Un rapporto per il progetto del CLUB DI ROMA sulla situazione difficile dell'umanità

CI SONO DEI LIMITI ALLA CRESCITA

Altri libri di Potomac Associates

SPERANZE E PAURE DEL POPOLO AMERICANO

POTOMAC ASSOCIATES è un'organizzazione di ricerca e analisi non partigiana che cerca di incoraggiare un'indagine vivace su questioni critiche di politica pubblica. Il suo scopo è accrescere la comprensione pubblica e migliorare il dibattito pubblico su importanti problemi contemporanei, nazionali e internazionali.

POTOMAC ASSOCIATES fornisce un forum per punti di vista distintivi attraverso la pubblicazione di studi tempestivi e documenti occasionali di autorità eccezionali negli Stati Uniti e all'estero. Sebbene la pubblicazione implichi la convinzione da parte di Potomac Associates dell'importanza fondamentale e della validità di ogni studio, le opinioni espresse sono quelle dell'autore.

POTOMAC ASSOCIATES è una società non esente da imposte con sede in 1707 L Street NW, Washington, DC 20036.

UN LIBRO DEI POTOMAC ASSOCIATES

UN RAPPORTO PER IL PROGETTO DEL CLUB DI ROMA SULLA SITUAZIONE DELL'UMANITÀ

Donella H. Meadows
Dennis L. Meadows
Jurgen Randers
William W. Behrens Ill

Libri dell'universo
NEW YORK

Seconda stampa prima della pubblicazione
1972 Terza stampa 1972 Quarta stampa 1972
Quinta ristampa 1972

Numero di catalogo della Biblioteca del Congresso: 73-187907
ISBN 0-87663-165-0
Progetto di Hubert Leckie
Stampato negli Stati Uniti d'America
Pubblicato negli Stati Uniti d'America nel 1972 da Universe Books,
381 Park Avenue Sud, New York, New York 10016
@ 1972 di Iknnis L. Meadows

Al Dott. Aurelio Peccei, la cui profonda preoccupazione per l'umanità ha ispirato noi e molti altri a riflettere sui problemi a lungo termine del mondo

Il team del progetto MIT

Dott. Dennis L. Meadows, direttore, Stati Uniti

DR. ALISON A. ANDERSON, Stati Uniti (inquinamento)
DR. JAY M. ANDERSON, Stati Uniti (inquinamento)
ILYAS BAYAR, Turchia (agricoltura)
WILLIAM w. BEHRENS 111, Stati Uniti (risorse)
FARHAD HAKIMZADEH, Iran (popolazione)
DR. STEFFEN HARBORDT, Germania (tendenze socio-politiche)
JUDITH A. MACHEN, Stati Uniti (amministrazione) DR. DONELLA H. MEADOWS, Stati Uniti (popolazione)
PETER MILLING, Germania (capitale)
NIRMALA s. MURTHY, India (popolazione)
ROGER F. NAILL, Stati Uniti (risorse)
JØRGEN RANDERS, Norvegia (inquinamento)
STEPHEN SHANTZIS, Stati Uniti (agricoltura)
JOHN A. SEEGER, Stati Uniti (amministrazione)
MARILYN WILLIAMS, Stati Uniti (documentazione)
DR. ERICH KO ZAHN, Germania (agricoltura)

PREFAZIONE

NELL'APRILE DEL 1968, un gruppo di trenta individui provenienti da dieci paesi (scienziati, educatori, economisti, umanisti, industriali e funzionari pubblici nazionali e internazionali) si riunì all'Accademia dei Lincei a Roma. Si incontrarono su istigazione del dott. Aurelio Peccei, un dirigente industriale italiano, economista e uomo lungimirante, per discutere un argomento di portata sbalorditiva: la situazione presente e futura dell'uomo.

IL CLUB DI ROMA

Da questo incontro è nato il Club di Roma, un'organizzazione informale che è stata opportunamente descritta come un "college invisibile". I suoi scopi sono di promuovere la comprensione delle varie ma interdipendenti componenti (economiche, politiche, naturali e sociali) che costituiscono il sistema globale in cui viviamo tutti; di portare questa nuova comprensione all'attenzione dei decisori politici e del pubblico in tutto il mondo; e in questo modo di promuovere nuove iniziative e azioni politiche.

Il Club di Roma rimane un'associazione internazionale informale, con un numero di membri che è ora cresciuto fino a circa settanta persone di venticinque nazionalità. Nessuno dei suoi membri ricopre cariche pubbliche, né il gruppo cerca di esprimere un singolo punto di vista ideologico, politico o nazionale. Tutti sono uniti, tuttavia, dalla loro convinzione prevalente che i principali problemi che l'umanità deve affrontare sono di tale complessità e sono così interconnessi che le istituzioni e le politiche tradizionali sono

non è più in grado di gestirli e nemmeno di comprenderne appieno il contenuto.

I membri del Club di Roma hanno background tanto vari quanto le loro nazionalità. Il dott. Peccei, ancora la principale forza motrice all'interno del gruppo, è affiliato a Fiat e Olivetti e gestisce una società di consulenza per lo sviluppo economico e ingegneristico, Italconsult, una delle più grandi del suo genere in Europa. Altri leader del Club di Roma includono: Hugo Thiemann, capo del Battelle Institute di Ginevra; Alexander King, direttore scientifico dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico; Saburo Okita, capo del Japan Economic Research Center di Tokyo; Eduard Pestel della Technical University di Hannover, Germania; e Carroll Wilson del Massachusetts Institute of Technology. Sebbene l'adesione al Club di Roma sia limitata e non supererà il centinaio, si sta espandendo per includere rappresentanti di una varietà sempre maggiore di culture, nazionalità e sistemi di valori.

IL PROGETTO SULLA SITUAZIONE DELL'UMANITÀ

Una serie di riunioni iniziali del Club di Roma culminarono nella decisione di avviare un'impresa straordinariamente ambiziosa: il Progetto sulla difficile situazione dell'umanità.

L'intento del progetto è di esaminare il complesso di problemi che affliggono gli uomini di tutte le nazioni: povertà in mezzo all'abbondanza; degrado dell'ambiente; perdita di fiducia nelle istituzioni; espansione urbana incontrollata; insicurezza del lavoro; alienazione dei giovani; rifiuto dei valori tradizionali; inflazione e altre perturbazioni monetarie ed economiche. Queste parti apparentemente divergenti della "problematica mondiale", come la chiama il Club di Roma, hanno tre caratteristiche in comune.

non si verificano in una certa misura in tutte le società; contengono elementi tecnici, sociali, economici e politici; e, cosa più importante, interagiscono.

È il dilemma dell'umanità che l'uomo possa percepire la problematica, ma, nonostante le sue notevoli conoscenze e capacità, non capisca le origini, il significato e le interrelazioni dei suoi numerosi componenti e quindi non sia in grado di elaborare risposte efficaci. Questo fallimento si verifica in gran parte perché continuiamo a esaminare singoli elementi nella problematica senza comprendere che il tutto è più della somma delle sue parti, che il cambiamento in un elemento significa il cambiamento negli altri.

La Fase Uno del Progetto sulla Predicazione dell'Umanità prese forma definitiva durante gli incontri tenutisi nell'estate del 1970 a Berna, in Svizzera, e a Cambridge, nel Massachusetts. In una conferenza di due settimane a Cambridge, il professor Jay Forrester del Massachusetts Institute of Technology (MIT) presentò un modello globale che consentiva una chiara identificazione di molti componenti specifici della problematica e suggerì una tecnica per analizzare il comportamento e le relazioni dei più importanti di tali componenti. Questa presentazione portò all'avvio della Fase Uno al MIT, dove il lavoro pionieristico di Forrester e di altri nel campo della Dinamica dei Sistemi aveva creato un corpo di competenze particolarmente adatto alle esigenze della ricerca.

Lo studio di Fase Uno è stato condotto da un team internazionale, sotto la direzione del Professor Dennis Meadows, con il supporto finanziario della Volkswagen Foundation. Il team ha esaminato i cinque fattori di base che determinano e, quindi, in ultima analisi limitano la crescita su questo pianeta: popolazione, produzione agricola, risorse naturali, produzione industriale,

e inquinamento. La ricerca è stata ora completata. Questo libro è il primo resoconto dei risultati pubblicato per il pubblico generale.

UNA SFIDA GLOBALE

È con autentico orgoglio e piacere che Potomac Associates si unisce al Club di Roma e al team di ricerca del MIT nella pubblicazione di The Limits to Growth.

Noi, come il Club di Roma, siamo un'organizzazione giovane e crediamo che gli obiettivi del Club siano molto vicini ai nostri. Il nostro scopo è portare nuove idee, nuove analisi e nuovi approcci a problemi persistenti, sia nazionali che internazionali, all'attenzione di tutti coloro che hanno a cuore e contribuiscono a determinare la qualità e la direzione della nostra vita. Siamo quindi lieti di poter rendere disponibile questo lavoro audace e impressionante attraverso il nostro programma di libri.

Ci auguriamo che The Limits to Growth susciti attenzione critica e susciti dibattito in tutte le società. Ci auguriamo che incoraggi ogni lettore a riflettere sulle conseguenze del continuare a equiparare crescita e progresso. E ci auguriamo che porti uomini e donne riflessivi in tutti i campi di attività a considerare la necessità di un'azione concertata ora se vogliamo preservare l'abitabilità di questo pianeta per noi stessi e per i nostri figli.

William Watts, Presidente

SOCI DEL POTOMAC

CONTENUTO

PREFAZIONE di Potomac Associates pagina 9

FIGURE pagina 14

TABELLE pagina 16

INTRODUZIONE pagina 17

I La natura della crescita esponenziale pagina 25.

Il I limiti della crescita esponenziale pag. 45 Ill La crescita nel sistema mondiale pag. 88 IV La tecnologia e i limiti della crescita pag. 129

V Lo stato dell'equilibrio globale pagina 156

COMMENTARIO del Comitato Esecutivo del Club di Roma pagina 185

APPENDICE Studi correlati pagina 198

NOTE pagina 201

FIGURE

FIGURA 1 FIGURA 4

FIGURA 2 FIGURA 5

FIGURA 3 FIGURA 6

FIGURA 7 Consumo mondiale di fertilizzanti pagina 26
FIGURA 8 Popolazione urbana mondiale pagina 27
FIGURA 9 La crescita del risparmio pagina 28
FIGURA 10 Popolazione mondiale pagina 33
Produzione industriale mondiale pagina 38
FIGURA 11 Tassi di crescita economica pagina 40
FIGURA 12 Proteine e apporto calorico pagina 47
FIGURA 13 Produzione alimentare pagina 49
Terreno arabile pagina 50
Riserve di cromo pagina 62
FIGURA 14 Pagina di disponibilità di Chromium 64
Prospettive umane pagina 19 Disponibilità di Chromium con il doppio di quella nota
Riserve pagina 65
Consumo energetico e PIL pro capite pagina 70
FIGURA 15 Concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera pagina 72
FIGURA 16 Generazione di calore di scarto nel bacino di Los Angeles pagina 74
FIGURA 17 Rifiuti nucleari pagina 75
FIGURA 18 Cambiamenti nelle caratteristiche chimiche e commerciali
Produzione ittica nel lago Ontario pagina 76
FIGURA 19 Contenuto di ossigeno del Mar Baltico pagina 78
FIGURA 20 Consumo di mercurio negli Stati Uniti pagina 79

FIGURA 21 Piombo nella calotta glaciale della Groenlandia pagina 80
FIGURA 22 Flussi di DDT nell'ambiente pagina 83
FIGURA 23 Crescita della popolazione e cicli di feedback della crescita del capitale pagina 95
FIGURA 24 Cicli di feedback di popolazione, capitale, agricoltura e inquinamento pagina 97
FIGURA 25 Cicli di feedback di popolazione, capitale, servizi e risorse pagina 100
FIGURA 26 Il modello mondiale pagina 102
FIGURA 27 Nutrizione e aspettativa di vita pagina 106
FIGURA 28 Produzione industriale pro capite e utilizzo delle risorse pagina 108
FIGURA 29 Consumo mondiale di acciaio e PIL pro capite pagina 110
FIGURA 30 Consumo di rame e acciaio negli Stati Uniti e PIL pro capite pagina 111
FIGURA 31 Tasso di natalità e PIL pro capite pagina 112
FIGURA 32 Famiglie che desiderano quattro o più figli e PIL pro capite pagina 114
FIGURA 33 Pagina 115 delle dimensioni desiderate della famiglia
FIGURA 34 L'effetto dell'inquinamento sulla vita pagina 120
FIGURA 35 Pagina 124 del World Model Standard Run
FIGURA 36 Modello mondiale con riserve di risorse naturali raddoppiate pagina 127
FIGURA 37 Modello mondiale con risorse "illimitate" pagina 132

FIGURA 38 Costo della riduzione dell'inquinamento pagina 134

FIGURA 39 Modello mondiale con risorse "illimitate" e controlli dell'inquinamento pagina 136
FIGURA 40 Modello mondiale con risorse "illimitate", inquinamento Controlli e aumento della produttività agricola pagina 138
FIGURA 41 Modello mondiale con risorse "illimitate", controlli dell'inquinamento e controllo delle nascite "perfetto" pagina 139
FIGURA 42 Modello mondiale con risorse "illimitate", inquinamento Controlli, aumento della produttività agricola e controllo delle nascite "perfetto" pagina 140
FIGURA 43 La caccia moderna alle balene pagina 152
FIGURA 44 Modello mondiale con popolazione stabilizzata pagina 160
FIGURA 45 Modello mondiale con popolazione e capitale stabilizzati pagina 162
FIGURA 46 Modello mondiale stabilizzato I pagina 165
FIGURA 47 Modello mondiale stabilizzato Il pagina 168
FIGURA 48 Modello mondiale con politiche stabilizzanti introdotte nel

l' anno 2000 pagina 169

TAVOLE

TABELLA 1 Raddoppio del tempo pagina 30
TABELLA 2 Tassi di crescita economica e demografica pagina 42
TABELLA 3 PIL estrapolato per l'anno 2000 pagina 43
TABELLA 4 Risorse naturali non rinnovabili pagina 56
TABELLA 5 DDT nel grasso corporeo pagina 85
TABELLA 6 Costo della riduzione dell'inquinamento atmosferico in una città degli Stati Uniti pagina 135

INTRODUZIONE

Non vorrei sembrare eccessivamente drammatico, ma posso solo concludere dalle informazioni che ho a disposizione come Segretario generale che i membri delle Nazioni Unite hanno forse dieci anni rimasti per subordinare le loro antiche dispute e lanciare una partnership globale per frenare la corsa agli armamenti, migliorare l'ambiente umano, disinnescare l'esplosione demografica e fornire lo slancio necessario agli sforzi di sviluppo. Se una tale partnership globale non verrà forgiata entro il prossimo decennio, allora temo molto che i problemi che ho menzionato avranno raggiunto proporzioni così sbalorditive da essere al di là della nostra capacità di controllo.

