6 mostra il crescente divario fra i consumi di petrolio e le nuove scoperte.

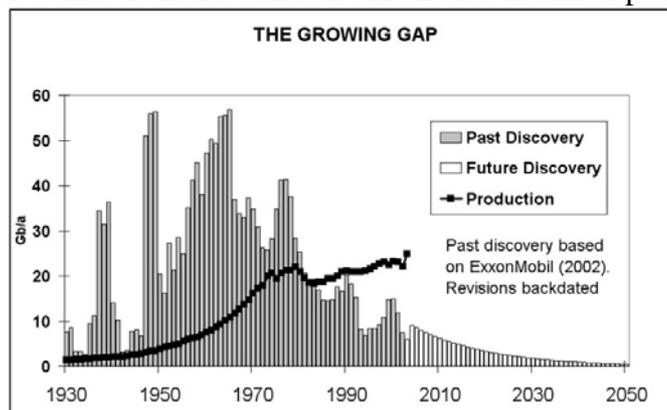


Figura 6. Scoperte di nuovi giacimenti dal 1930 al 2000 (Tratto dalla newsletter dell'ASPO: www.peakoil.net).

Secondo le stime dell'Association for the Study of the Peak- Oil & Gas (ASPO)** il picco di Hubbert del petrolio convenzionale dovrebbe essere raggiunto molto presto, nel 2007. Queste stime potranno essere riviste in seguito all'eventuale conferma di nuove clamorose scoperte annunciate in Russia (200 miliardi di barili [16]) o altrove, ma non ci si attende che il picco possa spostarsi di molti anni grazie a queste scoperte ancora da confermare. Tuttavia in questa circostanza qualche anno, potrebbe essere un tempo prezioso per l'umanità, purché si decida di farne un uso ragionevole.

Non abbiamo spazio in questa sede per un'indagine dettagliata di tutti gli indicatori che mostrano l'approssimarsi del picco di Hubbert petrolifero. L'ASPO pubblica periodicamente una newsletter con analisi e stime aggiornate che riguardano sia le riserve accertate sia le proiezioni. A questa e ad altre pubblicazioni riportate nella bibliografia si rimanda per eventuali approfondimenti. Una semplice ricerca in internet con le parole chiave 'picco di Hubbert' o 'peak oil' farà comunque trovare una sufficiente mole di dati immediatamente disponibili.

4. Le alternative al petrolio e i limiti della crescita.

Abbiamo già parlato della dipendenza della nostra società globale dal petrolio. Sarà importante discuterne di nuovo prima di esaminare la realtà delle possibili alternative al petrolio. La produzione di cibo dipende largamente dal petrolio in ogni singolo anello della catena produttiva.[10] Ma c'è altro: la potabilizzazione e la distribuzione dell'acqua dipende dal petrolio, la medicina moderna con i farmaci e i vari materiali medici dipende dal petrolio, la produzione di materiali polimerici (plastiche) e l'estrazione di risorse minerarie strategiche come rame e ferro dipendono sempre dal petrolio. Tutta questa dipendenza non può essere eliminata e neppure alleviata magicamente da un anno ad un altro. Purtroppo non crediamo che i segnali forniti dal sistema dei prezzi siano sufficientemente rapidi per segnalare la scarsità assoluta di cui stiamo parlando. Quando il picco di Hubbert sarà raggiunto dovremmo essere già sulla strada della sostituzione di questa risorsa se non si vuole andare incontro al collasso che già molti prevedono.

Le ragioni dello straordinario successo del petrolio come fonte energetica sono molteplici, si tratta infatti di una risorsa che fornisce una gamma di prodotti energetici adatti a diversi usi: kerosene, nafta, benzine ecc, è facilmente trasportabile ed ha un'elevata densità energetica. Un confronto con il carbone, ad esempio, mostra che a parità di quantità di energia fornita il carbone pesa dal 50 al 200% in più del petrolio.