IL SIGNORE DEGLI ANGELI, 1969

I problemi menzionati da U Thant, la corsa agli armamenti, il deterioramento ambientale, l'esplosione demografica e la stagnazione economica, sono spesso citati come i problemi centrali e a lungo termine dell'uomo moderno. Molte persone credono che il futuro corso della società umana, forse persino la sopravvivenza della società umana, dipenda dalla velocità e dall'efficacia con cui il mondo risponde a questi problemi. E tuttavia solo una piccola frazione della popolazione mondiale è attivamente interessata a comprendere questi problemi o a cercarne le soluzioni.

PROSPETTIVE UMANE

Ogni persona al mondo affronta una serie di pressioni e problemi che richiedono la sua attenzione e azione. Questi problemi lo influenzano a molti livelli diversi. Potrebbe passare gran parte del suo tempo a cercare il cibo per sé e la sua famiglia per il futuro. Potrebbe essere preoccupato per il potere personale o per il potere della nazione in cui

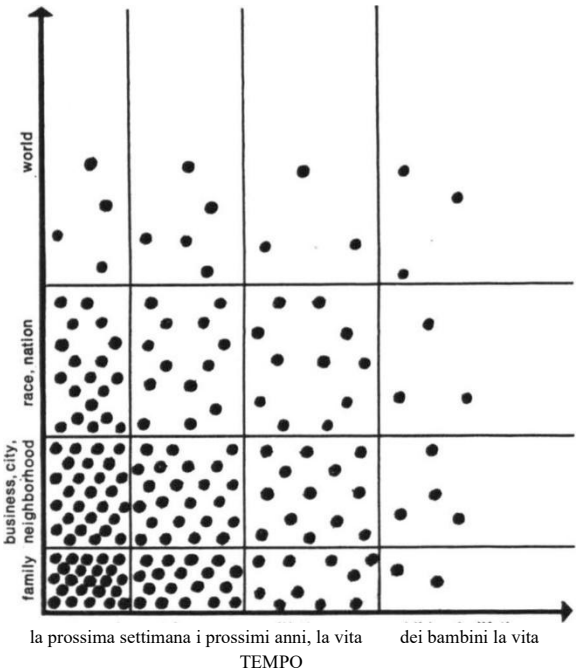
vive. Potrebbe preoccuparsi di una guerra mondiale durante la sua vita, o di una guerra la prossima settimana con un clan rivale nel suo quartiere.

Questi livelli molto diversi di preoccupazione umana possono essere rappresentati su un grafico come quello della figura 1. Il grafico ha due dimensioni, spazio e tempo. Ogni preoccupazione umana può essere localizzata in un punto del grafico, a seconda di quanto spazio geografico include e di quanto si estende nel tempo. Le preoccupazioni della maggior parte delle persone sono concentrate nell'angolo in basso a sinistra del grafico. La vita per queste persone è difficile e devono dedicare quasi tutti i loro sforzi a provvedere a se stessi e alle loro famiglie, giorno per giorno. Altre persone pensano e agiscono su problemi più lontani sugli assi dello spazio o del tempo. Le pressioni che percepiscono coinvolgono non solo loro stessi, ma anche la comunità con cui si identificano. Le azioni che intraprendono si estendono non solo per giorni, ma anche per settimane o anni nel futuro.

Le prospettive di tempo e spazio di una persona dipendono dalla sua cultura, dalla sua esperienza passata e dall'immediatezza dei problemi che si presentano a ogni livello. La maggior parte delle persone deve aver risolto con successo i problemi in un'area più piccola prima di spostare le proprie preoccupazioni in una più grande. In generale, più grande è lo spazio e più lungo è il tempo associato a un problema, minore è il numero di persone che sono effettivamente interessate alla sua soluzione.

Possono esserci delusioni e pericoli nel limitare la propria visuale a un'area troppo piccola. Ci sono molti esempi di una persona che si sforza con tutte le sue forze di risolvere un problema locale immediato, solo per scoprire che i suoi sforzi sono stati vanificati da eventi che si verificano in un contesto più ampio. Un contadino, mantenuto con cura,

Figura 1 PROSPETTIVE UMANE



Sebbene le prospettive delle persone nel mondo varino nello spazio e nel tempo, ogni preoccupazione umana cade da qualche parte sul grafico spazio-tempo. La maggior parte delle persone nel mondo si occupa di questioni che riguardano solo la famiglia o gli amici per un breve periodo di tempo. Altri guardano più avanti nel tempo o su un'area più ampia, una città o una nazione. Solo pochissime persone hanno una prospettiva globale che si estende molto nel futuro.

i campi possono essere distrutti da una guerra internazionale. I piani dei funzionari locali possono essere ribaltati da una politica nazionale. Lo sviluppo economico di un paese può essere ostacolato da una mancanza di domanda mondiale per i suoi prodotti. In effetti, oggi c'è una crescente preoccupazione che la maggior parte degli

obiettivi personali e nazionali possano essere alla fine frustrati da tendenze globali a lungo termine come quelle menzionate da U Thant.

Le implicazioni di queste tendenze globali sono davvero così minacciose che la loro risoluzione dovrebbe avere la precedenza sulle preoccupazioni locali e a breve termine ?

È vero, come ha suggerito U Thant, che ci vorrà meno di un decennio per tenere sotto controllo queste tendenze?

Se non vengono tenuti sotto controllo, quali saranno le conseguenze ?

Quali metodi ha l'umanità per risolvere i problemi globali e quali saranno i risultati e i costi dell'impiego di ciascuno di essi?

Queste sono le domande che abbiamo indagato nella prima fase del Progetto del Club di Roma sul Predicamento dell'Uomo. Le nostre preoccupazioni ricadono quindi nell'angolo in alto a destra del grafico spazio-tempo.

PROBLEMI E MODELLI

Ogni persona affronta i suoi problemi, ovunque si presentino sul grafico spazio-tempo, con l'aiuto di modelli. Un modello è semplicemente un insieme ordinato di ipotesi su un sistema complesso. È un tentativo di comprendere un aspetto del mondo infinitamente vario selezionando da percezioni ed esperienze passate un insieme di osservazioni generali applicabili al problema in questione. Un agricoltore usa un modello mentale della sua terra, dei suoi beni, delle prospettive di mercato e delle condizioni meteorologiche passate per decidere quali colture piantare ogni anno. Un geometra costruisce un modello fisico, una mappa, per aiutare a pianificare una strada. Un economista usa modelli matematici per comprendere e prevedere il flusso del commercio internazionale.

I decisori a ogni livello usano inconsciamente modelli mentali per scegliere tra le politiche che daranno forma al nostro mondo futuro. Questi modelli mentali sono, per necessità, molto semplici quando rispetto alla realtà da cui sono astratti. Il cervello umano, per quanto notevole, può tenere traccia solo di un numero limitato

di interazioni complesse e simultanee che determinano la natura del mondo reale.

Anche noi abbiamo utilizzato un modello. Il nostro è un modello formale e scritto del mondo.* Costituisce un tentativo preliminare di migliorare i nostri modelli mentali di problemi globali a lungo termine, combinando la grande quantità di informazioni che è già nelle menti umane e nei documenti scritti con i nuovi strumenti di elaborazione delle informazioni che la crescente conoscenza dell'umanità ha prodotto: il metodo scientifico, l'analisi dei sistemi e il computer moderno.

Il nostro modello mondiale è stato creato appositamente per indagare cinque principali tendenze di interesse globale: accelerazione dell'industrializzazione, rapida crescita della popolazione, diffusa malnutrizione, esaurimento delle risorse non rinnovabili e deterioramento dell'ambiente. Queste tendenze sono tutte interconnesse in molti modi e il loro sviluppo è misurato in decenni o secoli, piuttosto che in mesi o anni. Con il modello cerchiamo di comprendere le cause di queste tendenze, le loro interrelazioni e le loro implicazioni fino a cento anni nel futuro.

Il modello che abbiamo costruito è, come ogni altro modello, imperfetto, semplificato e incompiuto. Siamo ben consapevoli delle sue carenze, ma crediamo che sia il modello più utile ora disponibile per affrontare problemi molto lontani sul grafico spazio-tempo. A nostra conoscenza è l'unico modello formale esistente che abbia una portata veramente globale, che abbia un

---

*Il modello prototipo su cui abbiamo basato il nostro lavoro è stato progettato dal professor Jay W. Forrester del Massachusetts Institute of Technology. Una descrizione di quel modello è stata pubblicata nel suo libro World Dynamics (Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1971).

orizzonte temporale superiore a trent'anni, e che include variabili importanti quali popolazione, produzione alimentare e inquinamento, non come entità indipendenti, ma come elementi che interagiscono dinamicamente, come nel mondo reale.

Poiché il nostro è un modello formale o matematico, ha anche due importanti vantaggi rispetto ai modelli mentali. In primo luogo, ogni ipotesi che facciamo è scritta in una forma precisa, in modo che sia aperta all'ispezione e alla critica da parte di tutti. In secondo luogo, dopo che le ipotesi sono state esaminate, discusse e riviste per concordare con le nostre migliori conoscenze attuali, le loro implicazioni per il comportamento futuro del sistema mondiale possono essere tracciate senza errori da un computer, non importa quanto complicate diventino.

Riteniamo che i vantaggi sopraelencati rendano questo modello unico tra tutti i modelli matematici e mentali del mondo a nostra disposizione oggi. Ma non c'è motivo di accontentarsi della sua forma attuale. Abbiamo intenzione di modificarlo, espanderlo e migliorarlo man mano che le nostre conoscenze e il database mondiale migliorano gradualmente.

Nonostante lo stato preliminare del nostro lavoro, crediamo sia importante pubblicare il modello e le nostre scoperte ora. Ogni giorno, in ogni parte del mondo, vengono prese decisioni che influenzeranno le condizioni fisiche, economiche e sociali del sistema mondiale per i decenni a venire. Queste decisioni non possono aspettare modelli perfetti e una comprensione totale. Saranno prese sulla base di un qualche modello, mentale o scritto, in ogni caso. Riteniamo che il modello descritto qui sia già sufficientemente sviluppato per essere di qualche utilità per i decisori. Inoltre, le modalità di comportamento di base che abbiamo già osservato in questo modello sembrano essere

così fondamentali e generali che non ci aspettiamo che le nostre conclusioni generali vengano sostanzialmente alterate da ulteriori revisioni.

Lo scopo di questo libro non è quello di fornire una descrizione scientifica completa di tutti i dati e le equazioni matematiche incluse nel modello mondiale. Tale descrizione può essere trovata nel rapporto tecnico finale del nostro progetto. Piuttosto, in The Limits to Growth riassumiamo le caratteristiche principali del modello e le nostre scoperte in modo breve e non tecnico. L'enfasi non deve essere sulle equazioni o sulle complessità del modello, ma su ciò che ci dice del mondo. Abbiamo utilizzato un computer come strumento per aiutare la nostra comprensione delle cause e delle conseguenze delle tendenze in accelerazione che caratterizzano il mondo moderno, ma la familiarità con i computer non è affatto necessaria per comprendere o discutere le nostre conclusioni. Le implicazioni di queste tendenze in accelerazione sollevano questioni che vanno ben oltre il dominio appropriato di un documento puramente scientifico. Devono essere dibattute da una comunità più ampia di quella dei soli scienziati. Il nostro scopo qui è quello di aprire quel dibattito.

Le seguenti conclusioni sono emerse dal nostro lavoro finora. Non siamo affatto il primo gruppo ad averle enunciate. Negli ultimi decenni, le persone che hanno guardato al mondo con una prospettiva globale e a lungo termine sono giunte a conclusioni simili. Tuttavia, la stragrande maggioranza dei decisori politici sembra perseguire attivamente obiettivi che sono incoerenti con questi risultati.

Le nostre conclusioni sono:

1. Se le attuali tendenze di crescita della popolazione mondiale, dell'industrializzazione, dell'inquinamento, della produzione di focd e dell'esaurimento delle risorse continuano

invariate, i limiti della crescita su questo pianeta saranno raggiunti entro i prossimi cento anni. Il risultato più probabile sarà un declino piuttosto improvviso e incontrollabile sia della popolazione che della capacità industriale.

2. È possibile modificare queste tendenze di crescita e stabilire una condizione di stabilità ecologica ed economica che sia sostenibile nel lontano futuro. Lo stato di equilibrio globale potrebbe essere progettato in modo che i bisogni materiali di base di ogni persona sulla terra siano soddisfatti e che ogni persona abbia pari opportunità di realizzare il proprio potenziale umano individuale.

3. Se le persone del mondo decidono di impegnarsi per raggiungere questo secondo risultato anziché il primo, prima inizieranno a impegnarsi per ottenerlo, maggiori saranno le loro possibilità di successo.

Queste conclusioni sono di così vasta portata e sollevano così tante domande per ulteriori studi che siamo francamente sopraffatti dall'enormità del lavoro che deve essere svolto. Ci auguriamo che questo libro serva a interessare altre persone, in molti campi di studio e in molti paesi del mondo, ad aumentare gli orizzonti spaziali e temporali delle loro preoccupazioni e ad unirsi a noi nella comprensione e nella preparazione per un periodo di grande transizione: la transizione dalla crescita all'equilibrio globale.

CAPITOLO 1

IL NATURA

ESPONENZIALE CRESCITA

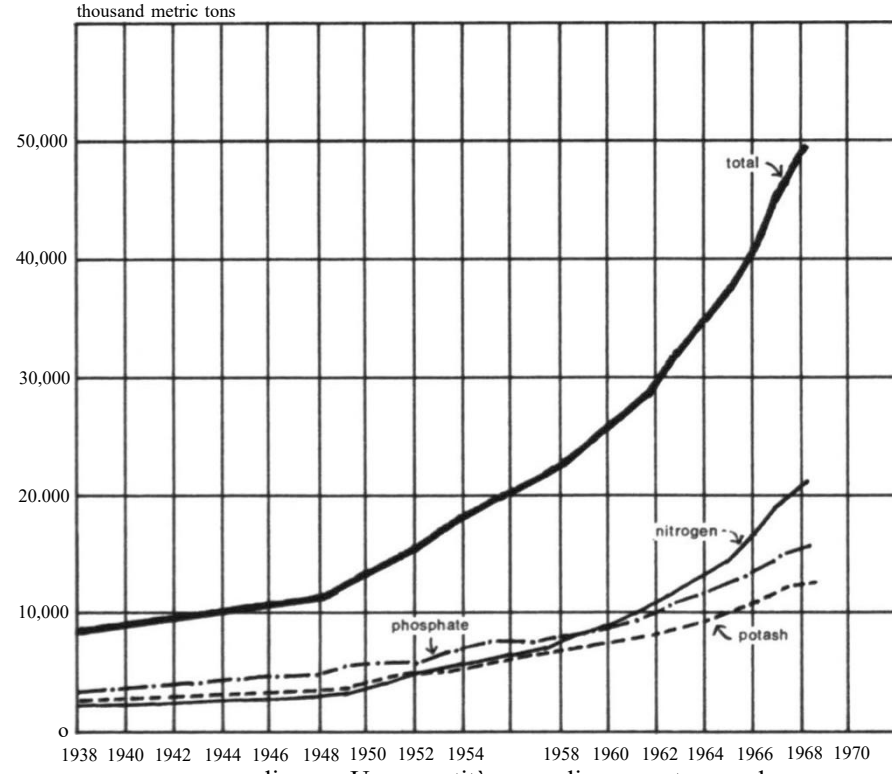
La gente al giorno d'oggi pensa che cinque figli non siano troppi e ogni figlio ha anche cinque figli, e prima della morte del nonno ci sono già 25 discendenti. Quindi le persone sono di più e la ricchezza è di meno; lavorano duramente e ricevono poco.

HAN FEI-TZU, ca. 500 a.C.

Tutti e cinque gli elementi fondamentali dello studio qui riportato (popolazione, produzione alimentare, industrializzazione, inquinamento e consumo di risorse naturali non rinnovabili) stanno aumentando. La quantità del loro aumento annuale segue uno schema che i matematici chiamano crescita esponenziale. Quasi tutte le attività attuali dell'umanità, dall'uso di fertilizzanti all'espansione delle città, possono essere rappresentate da curve di crescita esponenziale (vedere figure 2 e 3). Poiché gran parte di questo libro tratta delle cause e delle implicazioni delle curve di crescita esponenziale, è importante iniziare con una comprensione delle loro caratteristiche generali.

LA MATEMATICA DELLA CRESCITA ESPONENZIALE

La maggior parte delle persone è abituata a pensare alla crescita come



a un processo lineare. Una quantità cresce linearmente quando aumenta di 2 CONSUMO MONDIALE DI FERTILIZZANTI

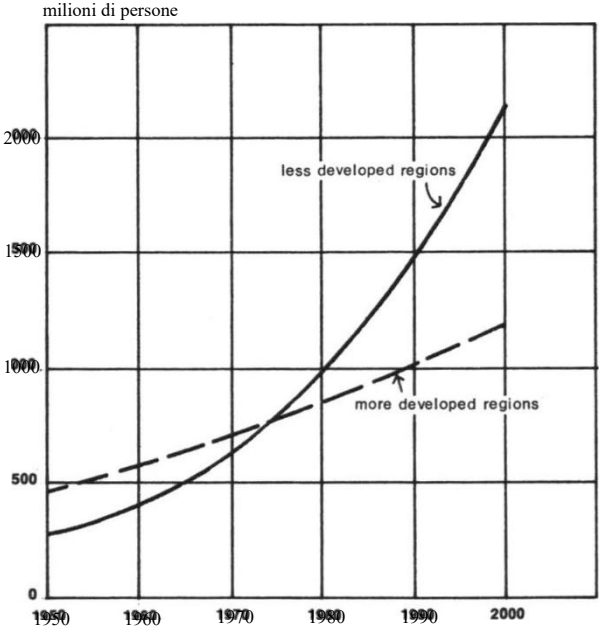
Il consumo mondiale di fertilizzanti sta aumentando in modo esponenziale, con un tempo di raddoppio di circa 10 anni. L'uso totale è ora cinque volte maggiore rispetto a quello della seconda guerra mondiale.

NOTA: le cifre non includono l'URSS e la Repubblica Popolare Cinese.

FONTI: Dipartimento degli Affari Economici e Sociali delle Nazioni Unite, Annuario Statistico 1%5, Annuario Statistico 1960 e Annuario Statistico 1970 (New York: Nazioni Unite, 1956, 1961 e 1971).

quantità costante in un periodo di tempo costante . Ad esempio, un bambino che diventa più alto di un pollice ogni anno sta crescendo linearmente. Se un avaro nasconde $ 10 ogni anno sotto il suo materasso, il suo

3 POPOLAZIONE URBANA MONDIALE



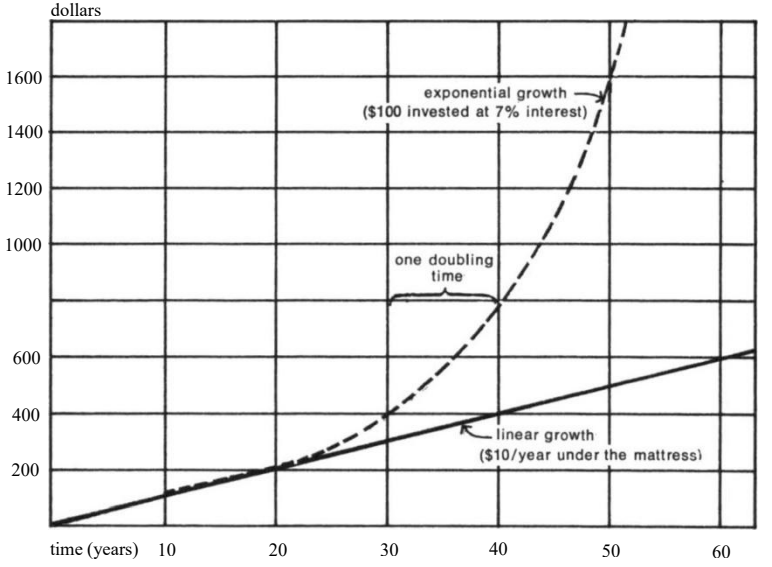
Si prevede che la popolazione urbana totale aumenterà in modo esponenziale nelle regioni meno sviluppate del mondo, ma quasi linearmente in quelle più sviluppate. L'attuale tempo medio di raddoppio delle popolazioni urbane nelle regioni meno sviluppate è di 15 anni.

FONTE: Dipartimento per gli Affari Economici e Sociali delle Nazioni Unite, The World Population Situation in 1970 (New York: Nazioni Unite, 1971).

orda di denaro sta aumentando anche in modo lineare. La quantità di aumento ogni anno non è ovviamente influenzata dalla taglia del bambino né dalla quantità di denaro già sotto il materasso.

Una quantità mostra una crescita esponenziale quando aumenta di una percentuale costante del totale in un periodo di tempo costante . Una colonia di cellule di lievito in cui ogni cellula si divide in due cellule ogni 10 minuti sta crescendo esponenzialmente. Per ogni singola cellula, dopo 10 minuti ci saranno due cellule, un aumento

4 LA CRESCITA DEL RISPARMIO



Se un avaro nasconde 10 $ all'anno sotto il materasso, i suoi risparmi cresceranno linearmente, come mostrato dalla curva inferiore. Se, dopo 10 anni, investe i suoi 100 $ al 7 percento di interesse, quei 100 $ cresceranno esponenzialmente, con un tempo di raddoppio di 10 anni.

del 100 percento. Dopo i successivi 10 minuti ci saranno quattro cellule, poi otto, poi sedici. Se un avaro prende 100 $ dal suo materasso

e li investe al 7 percento (in modo che l'importo totale accumulato aumenti del 7 percento ogni anno), il denaro investito crescerà molto più velocemente dello stock in aumento lineare sotto il materasso (vedi figura 4). L'importo aggiunto ogni anno a un conto bancario o ogni 10 minuti a una colonia di lievito non è costante. Aumenta continuamente, man mano che aumenta l'importo totale accumulato. Tale crescita esponenziale è un processo comune nei sistemi biologici, finanziari e in molti altri sistemi del mondo.

LA NATURA DELLA CRESCITA ESPONENZIALE

Per quanto comune, la crescita esponenziale può produrre risultati sorprendenti, risultati che hanno affascinato l'umanità per secoli. C'è un'antica leggenda persiana su un abile cortigiano che regalò una bellissima scacchiera al suo re e gli chiese in cambio 1 chicco di riso per la prima casella della scacchiera, 2 grani per la seconda casella, 4 grani per la terza e così via. Il re acconsentì prontamente e ordinò che il riso fosse portato dai suoi magazzini. La quarta casella della scacchiera richiedeva 8 grani, la decima casella ne richiedeva 512, la quindicesima ne richiedeva 16.384 e la ventunesima casella diede al cortigiano più di un milione di grani di riso. Alla quarantesima casella si dovettero portare un milione di milioni di grani di riso dai magazzini. L'intera scorta di riso del re si esaurì molto prima che raggiungesse la sessantaquattresima casella. L'aumento esponenziale è ingannevole perché genera numeri immensi molto rapidamente.

Un indovinello francese per bambini illustra un altro aspetto della crescita esponenziale: l'apparente rapidità con cui si avvicina a un limite fisso. Supponiamo che tu possieda uno stagno in cui cresce una ninfea. La pianta di ninfea raddoppia di dimensioni ogni giorno. Se alla ninfea fosse permesso di crescere senza controllo, coprirebbe completamente lo stagno in 30 giorni, soffocando le altre forme di vita nell'acqua. Per molto tempo la pianta di ninfea sembra piccola, quindi decidi di non preoccuparti di tagliarla finché non coprirà metà dello stagno. In che giorno sarà? Il ventinovesimo giorno, ovviamente. Hai un giorno per salvare il tuo stagno.*

È utile pensare alla crescita esponenziale in termini di tempo di raddoppio, ovvero il tempo impiegato da una quantità crescente per

---

• Siamo debitori al signor Robert Lattes per averci svelato questo enigma.

raddoppiare di dimensioni. Nel caso della pianta di giglio descritta sopra, il tempo di raddoppio è di 1 giorno. Una somma di denaro

lasciata in banca al 7 percento di interesse raddoppierà in 10 anni. Esiste una semplice relazione matematica tra il tasso di interesse, o tasso di crescita, e il tempo necessario a una quantità per raddoppiare di dimensioni. Il tempo di raddoppio è approssimativamente uguale a 70 diviso per il tasso di crescita, come illustrato nella tabella 1.

Tabella 1 TEMPO DI RADDOPPIO

Tasso di crescita (% all'anno)	Tempo di raddoppio (anni)
0,1	700
0,5	140
1.0	70
2.0	35
4.0	18
5.0	14
7.0	10
10.0	7

MODELLI E CRESCITA ESPONENZIALE

La crescita esponenziale è un fenomeno dinamico, il che significa che coinvolge elementi che cambiano nel tempo. In sistemi semplici, come •il conto in banca o lo stagno delle ninfee, la causa della crescita esponenziale e il suo corso futuro sono relativamente facili da comprendere. Quando molte quantità diverse crescono simultaneamente in un sistema, tuttavia, e quando tutte le quantità sono interrelate in modo complicato, l'analisi delle cause della crescita e del comportamento futuro del sistema diventa davvero molto difficile. La crescita della popolazione causa l'industrializzazione o è l'industrializzazione a causare la crescita della popolazione? Una delle due è singolarmente responsabile dell'aumento della poli-

lution, o sono entrambi responsabili? Una maggiore produzione alimentare si tradurrà in una maggiore popolazione? Se uno qualsiasi di questi elementi cresce più lentamente o più velocemente, cosa accadrà ai tassi di crescita di tutti gli altri? Queste stesse domande sono oggetto di dibattito in molte parti del mondo oggi. Le risposte possono essere trovate attraverso una migliore comprensione dell'intero sistema complesso che unisce tutti questi importanti elementi.

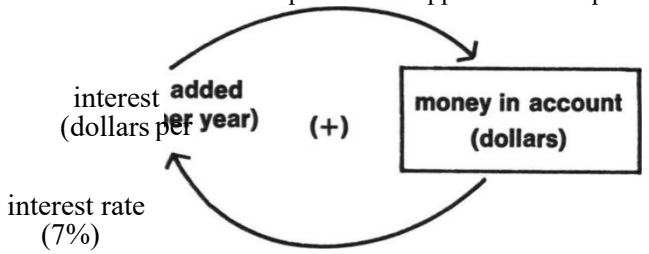
Nel corso degli ultimi 30 anni, al Massachusetts Institute of Technology si è evoluto un nuovo metodo per comprendere il comportamento dinamico dei sistemi complessi. Il metodo è chiamato System Dynamics.* La base del metodo è il riconoscimento che la struttura di qualsiasi sistema, le numerose relazioni circolari, interconnesse, a volte ritardate nel tempo tra i suoi componenti, sono spesso importanti nel determinare il suo comportamento tanto quanto i singoli componenti stessi. Il modello del mondo descritto in questo libro è un modello System Dynamics.

La teoria della modellazione dinamica indica che qualsiasi quantità in crescita esponenziale è in qualche modo coinvolta in un ciclo di feedback positivo. Un ciclo di feedback positivo è talvolta chiamato "circolo vizioso". Un esempio è la familiare spirale salari-prezzi: i salari aumentano, il che causa l'aumento dei prezzi, il che porta a richieste di salari più alti e così via. In un ciclo di feedback positivo una catena di relazioni causa-effetto si chiude su se stessa, così che l'aumento di un qualsiasi elemento nel ciclo avvierà una sequenza di cambiamenti che si tradurrà nell'aumento ancora maggiore dell'elemento originariamente modificato.

---

*Una descrizione dettagliata del metodo di analisi della dinamica dei sistemi è presentata in Industrial Dynamics (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1961) e Principles of Systems (Cambridge, Mass.: WrightAllen Press, 1968) di J.W. Forrester.