Nell'esaminare le alternative al petrolio una società si deve porre una serie di domande che riguardano proprio l'estrema convenienza del petrolio come sorgente energetica, e la dipendenza delle nuove fonti, almeno in una fase iniziale, dal petrolio stesso. Se si pensasse di scegliere un'alternativa basata sulle rinnovabili con cui mandare avanti l'intera società - ad esempio: solare ed eolico per produrre elettricità - andremmo incontro a grandi problemi e, probabilmente grandi delusioni. Quanto tempo e quanta energia tratta dai combustibili fossili ci vogliono, per esempio, per sostituire gradualmente un intero parco di molti milioni di veicoli basati sul motore a scoppio

** ASPO è una associazione libera e non formale rappresentata a livello internazionale dal geologo Colin J. Campbell. Campbell, oggi in pensione, ha lavorato come geologo prospettore alla Texaco e come geologo capo alla Amoco in Ecuador. Ritiratosi in pensione si è dedicato allo studio del picco di Hubbert petrolifero scrivendo libri e articoli (si veda la bibliografia) in cui ha fornito una critica particolarmente efficace delle modalità di stima delle riserve accertate da parte sia delle Compagnie petrolifere che dei paesi produttori. In Italia l'ASPO si è costituita intorno al prof. Ugo Bardi dell'Università di Firenze, come associazione telematica ed è attiva dal settembre del 2003 come gruppo di discussione yahoo all'URL: <http://groups.yahoo.com/group/petrolio/> . Si veda anche www.peakoil.net e www.aspoitalia.net.

con uno basato su motori elettrici? E per concepire e mettere in atto una transizione al nucleare o ad un'altra tecnica di produzione energetica?

Pensando alla bassa intensità energetica delle fonti rinnovabili, rispetto al petrolio, ci si rende conto subito che esse sono inadeguate a sostenere una società in continua crescita. I fautori della crescita, infatti, hanno pochissima simpatia per le fonti rinnovabili, essi preferiscono scelte quali il carbone, il nucleare e l'idrogeno. L'idrogeno è, in effetti, un vettore e non una fonte energetica primaria, quindi non vale la pena neanche di parlarne se non per dire che, per ora, resta un sogno per un futuro non si sa quanto realizzabile e lontano. Carbone e nucleare hanno il problema di essere comunque risorse non rinnovabili, soggette quindi allo stesso problema del petrolio, e continuano ad avere, in modo diverso, pesanti implicazioni in termini di impatto ambientale e sociale. E' probabile che se ne farà largo uso negli anni a venire e le indicazioni confermano che i paesi in via di sviluppo stanno attrezzandosi per sfruttare al massimo queste fonti. Le conseguenze in termini di IE globale non sono al momento prevedibili, ma ci si attende che saranno disastrose se l'uso di queste fonti non sarà fatto in parallelo ad un generalizzato calo dei consumi indotto da una decrescita demografica e da una generalizzata diminuzione degli sprechi attraverso l'uso di tecnologie più efficienti.

5. Conclusioni. Collasso o sostenibilità

L'umanità si confronta oggi con alcuni dilemmi di grande portata. La crescita esponenziale della popolazione negli ultimi due secoli e mezzo ha reso gigantesca l'impronta dell'uomo sul pianeta, se confrontata con quella delle altre specie viventi. Un aspetto fondamentale e mai sufficientemente valorizzato della consapevolezza ecologica è che essa **non si basa su principi morali**, ma su considerazioni razionali e solidi principi scientifici. L'uomo non è indipendente dal resto della natura, ma ne è parte integrante, e le conseguenze di un collasso ecologico sarebbero disastrose per la stessa società umana. Purtroppo le classi dominanti sembrano incapaci di cogliere la maggior parte delle urgenze che si stanno accumulando e non sembrano propriamente attrezzate per farlo. Nel mondo prevalgono ideologie antropocentriche, laiche o religiose che siano, che si sforzano di conteggiare i danni inflitti all'ambiente in una contabilità tutta umana fatta di un solo parametro, la ricchezza, misurata da un'unica unità di misura: il denaro. Così la religione dell'economia di mercato pensa di governare un sistema complesso come l'ecosistema globale. L'inadeguatezza di una simile tecnica di governo è tanto evidente da lasciare sconcertati. I fautori della crescita dicono spesso che la Storia ha dimostrato che le paure dei catastrofisti sono sempre state smentite. Io mi chiedo quanti catastrofisti sono stati smentiti nei crolli storicamente accertati delle grandi civiltà del passato. Se c'è qualcosa che la Storia ha dimostrato questo è che le civiltà prosperano, crollano o sopravvivono per un numero limitato di fattori dei quali i primi sono i fattori ambientali. Grandi civiltà del passato sono crollate proprio per i danni inflitti all'ambiente in cui si erano sviluppate. [17]