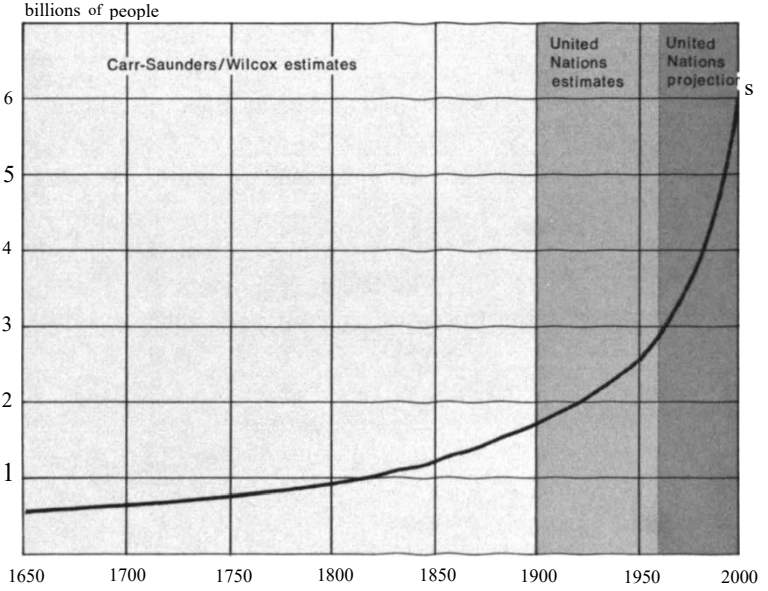
Il ciclo di feedback positivo che spiega l'aumento esponenziale di denaro in un conto bancario può essere rappresentato in questo modo:



Supponiamo che vengano depositati 100 $ sul conto. L'interesse del primo anno è il 7 percento di 100 $, ovvero 7 $, che viene aggiunto al conto, per un totale di 107 $. L'interesse dell'anno successivo è il 7 percento di 107 $, ovvero 7,49 $, per un nuovo totale di 114,49 $. Un anno dopo l'interesse su tale importo sarà superiore a 8 milioni di $. Più denaro c'è sul conto, più denaro verrà aggiunto ogni anno in interessi. Più denaro viene aggiunto, più denaro ci sarà sul conto l'anno successivo, causando un'aggiunta di interessi ancora maggiore. E così via. Mentre giriamo e giriamo intorno al ciclo, il denaro accumulato sul conto cresce esponenzialmente. Il tasso di interesse (costante al 7 percento) determina il guadagno intorno al ciclo, ovvero il tasso a cui cresce il conto bancario.

Possiamo iniziare la nostra analisi dinamica della situazione mondiale a lungo termine cercando i cicli di feedback positivi alla base della crescita esponenziale nelle cinque grandezze fisiche che abbiamo già menzionato. In particolare, i tassi di crescita di due di questi elementi, popolazione e industrializzazione, sono di interesse, poiché l'obiettivo di molte politiche di sviluppo è quello di incoraggiare la crescita di

quest'ultima rispetto alla prima. La Figura 5 POPOLAZIONE MONDIALE



La popolazione mondiale dal 1650 è cresciuta esponenzialmente a un tasso crescente. La popolazione stimata nel 1970 è già leggermente superiore alla proiezione illustrata qui (che è stata fatta nel 1958). L'attuale tasso di crescita della popolazione mondiale è di circa il 2,1 percento all'anno, corrispondente a un tempo di raddoppio di 33 anni.
FONTE: Donald J. Bogue, Principles of Demography (New York: John Wiley and Sons. 1969).

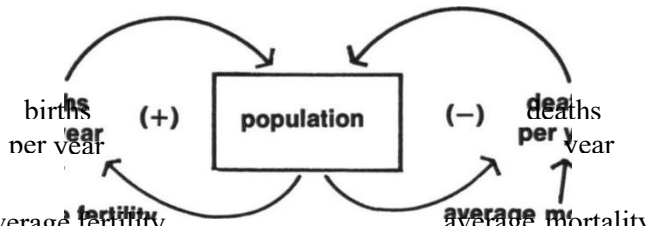
due cicli di feedback positivo di base che spiegano la crescita esponenziale della popolazione e dell'industria sono semplici in linea di principio. Descriveremo le loro strutture di base nelle prossime pagine. Le numerose interconnessioni tra questi due cicli di feedback positivo agiscono per amplificare o diminuire l'azione dei cicli, per accoppiare o disaccoppiare i tassi di crescita

della popolazione e dell'industria. Queste interconnessioni costituiscono il modello del resto del mondo e la loro descrizione occuperà gran parte del resto di questo libro.

CRESCITA DELLA POPOLAZIONE MONDIALE

La curva di crescita esponenziale della popolazione mondiale è mostrata nella figura 5. Nel 1650 la popolazione contava circa 0,5 miliardi* e cresceva a un tasso di circa lo 0,3 percento all'anno. [1] Ciò corrisponde a un tempo di raddoppio di quasi 250 anni. Nel 1970 la popolazione ammontava a 3,6 miliardi e il tasso di crescita era del 2,1 percento all'anno. [2] Il tempo di raddoppio a questo tasso di crescita è di 33 anni. Quindi, non solo la popolazione è cresciuta in modo esponenziale, ma anche il tasso di crescita è cresciuto. Potremmo dire che la crescita della popolazione è stata "super"esponenziale; la curva della popolazione sta aumentando ancora più velocemente di quanto farebbe se la crescita fosse strettamente esponenziale.

Di seguito è illustrata la struttura del ciclo di feedback che rappresenta il comportamento dinamico della crescita della popolazione.



(frazione della popolazione che partorisce ogni anno)

(frazione della popolazione che muore ogni anno)

Sulla sinistra c'è il ciclo di feedback positivo che spiega la crescita esponenziale osservata. In una popolazione con una fertilità media costante, più grande è la popolazione, più bambini nasceranno ogni anno. Più bambini ci sono, più grande è la popolazione -

• In questo libro la parola "miliardo" verrà utilizzata per indicare 1000 milioni, vale a dire il "miliardo" europeo.
Le note iniziano a pagina 201.

zione avverrà l'anno successivo. Dopo un ritardo per consentire a quei bambini di crescere e diventare genitori, nasceranno ancora più bambini, aumentando ulteriormente la popolazione. La crescita costante continuerà finché la fertilità media rimarrà costante. Se, ad esempio, oltre ai figli maschi, ogni donna ha in media due figlie femmine e ognuna di loro cresce fino ad avere altre due figlie femmine, la popolazione raddoppierà ogni generazione. Il tasso di crescita dipenderà sia dalla fertilità media sia dalla durata del ritardo tra le generazioni. La fertilità non è necessariamente costante, ovviamente, e nel capitolo III discuteremo alcuni dei fattori che ne causano la variazione.

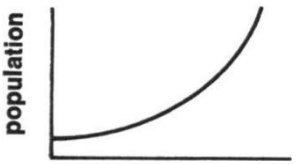
C'è un altro ciclo di feedback che governa la crescita della popolazione, mostrato sul lato destro del diagramma sopra. È un ciclo di feedback negativo. Mentre i cicli di feedback positivi generano una crescita incontrollata, i cicli di feedback negativi tendono a regolare la crescita e a mantenere un sistema in uno stato stabile. Si comportano in modo molto simile a un termostato che controlla la temperatura di una stanza. Se la temperatura scende, il termostato attiva il sistema di riscaldamento, che fa aumentare di nuovo la temperatura. Quando la temperatura raggiunge il suo limite, il termostato interrompe il sistema di riscaldamento e la temperatura inizia a scendere di nuovo. In un ciclo di feedback negativo, un cambiamento in un elemento viene propagato attorno al cerchio finché non torna a cambiare quell'elemento in una direzione opposta al cambiamento iniziale.

Il ciclo di feedback negativo che controlla la popolazione si basa sulla mortalità media, un riflesso della salute generale della popolazione. Il numero di decessi ogni anno è uguale alla popolazione

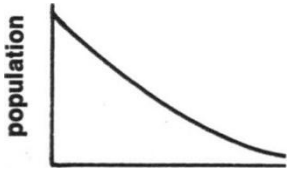
totale moltiplicata per la mortalità media (che potremmo pensare come la probabilità media di morte a qualsiasi età).

Un aumento delle dimensioni di una popolazione con una mortalità media costante si tradurrà in più decessi all'anno. Più decessi lasceranno meno persone nella popolazione, e quindi ci saranno meno decessi l'anno successivo . Se in media il 5 percento della popolazione muore ogni anno, ci saranno 500 decessi in una popolazione di 10.000 in un anno. Supponendo che non ci siano nascite per il momento, ciò lascerebbe 9.500 persone l'anno successivo. Se la probabilità di morte è ancora del 5 percento, ci saranno solo 475 decessi in questa popolazione più piccola, lasciando 9.025 persone. L'anno successivo ci saranno solo 452 decessi. Di nuovo, c'è un ritardo in questo ciclo di feedback perché il tasso di mortalità è una funzione dell'età media della popolazione. Inoltre, naturalmente, la mortalità anche a una data età non è necessariamente costante.

Se non ci fossero decessi in una popolazione, questa crescerebbe esponenzialmente tramite il ciclo di feedback positivo delle nascite, come mostrato di seguito. Se non ci fossero nascite , la popolazione diminuirebbe



a zero a causa del ciclo di feedback negativo delle morti, come mostrato anche di seguito. Poiché ogni popolazione reale sperimenta entrambi



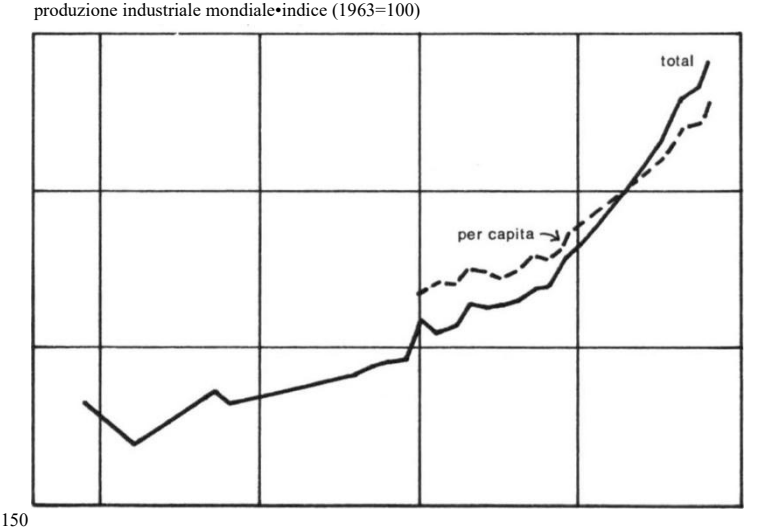
nascite e morti, nonché fertilità e mortalità variabili, il comportamento dinamico delle popolazioni governato da questi due cicli di feedback interconnessi può diventare piuttosto complicato.

Cosa ha causato il recente aumento super-esponenziale della popolazione mondiale ? Prima della rivoluzione industriale sia la fertilità che la mortalità erano relativamente alte e irregolari. Il tasso di natalità generalmente superava di poco il tasso di mortalità e la popolazione cresceva in modo esponenziale, ma a un ritmo molto lento e irregolare. Nel 1650 la vita media della maggior parte delle popolazioni nel mondo era di soli 30 anni. Da allora, l'umanità ha sviluppato molte pratiche che hanno avuto effetti profondi sul sistema di crescita della popolazione, in particolare sui tassi di mortalità. Con la diffusione della medicina moderna, delle tecniche di sanità pubblica e dei nuovi metodi di coltivazione e distribuzione degli alimenti, i tassi di mortalità sono diminuiti in tutto il mondo. L'aspettativa di vita media mondiale è attualmente di circa 53 anni [3] e continua a crescere. In media mondiale il guadagno attorno al ciclo di feedback positivo (fertilità) è diminuito solo di poco mentre il guadagno attorno al ciclo di feedback negativo (mortalità) sta diminuendo. Il risultato è un crescente predominio del ciclo di feedback positivo e il forte aumento esponenziale della popolazione raffigurato nella figura 5.

E la popolazione del futuro? Come potremmo estendere la curva della popolazione della figura 5 fino al ventunesimo secolo? Ne parleremo più approfonditamente nei capitoli III e IV. Per il momento possiamo tranquillamente concludere che, a causa dei ritardi nei cicli di feedback di controllo , in particolare il ciclo positivo delle nascite, non c'è possibilità di livellare la curva di crescita della popolazione

prima dell'anno 2000, anche con l'ipotesi più ottimistica di una fertilità in calo. La maggior parte dei futuri genitori dell'anno 2000 sono già nati. A meno che non ci sia un forte aumento della mortalità,

Figura 6 PRODUZIONE INDUSTRIALE MONDIALE



1930 1940 1950 1960 1970

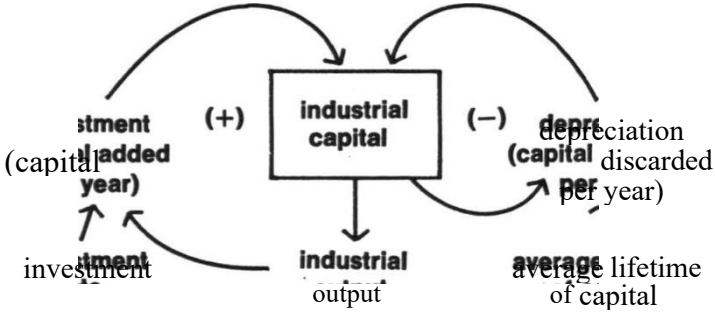
Anche la produzione industriale mondiale, rispetto all'anno base 1963, mostra un chiaro incremento esponenziale nonostante piccole fluttuazioni. Il tasso di crescita medio della produzione totale nel periodo 1963-68 è del 7 percento annuo. Il tasso di crescita pro capite è del 5 percento annuo.
FONTI: Dipartimento per gli affari economici e sociali delle Nazioni Unite, Annuario statistico 1956 e Annuario statistico 1969 (New York: Nazioni Unite, 1957 e 1970).

che l'umanità si impegnerà sicuramente a fondo per evitare, possiamo aspettarci una popolazione mondiale di circa 7 miliardi di persone in altri 30 anni. E se continuiamo a riuscire ad abbassare la mortalità senza ottenere risultati migliori nell'abbassare la fertilità rispetto a quanto abbiamo ottenuto in passato, in 60 anni ci saranno quattro persone nel mondo per ogni persona che vive oggi.

CRESCITA ECONOMICA MONDIALE

Una seconda quantità che è aumentata nel mondo anche più velocemente della popolazione umana è la produzione industriale. Figura 6 mostra l'espansione della produzione industriale mondiale dal 1930, con una produzione dell'1%3 come base di riferimento. Il tasso di crescita medio dal 1963 al 1968 è stato del 7 percento annuo, o del 5 percento annuo su base pro capite.

Qual è il ciclo di feedback positivo che spiega la crescita esponenziale della produzione industriale? La struttura dinamica, schematizzata di seguito, è in realtà molto simile a quella che abbiamo già descritto per il sistema della popolazione.



(capital

investment

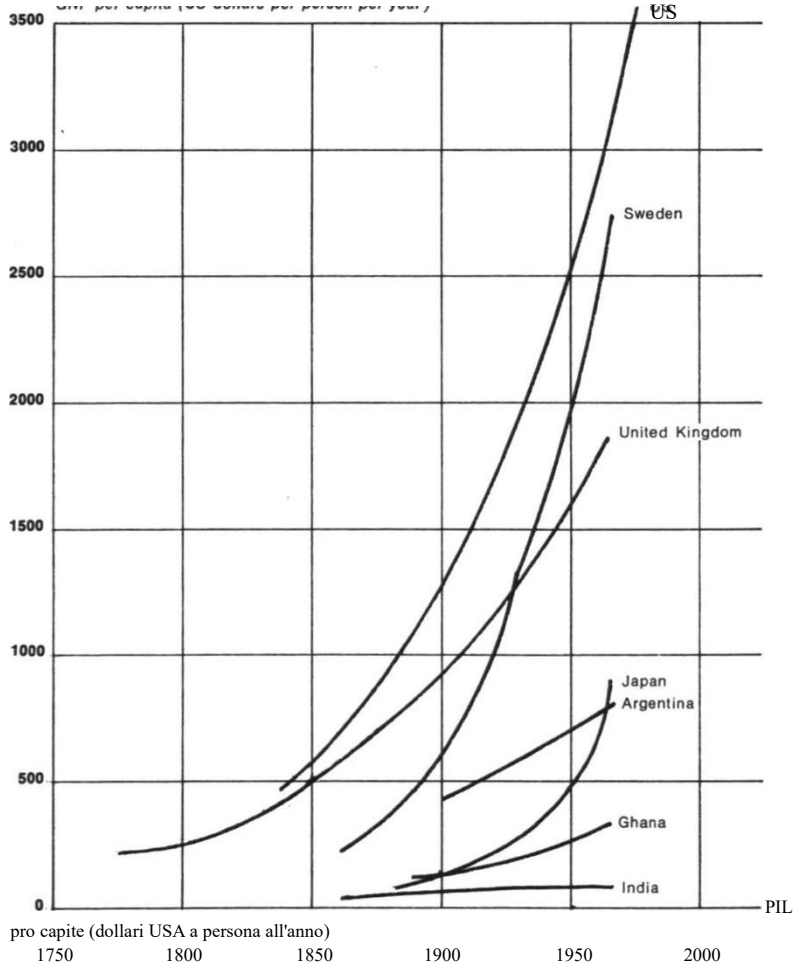
investimento

all'anno)

valutare

Con una data quantità di capitale industriale (fabbriche, camion, utensili, macchine, ecc.), è possibile una certa quantità di produzione manifatturiera ogni anno. La produzione effettivamente prodotta dipende anche da manodopera, materie prime e altri input. Per il momento assumeremo che questi altri input siano sufficienti, quindi il capitale è il fattore limitante nella produzione. (Il modello mondiale include questi altri input.) Gran parte della produzione di ogni anno è costituita da beni di consumo, come tessuti, automobili e case, che escono dal sistema industriale. Ma una parte della produzione è costituita da più capitale (telai, acciaierie, torni), che è un investimento per aumentare lo stock di capitale. Qui abbiamo un altro ciclo di feedback positivo. Più capitale crea più

Figura 7 TASSI DI CRESCITA ECONOMICA



La crescita economica delle singole nazioni indica che le differenze nei tassi di crescita esponenziale stanno ampliando il divario economico tra paesi ricchi e poveri.

FONTE: Simon Kuznets, Crescita economica delle nazioni (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1971).

output, una frazione variabile dell'output è investimento, e più investimento significa più capitale. Il nuovo, più grande stock di capitale genera ancora più output, e così via. Ci sono anche ritardi in questo ciclo di feedback, poiché la produzione di una parte importante del capitale industriale, come un impianto di generazione elettrica o una raffineria, può richiedere diversi anni.

Il capitale azionario non è permanente. Quando il capitale si esaurisce o diventa obsoleto, viene scartato. Per modellare questa situazione dobbiamo introdurre nel sistema del capitale un ciclo di feedback negativo che tenga conto del deprezzamento del capitale. Più capitale c'è, più si consuma in media ogni anno; e più si consuma, meno ce ne sarà l'anno successivo. Questo ciclo di feedback negativo è esattamente analogo al ciclo del tasso di mortalità nel sistema della popolazione. Come nel sistema della popolazione, il ciclo positivo è fortemente dominante nel mondo di oggi e il capitale azionario industriale mondiale sta crescendo in modo esponenziale.

Poiché la produzione industriale cresce al 7 percento annuo e la popolazione solo al 2 percento annuo, potrebbe sembrare che i cicli di feedback positivi dominanti siano motivo di gioia. Una semplice estrapolazione di quei tassi di crescita suggerirebbe che lo standard di vita materiale della popolazione mondiale raddoppierà nei prossimi 14 anni. Tale conclusione, tuttavia, spesso include l'implicita ipotesi che la crescente produzione industriale mondiale sia distribuita equamente tra i cittadini del mondo. La fallacia di questa ipotesi può essere apprezzata quando si esaminano i tassi di crescita economica pro capite di alcune singole nazioni (vedere figura 7).

La maggior parte della crescita industriale mondiale rappresentata nella figura 6 si verifica in realtà nei paesi già

industrializzati, dove il tasso di crescita della popolazione è relativamente basso.

Tabella 2 TASSI DI CRESCITA ECONOMICA E DELLA POPOLAZIONE

Paese	Popolazione (1968) (milioni)	Media annuale tasso di crescita della popolazione (1961-68) (% all'anno)	PIL per capita (1968) (dollari USA)	Media tasso di crescita annuale del PIL per capita (1961-68) (% all'anno)
Repubblica Popolare della Cina •	730	1.5	90	0,3
India	524	2.5	100	1.0
URSS •	238	1.3	1.100	5.8
Stati Uniti	201	1.4	3.980	3.4
Pakistan	123	2.6	100	3.1
Indonesia	113	2.4	100	0,8
Giappone	101	1.0	1.190	9.9
Brasile	88	3.0	250	1.6
Nigeria	63	2.4	70	—
Repubblica Federale della Germania	60	1.0	1.970	0,3 3.4

• La Banca Internazionale per la Ricostruzione e lo Sviluppo qualifica le sue stime per la Cina e l'URSS con la seguente affermazione: "Le stime del PIL pro capite e del suo tasso di crescita presentano un ampio margine di errore, principalmente a causa dei problemi nel ricavare il PIL al

costo dei fattori dal prodotto materiale netto e nel convertire la stima del PIL in dollari USA". Le stime delle Nazioni Unite sono generalmente in accordo con quelle della BIRS.

FONTE: Atlante della Banca Mondiale (Washington, DC : Banca Internazionale per la Ricostruzione e lo Sviluppo, 1970).

L'illustrazione più rivelatrice possibile di questo fatto è una semplice tabella che elenca i tassi di crescita economica e demografica delle dieci nazioni più popolose del mondo, dove attualmente vive il 64 percento della popolazione mondiale. La tabella 2 chiarisce molto bene la base del detto "I ricchi diventano più ricchi e i poveri fanno figli".

È improbabile che i tassi di crescita elencati nella tabella 2 rimangano invariati anche fino alla fine di questo secolo. Molti fattori cambieranno nei prossimi 30 anni. La fine dei disordini civili in Nigeria, ad esempio, probabilmente aumenterà il tasso di crescita economica lì, mentre l'inizio dei disordini civili e poi della guerra in Pakistan ha già interferito con la crescita economica lì. Riconosciamo, tuttavia, che i tassi di crescita elencati sopra sono il prodotto di un complicato sistema sociale ed economico che è essenzialmente stabile e che è probabile che cambi lentamente piuttosto che rapidamente, tranne nei casi di gravi disordini sociali.

È una semplice questione di aritmetica calcolare i valori estrapolati per il prodotto nazionale lordo (PNL) pro capite da ora fino all'anno 2000, partendo dal presupposto che i tassi di crescita relativi della popolazione e del PNL rimarranno più o meno gli stessi in questi dieci paesi. Il risultato di tale calcolo appare nella tabella 3. I valori lì mostrati non saranno quasi certamente realizzati. Non sono previsioni. I valori indicano semplicemente la direzione generale che il nostro sistema, così come è strutturato attualmente, ci sta portando. Dimostrano che il processo di

Repubblica Popolare Cinese	100
India	140

URSS	6.330
Stati Uniti	11.000
Pakistan	250
Indonesia	130
Giappone	23.200
Brasile	
Nigeria	60
Repubblica Federale di Germania	5.850

Tabella 3 PIL ESTRAPOLATO PER L'ANNO 2000

Paese	PIL pro capite (in dollari USA •)

• Basato sul dollaro del 1968 senza tener conto dell'inflazione.

La crescita economica, così come si sta verificando oggi, sta inesorabilmente ampliando il divario assoluto tra le nazioni ricche e quelle povere del mondo.

La maggior parte delle persone rifiuta intuitivamente e correttamente estrapolazioni come quelle mostrate nella tabella 3, perché i risultati sembrano ridicoli. Bisogna riconoscere, tuttavia, che rifiutando i valori estrapolati, si rifiuta anche l'ipotesi che non ci saranno cambiamenti nel sistema. Se le estrapolazioni nella tabella 3 non si avverano realmente, sarà perché l'equilibrio tra i cicli di feedback positivo e negativo che determinano i tassi di crescita della popolazione e del capitale in ogni nazione è stato alterato. Fertilità, mortalità, tasso di investimento di capitale, tasso di ammortamento del capitale, uno o tutti possono cambiare. Nel postulare qualsiasi risultato diverso da quello mostrato nella tabella 3, si deve specificare quale di questi fattori è probabile che cambi, di quanto e quando. Queste sono

esattamente le domande che stiamo affrontando con il nostro modello, non su base nazionale, ma su base globale aggregata.

Per speculare con un minimo di realismo sui futuri tassi di crescita della popolazione e del capitale industriale, dobbiamo sapere qualcosa in più sugli altri fattori del mondo che interagiscono con il sistema popolazione-capitale. Inizieremo ponendo una serie di domande molto basilari.

I tassi di crescita della popolazione e del capitale presentati nella tabella 3 possono essere sostenuti fisicamente nel mondo? Quante persone possono essere assistite su questa terra, a quale livello di ricchezza e per quanto tempo? Per rispondere a queste domande, dobbiamo esaminare in dettaglio quei sistemi nel mondo che forniscono il supporto fisico alla popolazione e alla crescita economica.

CAPITOLO 11

I LIMITI A ESPONENZIALE CRESCITA

Chi di voi, infatti, volendo costruire una torre, non si siede prima a calcolarne la spesa per vedere se ha i mezzi per portarla a termine?

LUCA 14:28

cosa sarà necessario per sostenere la crescita economica e demografica mondiale fino all'anno 2000, e forse anche oltre? L'elenco degli ingredienti necessari è lungo, ma può essere suddiviso grosso modo in due categorie principali.

La prima categoria comprende le necessità fisiche che supportano tutte le attività fisiologiche e industriali: cibo, materie prime, combustibili fossili e nucleari e i sistemi ecologici del pianeta che assorbono i rifiuti e riciclano importanti sostanze chimiche di base. Questi ingredienti sono in linea di principio elementi tangibili e conteggiabili, come la terra arabile, l'acqua dolce, i metalli, le foreste , gli oceani. In questo capitolo valuteremo le riserve mondiali di queste risorse fisiche, poiché sono i determinanti ultimi dei limiti alla crescita su questa terra.

La seconda categoria di ingredienti necessari per la crescita è costituita dalle necessità sociali. Anche se i sistemi fisici della Terra sono in grado di sostenere una popolazione molto più numerosa e più

sviluppata economicamente, la crescita effettiva dell'economia e della popolazione dipenderà da fattori quali la pace e la stabilità sociale, l'istruzione e l'occupazione e il costante progresso tecnologico. Questi fattori sono molto più difficili da valutare o prevedere. Né questo libro né il nostro modello mondiale in questa fase del suo sviluppo possono occuparsi esplicitamente di questi fattori sociali, se non nella misura in cui le nostre informazioni sulla quantità e la distribuzione delle forniture fisiche possono indicare possibili problemi sociali futuri.

Cibo, risorse e un ambiente sano sono condizioni necessarie ma non sufficienti per la crescita. Anche se sono abbondanti, la crescita può essere fermata da problemi sociali. Supponiamo per il momento, tuttavia, che prevarranno le migliori condizioni sociali possibili. Quanta crescita sosterrà allora il sistema fisico? La risposta che otterremo ci darà una stima dei limiti superiori della crescita della popolazione e del capitale, ma nessuna garanzia che la crescita effettivamente procederà fino a quel punto.

CIBO

In Zambia, in Africa, 260 bambini su mille nati muoiono prima del loro primo compleanno. In India e Pakistan il rapporto è di 140 su mille; in Colombia è di 82. Molti di più muoiono prima di raggiungere l'età scolare; altri durante i primi anni di scuola.