Una valutazione delle azioni dell'uomo da un punto di vista meno miope dell'umanesimo antropocentrico, mostra che dal punto di vista comportamentale *Homo Sapiens* ha una strategia ecologica non rigida. Questo è un motivo di speranza perché, se in determinate circostanze si comporta esattamente come un flagello al pari delle cavallette, in altre mostra una capacità di stabilizzazione all'interno di un dato ecosistema. La strategia delle cavallette è basata sul consumo totale delle risorse disponibili in una data area e la successiva migrazione in un'altra area.[18] Forse non è un caso che i estremi fautori della crescita siano anche molto affezionati all'idea della colonizzazione interplanetaria. Nella sua storia biologica, però, l'uomo ha anche mostrato di sapersi adattare e raggiungere uno stato di presenza sostenibile sul territorio da lui occupato.[18] La scelta di un modello o di un altro sembra essere determinata essenzialmente dalla struttura sociale ed in particolare dalla capacità delle élites di isolarsi dai problemi ecologici.[17] Quindi la reazione alle

emergenze incombenti richiederà uno sforzo che non può più essere solo locale o regionale, ma globale. Tuttavia la possibilità che si adottino politiche di rientro dolce dipenderà in parte anche dal grado di consapevolezza dei cittadini delle società più avanzate.

E' singolare scoprire che dopo 30 anni dalla pubblicazione del famoso rapporto del MIT per il Club di Roma, il dibattito sia rimasto allo stesso punto di allora. Chi non riesce a vedere altro che una crescita a tempo indefinito, forse limitata in qualche secolo lontano, nega le ragioni di chi mostra i limiti fisici del pianeta. Altre critiche avrebbero potuto essere fatte agli estensori di quel rapporto proprio dove essi si dedicavano alla proposta politica.^{††} Per gli autori de *I limiti dello sviluppo*, infatti, il rientro ad un regime 'sostenibile' dovrebbe avvenire [1;2] con una serie di improbabili azioni intergovernative, di organismi sovranazionali di vario genere, che presuppongono una sorta di Governo Mondiale o di Superstato che, anche proposto con le migliori intenzioni, fa correre brividi lungo la schiena di un libertario ancora affezionato all'idea hamiltoniana di federalismo. Quelle critiche, se ci furono, furono minime, e quello che resta è la critica del merito delle questioni sollevate. Questioni che, al contrario, appaiono oggi, ancor più di trent'anni fa, ineccepibili. Trenta anni perduti a negare dei fatti, per paura di dover accettare le ricette 'dirigistiche' che alcuni hanno pensato come modo di affrontarne le conseguenze. Invece di cercare una soluzione diversa ci siamo attardati a tranquillizzare noi stessi sulla infondatezza degli allarmi. Il 'classico' di questa letteratura negazionista e 'ansiolitica', una sorta di Prozac ideologico, è la famosa opera di Bjørn Lomborg: *L'ambientalista scettico*.^[19] Questo testo costituisce una imponente raccolta di dati, oggi un po' datata, ma comunque utile, che si caratterizza per un aspetto metodologico fondamentale: il riportare solo i dati che avvalorano la tesi, francamente risibile se non fosse tragicamente falsa e truffaldina, che "viviamo in un mondo meraviglioso".

Bibliografia.