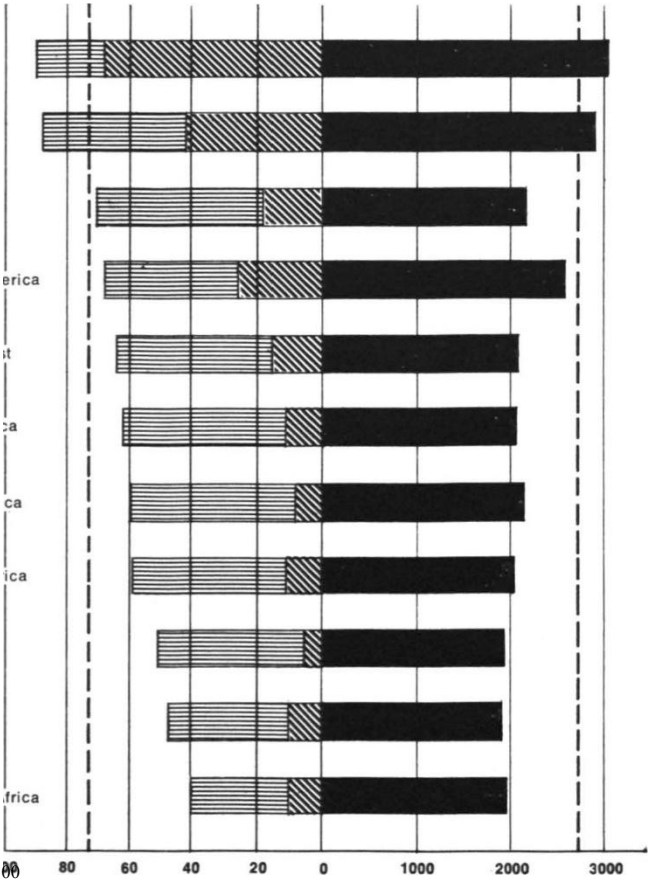
Nei paesi poveri, dove vengono rilasciati certificati di morte per bambini in età prescolare, la morte è generalmente attribuita a morbillo, polmonite, dissenteria o qualche altra malattia. In effetti, questi bambini hanno maggiori probabilità di essere vittime di malnutrizione.

Nessuno sa esattamente quante persone nel mondo siano nutrite in modo inadeguato oggi, ma c'è un consenso generale sul fatto che il numero sia elevato, forse dal 50 al 60 percento della popolazione dei paesi meno industrializzati, [5] il che significa un terzo della popolazione mondiale. Le stime della

A

Figura 8 ASSUNZIONE DI PROTEINE E CALORIE

proteine richieste calorie richieste.



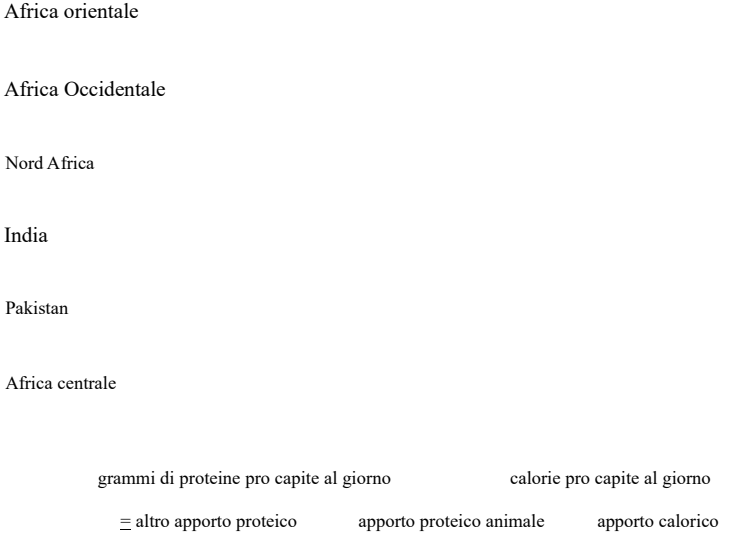
Nord America

Europa occidentale

Giappone

America Latina

Vicino Oriente



Il fabbisogno giornaliero di proteine e calorie non viene soddisfatto nella maggior parte delle aree del mondo. Le disuguaglianze di distribuzione esistono non solo tra le regioni, come mostrato qui, ma anche all'interno delle regioni. Secondo l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, le aree di maggiore carenza includono i "Paesi andini, le distese semi-aride dell'Africa e del Vicino Oriente e alcuni Paesi densamente popolati dell'Asia". Le linee che indicano le calorie e le proteine richieste sono quelle stimate per i nordamericani. Si è ipotizzato che se le diete in altre regioni fossero sufficienti a consentire alle persone di raggiungere il pieno peso corporeo potenziale, i requisiti sarebbero gli stessi ovunque.

FONTE: Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, Piano indicativo mondiale provvisorio per lo sviluppo agricolo (Roma: Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, 1970).

L'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) indica che nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo i requisiti calorici di base, e in particolare quelli proteici, non vengono soddisfatti (vedere figura 8). Inoltre, sebbene la produzione agricola mondiale totale sia in aumento, la produzione alimentare pro capite nei paesi non industrializzati si mantiene a malapena costante al suo attuale livello inadeguato (vedere figura 9). Queste statistiche

piuttosto tristi significano che i limiti della produzione alimentare sulla terra sono già stati raggiunti?

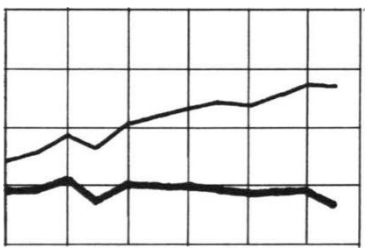
La risorsa primaria necessaria per produrre cibo è la terra. Studi recenti indicano che ci sono, al massimo, circa 3,2 miliardi di ettari di terra (7,86 miliardi di acri) potenzialmente adatti all'agricoltura sulla Terra. [6] Circa la metà di quella terra, la metà più ricca e accessibile, è oggi coltivata. La terra rimanente richiederà immensi apporti di capitale per essere raggiunta, ripulita, irrigata o fertilizzata prima che sia pronta per produrre cibo. I costi recenti per lo sviluppo di nuove terre sono variati da $ 215 a $ 5.275 per ettaro. Il costo medio per l'apertura di terreni in aree non abitate è stato di $ 1.150 per ettaro. [7] Secondo un rapporto della FAO, aprire più terreni alla coltivazione non è economicamente fattibile, anche data la pressante necessità di cibo nel mondo odierno:

Nell'Asia meridionale... in alcuni paesi dell'Asia orientale, nel Vicino Oriente e nel Nord Africa e in alcune parti dell'America Latina e dell'Africa... non c'è quasi nessuna possibilità di espandere la superficie coltivabile.

A

Figura 9 PRODUZIONE ALIMENTARE

indice medio regionale della produzione alimentare (1952 - 56 = 100)



Africa

140

120

100

80

1958 1960 1962 1964 1966 1968 1970

Estremo Oriente

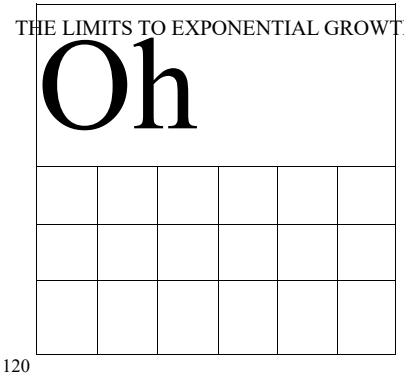
140

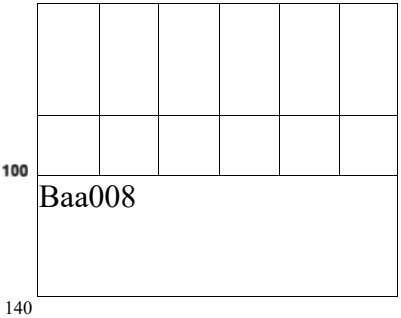
120

100 60 secondi fa

80

1958 1960 1962 1964 1966 1968 1970 Vicino Oriente





produzione alimentare totale produzione alimentare pro capite

La produzione alimentare totale nelle regioni non industrializzate del mondo è aumentata più o meno allo stesso ritmo della popolazione. Quindi la produzione alimentare pro capite è rimasta pressoché costante, a un livello basso.
FONTE: Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, The State of Food and Agriculture 1970 (Roma: Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, 1970).

. . . Nelle regioni più aride sarà addirittura necessario riportare a pascolo permanente i terreni marginali o submarginali per la coltivazione. Nella maggior parte dell'America Latina e dell'Africa a sud del Sahara ci sono ancora notevoli possibilità di espandere l'area coltivata, ma i costi di sviluppo sono elevati e sarà spesso più economico intensificare l'utilizzo delle aree già colonizzate. [8]

Se la popolazione mondiale decidesse di sostenere gli elevati costi di capitale, di coltivare tutta la terra arabile possibile e di produrre quanto

più cibo possibile, quante persone potrebbero teoricamente essere sfamate?

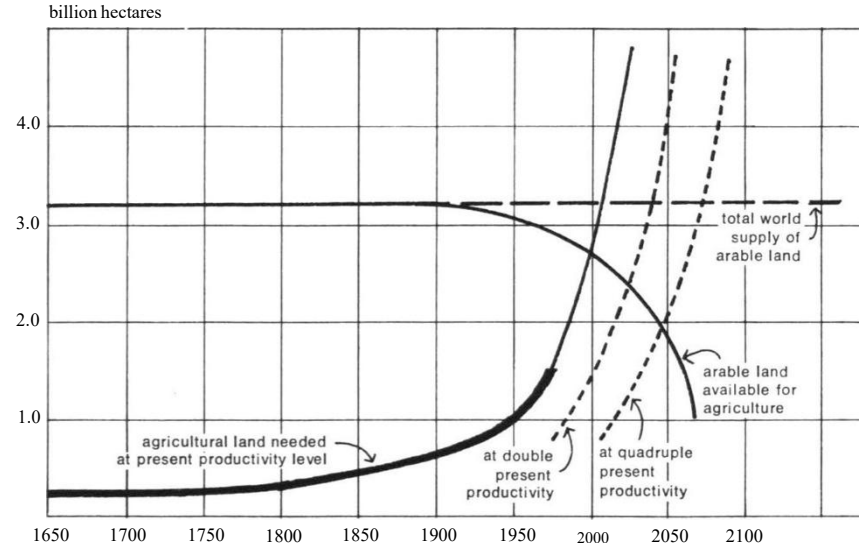


Figura 10 TERRENO ARABO

La fornitura mondiale totale di terra arabile è di circa 3,2 miliardi di ettari. Circa 0,4 ettari di terra arabile a persona sono necessari alla produttività attuale. La curva della terra necessaria riflette quindi la curva di crescita della popolazione. La linea leggera dopo il 1970 mostra la necessità prevista di terra, supponendo che la popolazione mondiale continui a crescere al suo tasso attuale. La terra arabile disponibile diminuisce perché la terra arabile viene rimossa per uso urbano-industriale man mano che la popolazione cresce. Le curve tratteggiate mostrano la terra necessaria se la produttività attuale viene raddoppiata o quadruplicata.

La curva inferiore nella figura 10 mostra la quantità di terra necessaria per sfamare la crescente popolazione mondiale, supponendo che l'attuale media mondiale di 0,4 ettari a persona sia sufficiente. (Per sfamare l'intera popolazione mondiale agli attuali standard degli Stati Uniti,

sarebbero necessari 0,9 ettari a persona.) La curva superiore nella figura 10 mostra la quantità effettiva di terra arabile disponibile nel tempo. Questa linea è inclinata verso il basso perché ogni persona in più richiede una certa quantità di terra (0,08 ettari a persona assunta qui *) per abitazioni, strade, smaltimento rifiuti, linee elettriche e altri usi che essenzialmente "asfaltano" i terreni arabili e li rendono inutilizzabili per la produzione alimentare. La perdita di terreni per erosione non è mostrata qui, ma non è affatto trascurabile. La figura 10 mostra che, anche con l'ipotesi ottimistica che tutti i terreni possibili siano utilizzati, ci sarà comunque una disperata carenza di terreni prima dell'anno 2000 se i requisiti di terreni pro capite e i tassi di crescita della popolazione rimarranno come sono oggi.

La figura 10 illustra anche alcuni fatti generali molto importanti sulla crescita esponenziale in uno spazio limitato. Innanzitutto, mostra come si possa passare in pochissimi anni da una situazione di grande abbondanza a una di grande scarsità. C'è stato un eccesso schiacciante di terra potenzialmente arabile per tutta la storia e ora, entro 30 anni (o circa il tempo di un raddoppio della popolazione), potrebbe esserci una carenza improvvisa e grave. Come il proprietario dello stagno delle ninfee nel nostro esempio nel capitolo I, la razza umana potrebbe avere pochissimo tempo per reagire a una crisi derivante dalla crescita esponenziale in uno spazio finito.

Una seconda lezione da imparare dalla figura 10 è che le ipotesi numeriche precise sui limiti della terra sono irrilevanti se considerate rispetto all'inesorabile progresso della crescita esponenziale. Potremmo supporre, ad esempio, che nessuna terra arabile venga presa per città, strade o altri usi non agricoli. In quel caso, la terra disponibile è costante, come mostrato dalla linea tratteggiata orizzontale. Il punto in cui le due curve si incrociano è ritardato di circa 10 anni. Oppure possiamo supporre che sia possibile raddoppiare, o persino quadruplicare, la produttività della terra attraverso progressi nella tecnologia agricola e nell'in-

I rilievi aerei di quarantaquattro contee negli Stati Uniti occidentali dal 1950 al 1960 indicano che la superficie terrestre variava da 0,008 a 0,174 ettari a persona.[9]

investimenti in capitale, come trattori, fertilizzanti e sistemi di irrigazione. Gli effetti di due diverse ipotesi sull'aumento della produttività sono mostrati dalle linee tratteggiate nella figura 10. Ogni raddoppio della produttività guadagna circa 30 anni, o meno di un tempo di raddoppio della popolazione.

Naturalmente, la società non sarà improvvisamente sorpresa dal "punto di crisi" in cui la quantità di terra necessaria diventa maggiore di quella disponibile. I sintomi della crisi inizieranno ad apparire molto prima che il punto di crisi venga raggiunto. I prezzi dei prodotti alimentari saliranno così tanto che alcune persone moriranno di fame; altri saranno costretti a ridurre la quantità effettiva di terra che usano e a passare a diete di qualità inferiore. Questi sintomi sono già evidenti in molte parti del mondo. Sebbene solo metà della terra mostrata nella figura 10 sia ora coltivata, forse da 10 a 20 milioni di morti ogni anno possono essere attribuiti direttamente o indirettamente alla malnutrizione.10

Non c'è dubbio che molte di queste morti siano dovute alle limitazioni sociali del mondo piuttosto che a quelle fisiche . Eppure c'è chiaramente un collegamento tra questi due tipi di limitazioni nel sistema di produzione alimentare. Se la buona terra fertile fosse ancora facilmente raggiungibile e coltivata, non ci sarebbero barriere economiche per nutrire gli affamati e nessuna difficile scelta sociale da fare. La metà migliore della terra potenzialmente arabile del mondo è già coltivata, tuttavia, e aprire nuove terre è già così costoso che la società lo ha giudicato "antieconomico". Questo è un problema sociale esacerbato da una limitazione fisica .

Anche se la società decidesse di pagare i costi necessari per ottenere nuova terra o per aumentare la produttività della terra già coltivata, la figura 10 mostra quanto rapidamente l'aumento della popolazione porterebbe a un altro "punto di crisi". E ogni successivo punto di crisi costerà di più da superare. Ogni raddoppio della resa

dalla terra sarà più costoso dell'ultimo. Potremmo chiamare questo fenomeno la legge dei costi crescenti. L'esempio migliore e più serio di quella legge deriva da una valutazione del costo dei guadagni agricoli passati. Per ottenere un aumento del 34 percento nella produzione alimentare mondiale dal 1951 al 1966, gli agricoltori hanno aumentato le spese annuali per i trattori del 63 percento, gli investimenti annuali in fertilizzanti azotati del 146 percento e l'uso annuale di pesticidi del 300 percento. [11] Il successivo aumento del 34 percento richiederà input ancora maggiori di capitale e risorse.

Quante persone possono essere sfamate su questa terra? Non esiste, ovviamente, una risposta semplice a questa domanda. La risposta dipende dalle scelte che la società fa tra le varie alternative disponibili. Esiste uno scambio diretto tra la produzione di più cibo e la produzione di altri beni e servizi necessari o desiderati dall'umanità. La domanda di questi altri beni e servizi aumenta anche con la crescita della popolazione , e quindi lo scambio diventa sempre più evidente e più difficile da risolvere. Anche se la scelta fosse costantemente quella di produrre cibo come prima priorità, tuttavia, la continua crescita della popolazione e la legge dei costi crescenti potrebbero rapidamente spingere il sistema al punto in cui tutte le risorse disponibili fossero dedicate alla produzione di cibo, senza lasciare ulteriori possibilità di espansione.

In questa sezione abbiamo discusso solo un possibile limite alla produzione alimentare: la terra arabile. Ci sono altri possibili limiti, ma lo spazio non ci consente di discuterne in dettaglio qui. Il più ovvio, secondo per importanza solo alla terra, è la disponibilità di acqua dolce. C'è un limite massimo al deflusso di acqua dolce dalle aree terrestri della Terra ogni anno, e c'è anche una domanda esponenzialmente crescente di quell'acqua. Potremmo disegnare un grafico esattamente analogo alla figura 10 per mostrare l'avvicinamento della curva di domanda crescente di acqua alla fornitura media costante. In alcune aree del mondo, questo limite verrà raggiunto molto prima che il limite della terra diventi evidente.

È anche possibile evitare o estendere questi limiti tramite progressi tecnologici che rimuovono la dipendenza dalla terra (cibo sintetico)

o che creano nuove fonti di acqua dolce (desalinizzazione dell'acqua di mare). Discuteremo di tali innovazioni più avanti nel capitolo IV. Per il momento è sufficiente riconoscere che nessuna nuova tecnologia è spontanea o senza costi. Le fabbriche e le materie prime per produrre cibo sintetico, le attrezzature e l'energia per purificare l'acqua di mare devono tutte provenire dal sistema fisico del mondo.

La crescita esponenziale della domanda di cibo deriva direttamente dal ciclo di feedback positivo che sta ora determinando la crescita della popolazione umana. La fornitura di cibo prevista in futuro dipende dalla terra e dall'acqua dolce e anche dal capitale agricolo, che a sua volta dipende dall'altro ciclo di feedback positivo dominante nel sistema: il ciclo di investimento di capitale. L'apertura di nuove terre, l'agricoltura del mare o l'espansione dell'uso di fertilizzanti e pesticidi richiederanno un aumento dello stock di capitale dedicato alla produzione alimentare. Le risorse che consentono la crescita di tale stock di capitale tendono a non essere risorse rinnovabili, come la terra o l'acqua, ma risorse non rinnovabili, come combustibili o metalli. Quindi l'espansione della produzione alimentare in futuro dipenderà molto dalla disponibilità di risorse non rinnovabili. Ci sono limiti alla fornitura di queste risorse della Terra?

RISORSE NON RINNOVABILI

Anche tenendo conto di fattori economici come l'aumento dei prezzi con la diminuzione della disponibilità, sembrerebbe al momento che le quantità di platino, oro, zinco e piombo non siano sufficienti a soddisfare la domanda. Al tasso di espansione attuale... l'argento, lo stagno e l'uranio potrebbero scarseggiare anche a prezzi più alti entro la fine del secolo. Entro il 2050, molti altri minerali potrebbero esaurirsi se l'attuale tasso di consumo continua.

Nonostante le spettacolari scoperte recenti, sono rimasti solo pochi posti in cui cercare la maggior parte dei minerali. I geologi non sono d'accordo sulle prospettive di trovare grandi, nuovi e ricchi giacimenti di minerali. Affidarsi a tali scoperte sembrerebbe poco saggio a lungo termine. [12]

La Tabella 4 elenca alcune delle risorse minerali e di combustibile più importanti, le materie prime vitali per i principali processi

industriali odierni. Il numero che segue ogni risorsa nella colonna 3 è l'indice di riserva statica, ovvero il numero di anni in cui le riserve note di quella risorsa (elencate nella colonna 2) dureranno al tasso di utilizzo corrente. Questo indice statico è la misura normalmente utilizzata per esprimere la futura disponibilità delle risorse. Alla base dell'indice statico ci sono diverse ipotesi, una delle quali è che il tasso di utilizzo rimarrà costante.

Ma la colonna 4 della tabella 4 mostra che il tasso di utilizzo mondiale di ogni risorsa naturale sta crescendo in modo esponenziale. Per molte risorse il tasso di utilizzo sta crescendo persino più velocemente della popolazione, indicando sia che più persone stanno consumando risorse ogni anno sia che il consumo medio pro capite sta aumentando ogni anno. In altre parole, la curva di crescita esponenziale del consumo di risorse è guidata sia dai cicli di feedback positivi della crescita della popolazione che della crescita del capitale.

Abbiamo già visto nella figura 10 che un aumento esponenziale nell'uso del suolo può scontrarsi molto rapidamente con la quantità fissa di terra disponibile. Un aumento esponenziale nel consumo di risorse può rapidamente diminuire una riserva fissa di risorse nello stesso modo. La figura 11, che è simile alla figura 10, illustra la

Tabella 4 RISORSE NATURALI NON RINNOVABILI

1	2	3	4		5	6
Risorsa	Conosciuto Globale Riserva [un]	Statico Inferiore (anni) [b]	Tasso di crescita previsto (% all'anno) e Alto	Off . Basso	Esponente dell'indice tial	Indice esponenziale Calcolato Utilizzo 5 volte (anni) [d] Conosciuto Riserve (anni) [c]
Tonnellate di alluminio	100	7,7	6,4	5,1	31	55 1.17
Cromo	7,75 x 10 [8] tonnellate	420	3.3	2.6	2.0	95 154

	5X 10 [12] tonnellate	2300	5.3	4.1	3.0	111	150
Cobalto libbre 110 2.0 1.5 1.0 60 148.8×10							
Rame	308 X 10 [6] tonnellate	36	5.8	4.6	3.4	21	48
Oro	353 X 10 [6] once troy	11	4.8	4.1	3.4	9	29
Ferro	IX 10 [11] tonnellate	240	2.3	1.8	1.3	93	173
Guida	91 X 10 [6] tonnellate	26	2.4	2.0	1.7	21	64
Manganese	8X 10 [8] tonnellate	97	3.5	2.9	2.4	46	94
Mercurio	3,34 X 10 [6] fiaschi	13	3.1	2.6	22	13	41

7	8	9	10
Paesi o aree con le più alte riserve (% del totale mondiale) [f]	Produttori principali (% del totale mondiale) [g]	Confederazione USA Consumo dei consumatori principali (% del totale mondiale)	b come % di Mondo Totale
L'Australia (33) Guinea (20)	Giamaica (19)	Stati Uniti (42)	
Giamaica (10) Suriname (12)	URSS (12)	42	

Rep. del Sud Africa (75) URSS (30) Turchia (10)					19
Stati Uniti (32) URSSCina (53)	URSS (20) USA (13)				44
Repubblica del Congo (31) Zambia (16)	Repubblica del Congo (51)				32
Stati Uniti (28) Cile (19)	Stati Uniti (20) URSS (15) Zambia (13)	Stati Uniti (33) USSR (13) Japan (Il)			33
Rappresentante del Sud Africa (40)	Rep. del Sud Africa (77) Canada (6)				26
URSS (33) S. Sono (18) Canada (14)	URSS (25) USA (14)	Stati Uniti (28) URSS (24) Germania Occidentale (7)			28
Stati Uniti (39)	URSS (13) L'Australia (13) Il Canada (11)	Stati Uniti (25) URSS (13) Germania Occidentale (11)			25
Rep. del Sud Africa (38) URSS (25)	URSS (34) Brasile (13) Rappresentante del Sud Africa (13)				14
Spagna (30) Italia (21)	Spagna (22) Italia (21) URSS (18)				24
1	2	3	4	5	6
Risorsa	Conosciuto Globale Riserva [un]	Statico Indice (anni) [b]	Tasso di crescita previsto (% all'anno) e Alto Off . Basso	Esponente dell'indice tial	Utilizzo Indice esponenziale Calcolato 5 volte (anni) [d] Conosciuto Riserve

								(anni)
Molibdeno	10,8 X 10 ^{9} libbre	79	5.0	4.5	4.0	34	65	
Gas naturale piedi cubi	1,14 X 10 ^{15}	38	5,5	4,7	3,9	22	49	
Nichel	libbre	150	4.0	3.4	2.8	53	96	47×10^{9}
Petrolio	455 x 10 ^{9} barili	31	4.9	3.9	2.9	20	50	
Platino Gruppo	429 X 10 ^{6} once troy	130	4.5	3.8	3.1	47	85	
Argento	5,5 X 10 ^{9} once troy	16	4.0	2.7	1.5	13	42	
Credere	4,3 X 10 ^{6} tonnellate	17	2.3	1.1	0	15	61	
Tungsteno	libbre	40	2,9	2,5	2,1	28	72	2.9×10^{9}
Zinco	123 x 10 ^{6} tonnellate	23	3,3	2,9	2,5	18	50	

Paesi o aree con le riserve più elevate (% del totale mondiale) [f]	Produttori principali (% del totale mondiale) [g]	Consumatori principali (% del totale mondiale)	Consumo degli Stati Uniti in % Mondo
Stati Uniti (58) URSS (20)	Stati Uniti (64) Canada (14)		40
Stati Uniti (25) URSS (13)	Stati Uniti (58) URSS (18)		63
Cuba (25) Nuova Caledonia (22) URSS (14) Canada (14)	Canada (42) Nuova Caledonia (28) URSS (16)		38
Arabia Saudita (17) Kuwait (15)	Stati Uniti (23) URSS (16)	Stati Uniti (33) URSS (12) Giappone (6)	33
Rep. del Sud Africa (47) URSS (47)	URSS (59)		31
comunista Paesi (36) Stati Uniti (24)	Canada (20) Messico (17) Perù (16)	Stati Uniti (26) Germania Occidentale (11)	26
Thailandia (33) Malesia (14)	Malesia (41) Bolivia (16) Thailandia (13)	Stati Uniti (24) Giappone (14)	24
Cina (73)	Cina (25) URSS (19) USA (14)		22

Stati Uniti (27)	Canada (23)	Stati Uniti (26)	
Canada (20)	URSS (11)	Giappone (13)	26
	Stati Uniti (8)	URSS (11)	

• FONTE: US Bureau of Mines, Mineral Facts and Problems, 1970 (Washington, DC: Government Printing Offce, 1970).

Numero di anni in cui dureranno le riserve globali note al consumo globale attuale. Calcolato dividendo le riserve note (colonna 2) per il consumo annuale attuale (US Bureau of Mines, Mineral Facts and Problems, 1970).

[e] FONTE: US Bureau of Mines, Mineral Facts and Problems, 1970.

Numero di anni in cui dureranno le riserve globali note con un consumo che cresce esponenzialmente al tasso di crescita annuale medio. Calcolato dalla formula indice esponenziale = $\frac{\ln((r \cdot s) + 1)}{r}$ dove r = tasso di crescita medio dalla colonna 4 s = indice statico dalla colonna 3.

[e] Il numero di anni in cui dureranno cinque volte le riserve globali note con un consumo in crescita esponenziale al tasso medio annuo di crescita. Calcolato dalla formula precedente con 5s al posto di s.

FONTE : US Bureau of Mines, Mineral Facts and Problems, 1970.

[g] FONTE: Dipartimento per gli Affari Economici e Sociali delle Nazioni Unite, Statistical Yearbook 1969 (New York: Nazioni Unite, 1970).

FONTI: Annuario dell'American Bureau of Metal Statistics 1970 (York, Pa.:
(Edizioni Einaudi, 1970).

World Petroleum Report (New York: Mona Palmer Publishing, 1968). Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite, Il mercato mondiale del minerale di ferro (New York: Nazioni Unite, 1968).

Ufficio delle miniere degli Stati Uniti, Fatti e problemi minerari, 1970.

FONTE: US Bureau of Mines, Mineral Facts aa Problems, 1970.

Bauxite espressa in alluminio equivalente.

[k]
Previsioni di emergenza dell'US Bureau of Mines, basate sull'ipotesi che il carbone verrà utilizzato per sintetizzare gas e combustibili liquidi.

Include le stime dell'US Bureau of Mines sulla domanda di oro da accumulare.

[m] I metalli del gruppo del platino sono platino, palladio, iridio, osmio, rodio e rutenio.

FONTI AGGIUNTIVE:

PT Flawn, Risorse minerarie (Skokie, Ill.: Rand McNally, 1966).

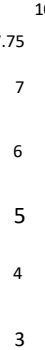
Statistiche sui metalli (Somerset, NJ: American Metal Market Company, 1970). US Bureau of Mines, Commodity Data Summary (Washington, DC: Government Printing Ofice, gennaio 1971).

rappresenta l'effetto dell'aumento esponenziale del consumo di una data quantità iniziale di una risorsa non rinnovabile. L'esempio in questo caso è il minerale di cromo, scelto perché ha uno degli indici di riserva statica più lunghi di tutte le risorse elencate nella tabella 4. Potremmo disegnare

un grafico simile per ciascuna delle risorse elencate nella tabella. Le scale temporali per le risorse varierebbero, ma la forma generale delle curve sarebbe la stessa.