1. Donella Meadows, Jorgen Randers, Dennis Meadows. *Limits to Growth, the 30- Year Update* Chelsea Green Publishing, (2004).
2. Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Randers, William W. Behrens III. *I Limiti dello Sviluppo. Rapporto del System Dynamic Group M.I.T. per il progetto del Club di Roma sui dilemmi dell'umanità*. Biblioteca della EST. Arnoldo Mondadori editore, Milano (1972). Il testo è oggi praticamente introvabile in libreria.
3. Global Footprint Network. <http://www.footprintnetwork.org/>.
4. M. Wackernagel, N. B. Schulz, D. Deumling, A. C. Linares, M. Jenkins, V. Kapos, C. Monfreda, J. Loh, N. Myers, R. Norgaard and J. Randers, *Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **99**, pp. 9266-9271 (2002). Scaricabile all'URL: <http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/99/14/9266?view=abstract>.
5. H. Haberl, M. Wackernagel, F. Krausmann, K. H. Erb and C. Monfreda, *Ecological Footprints and Human Appropriation of Net Primary Production: a Comparison, Land Use Policy* **21**, pp. 279-288 (2004).
6. H. Haberl, M. Wackernagel and T. Wrbka, *Land Use and Sustainability Indicators. An Introduction, Land Use Policy* **21**, pp. 193-198 (2004).

^{††} E' ovvio che anche gli aspetti tecnici de *i Limiti dello Sviluppo*, ed in particolare i modelli di simulazione usati dagli autori, sono soggetti a critiche e revisioni circostanziate. Così va la scienza dopo Galileo.

7. Wilson, Edward O. . *The Future of Life*, Alfred A. Knopf (2002). Un capitolo intitolato: *Bottleneck* è dedicato all'impatto ecologico umano e può essere letto all'URL dello Scientific American: <http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=000E5878-3E45-1CC6-B4A8809EC588EEEDF>.
8. M. L. Imhoff, L. Bounoua, T. Ricketts, C. Loucks, R. Harriss and W. T. Lawrence, *Global Patterns in Human Consumption of Net Primary Production*, *Nature* **429**, pp. 870-873 (2004).
9. Pfeiffer, Dale A. *Eating Fossil Fuels*. Oct 3, 2003. Articolo archiviato all'URL: http://www.fromthewilderness.com/free/ww3/100303_eating_oil.html. Una traduzione italiana di questo lavoro, curata da Aldo Carpanelli, può essere trovata all'URL: <http://www.oilcrash.com/italia/eating.htm>.
10. Pimentel, D. and Giampietro, M. *Food, Land, Population and the U.S. Economy*. Carrying Capacity Network (1994). <http://www.dieoff.com/page55.htm>.
11. John H. Wood , Gary R. Long, and David F. Morehouse. *Long-Term World Oil Supply Scenarios*. August 18, 2004. Report dell'Energy Information Administration: http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/petroleum/feature_articles/2004/worldoilsupply/oilsupply04.html.
12. C. J. Campbell and J. H. Laherrere, *La Fine del Petrolio a buon mercato*, *Le Scienze* pp. 78-84 (1998).
13. Campbell, Colin J. and Bardi, Ugo. Association for the Study of Peak Oil & Gas. www.peakoil.net. www.aspoitalia.net.
14. Ugo Bardi. *La Fine del Petrolio, Combustibili fossili e prospettive energetiche per il ventunesimo secolo*. Editori Riuniti, (2003).
15. Ugo Bardi. *Un'introduzione alla teoria di Hubbert nella produzione di petrolio e di combustibili fossili*. Giugno 2004 . Disponibile all'URL: <http://www.aspoitalia.net/documenti/bardi/hubbertintro/hubbertintrojun04.html>.
16. Jason Bush. Commentary: *Oil: What's Russia Really Sitting On?* BusinessWeek Online (23/11/2004).
17. Diamond, Jared. *The Ends of the World as We Know Them*. New York Times January 1, 2005.
18. Mainardi Danilo, *L'Animale irrazionale*. Mondadori. (2001).
19. Bjørn Lomborg. *L'ambientalista scettico. Non è vero che la Terra è in pericolo*, Mondadori (1999).