Le riserve mondiali note di cromo ammontano a circa 775 milioni di tonnellate metriche, di cui circa 1,85 milioni di tonnellate metriche vengono estratte annualmente al momento. [13] Pertanto, al tasso di utilizzo attuale, le riserve note dureranno circa 420 anni. La linea tratteggiata nella figura 11 illustra l'esaurimento lineare delle riserve di cromo che ci si aspetterebbe nell'ipotesi di un utilizzo costante. Il consumo mondiale effettivo di cromo sta tuttavia aumentando al tasso del 2,6 percento annuo. [13] Le linee continue curve nella figura 11 mostrano come tale tasso di crescita, se continua, esaurirà lo stock di risorse, non in 420 anni, come indica l'ipotesi lineare, ma in soli 95 anni. Se supponiamo che le riserve ancora da scoprire possano aumentare le attuali riserve note di un fattore di cinque, come mostrato dalla linea tratteggiata, questo aumento di cinque volte estenderebbe la durata delle riserve solo da 95 a 154 anni. Anche se fosse possibile riciclare il 100 percento del cromo (linea orizzontale) a partire dal 1970, senza perdere nessuna delle riserve iniziali, la domanda supererebbe l'offerta in 235 anni.

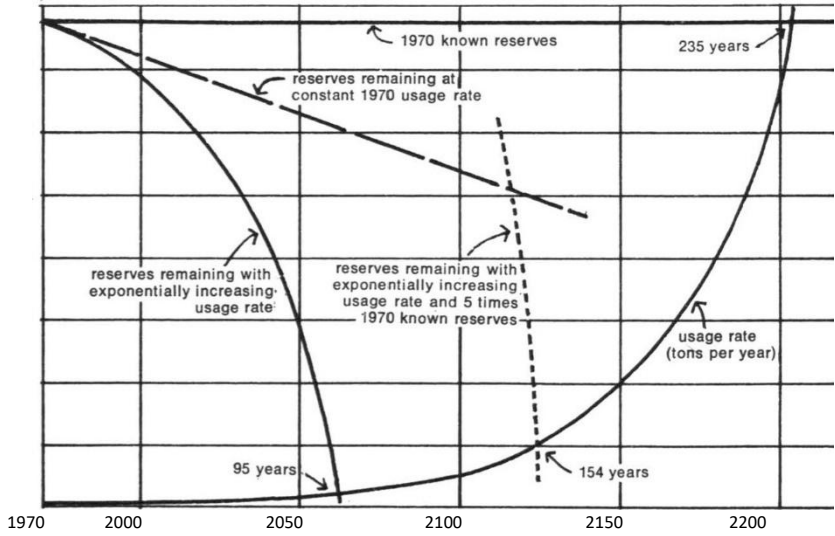
La Figura 11 mostra che in condizioni di crescita esponenziale nel consumo di risorse, l'indice di riserva statica (420 anni per il cromo) è una misura piuttosto fuorviante della disponibilità di risorse. Potremmo definire un nuovo indice, un "indice di riserva esponenziale", che fornisce la probabile durata di vita di ciascuna risorsa, supponendo che l'attuale tasso di crescita nel consumo Figura 11 RISERVE DI CROMO



2

1

IL



La durata delle riserve note di cromo dipende dal futuro tasso di utilizzo del cromo. Se l'utilizzo rimane costante, le riserve si esauriranno linearmente (linea tratteggiata) e dureranno 420 anni. Se l'utilizzo aumenta esponenzialmente al suo attuale tasso di crescita del 2,6 percento all'anno, le riserve si esauriranno in soli 95 anni. Se le riserve effettive sono cinque volte le attuali riserve provate, il minerale di cromo sarà disponibile per 154 anni (linea tratteggiata), ipotizzando una crescita esponenziale nell'utilizzo. Anche se tutto il cromo fosse perfettamente riciclato, a partire dal 1970, la domanda in crescita esponenziale supererà l'offerta dopo 235 anni (linea orizzontale).

continua. Abbiamo incluso questo indice nella colonna 5 della tabella 4. Abbiamo anche calcolato un indice esponenziale partendo dal presupposto che le nostre attuali riserve note di ogni risorsa possano essere ampliate di cinque volte da nuove scoperte. Questo indice è

mostrato nella colonna 6. L'effetto della crescita esponenziale è quello di ridurre il probabile periodo di disponibilità dell'alluminio, ad esempio, da 100 anni a 31 anni (55 anni con un aumento di cinque volte delle riserve). Il rame, con una durata di 36 anni al tasso di utilizzo attuale, durerebbe in realtà solo 21 anni al tasso di crescita attuale e 48 anni se le riserve vengono moltiplicate per cinque. È chiaro che gli attuali tassi di utilizzo in crescita esponenziale riducono notevolmente la durata del periodo in cui la crescita economica su larga scala può basarsi su queste materie prime.

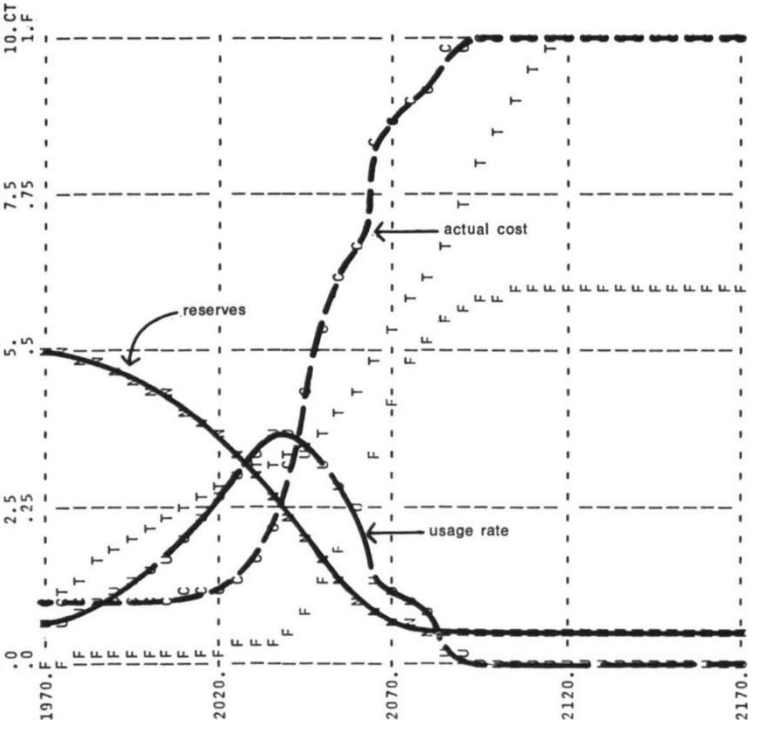
Naturalmente la reale disponibilità di risorse non rinnovabili nei prossimi decenni sarà determinata da fattori molto più complicati di quanto possa essere espresso dal semplice indice di riserva statica o dall'indice di riserva esponenziale. Abbiamo studiato questo problema con un modello dettagliato che tiene conto delle numerose interrelazioni tra fattori quali diversi gradi di minerale, costi di produzione, nuove tecnologie minerarie, elasticità della domanda dei consumatori e sostituzione di altre risorse.* Seguono illustrazioni delle conclusioni generali di questo modello.

La figura 12 è un grafico al computer che indica la futura disponibilità di una risorsa con un indice di riserva statica di 400 anni nell'anno 1970, come il cromo. L'asse orizzontale è il tempo in anni; l'asse verticale indica diverse quantità, tra cui la quantità di riserve rimanenti (etichettate RISERVE), la quantità utilizzata ogni anno (TASSO DI UTILIZZO), il costo di estrazione per unità di risorsa (COSTO ATTUALE), l'avanzamento della tecnologia di estrazione e lavorazione (indicato da una T) e la frazione dell'uso originale della risorsa che è stata spostata su una risorsa sostitutiva (F).

Inizialmente il consumo annuale di cromo cresce esponenzialmente e le scorte della risorsa si esauriscono rapidamente. Il prezzo del cromo rimane basso e costante perché i nuovi sviluppi nella tecnologia mineraria consentono un uso efficiente di _____

- Una descrizione più completa di questo modello è presentata negli articoli di William W. Behrens III elencati in appendice.A

Figura 12 DISPONIBILITÀ DEL CROMO

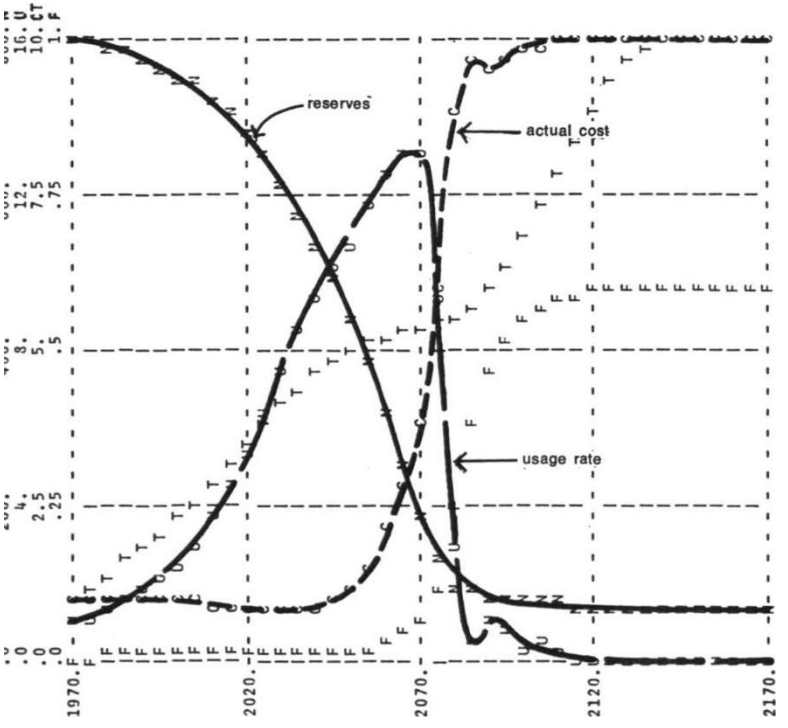


Questa figura presenta un calcolo computerizzato dei fattori economici nella disponibilità di una risorsa (cromo) con un indice di riserva statica di 400 anni. La crescita esponenziale del consumo viene infine fermata dall'aumento dei costi man mano che le riserve iniziali si esauriscono, anche se la tecnologia di estrazione e lavorazione sta anch'essa aumentando esponenzialmente. Il tasso di utilizzo scende a zero dopo 125 anni, momento in cui il 60 percento degli utilizzi originali è stato sostituito da un'altra risorsa.

FONTE: William W. Behrens III, "The Dynamics of Natural Resource Utilization". Articolo presentato alla Computer Simulation Conference del 1971, Boston, Massachusetts, luglio 1971.

e gradi inferiori di minerale. Tuttavia, poiché la domanda continua ad aumentare, l'avanzamento della tecnologia non è abbastanza rapido da contrastare i crescenti costi di scoperta, estrazione, lavorazione,

Figura 13 DISPONIBILITÀ DEL CROMO CON RADDOPPIA LE RISERVE CONOSCIUTE



Se una scoperta nel 1970 raddoppia le riserve note della risorsa (indice di riserva statico 800 anni), la crescita esponenziale del tasso di utilizzo si prolunga e il tasso di utilizzo raggiunge un valore elevato. Tuttavia, le riserve si esauriscono molto rapidamente durante il picco del tasso di utilizzo. A causa di questo rapido esaurimento, l'effetto del raddoppio delle riserve non è quello di raddoppiare la durata della risorsa, ma semplicemente di estenderla da 125 a 145 anni.

FONTE: William W. Behrens, Ill, "The Dynamics of Natural Resource Utilization." e distribuzione. Il prezzo inizia a salire, lentamente all'inizio

e poi molto rapidamente. Il prezzo più alto spinge i consumatori a usare il cromo in modo più efficiente e a sostituirlo con altri metalli ogni volta che è possibile. Dopo 125 anni, il cromo rimanente, circa il 5 percento della fornitura originale, è disponibile solo a un costo proibitivo e l'estrazione di nuove forniture è scesa sostanzialmente a zero.

Questa ipotesi dinamica più realistica sull'uso futuro del cromo produce una probabile durata di vita di 125 anni, che è considerevolmente più breve della durata calcolata dall'ipotesi statica (400 anni), ma più lunga della durata calcolata dall'ipotesi di crescita esponenziale costante (95 anni). Il tasso di utilizzo nel modello dinamico non è né costante né in continuo aumento, ma a forma di campana, con una fase di crescita e una fase di declino.

L'esecuzione al computer mostrata nella figura 13 illustra l'effetto di una scoperta del 1970 che raddoppia le riserve di cromo note rimanenti. L'indice di riserva statica nel 1970 diventa 800 anni invece di 400. Come risultato di questa scoperta, i costi rimangono bassi un po' più a lungo, così che la crescita esponenziale può continuare più a lungo di quanto non sia successo nella figura 12. Il periodo durante il quale l'uso della risorsa è economicamente fattibile aumenta da 125 anni a 145 anni. In altre parole, un raddoppio delle riserve aumenta il periodo effettivo di utilizzo di soli 20 anni.

La crosta terrestre contiene grandi quantità di quelle materie prime che l'uomo ha imparato a estrarre e trasformare in cose utili. Per quanto grandi possano essere queste quantità, non sono infinite. Ora che abbiamo visto come all'improvviso una quantità in crescita esponenziale si avvicina a un limite superiore fisso, la seguente affermazione non dovrebbe sorprendere. Dati gli attuali tassi di consumo delle risorse e l'aumento previsto di questi tassi, la grande maggioranza delle risorse non rinnovabili attualmente importanti sarà estremamente costosa tra 100 anni. L'affermazione di cui sopra rimane vera indipendentemente dalle ipotesi più ottimistiche su riserve non scoperte, progressi tecnologici, sostituzione o riciclaggio, finché la domanda di risorse continua a crescere in modo esponenziale. I prezzi di quelle risorse con gli indici di riserva statici più brevi hanno già iniziato ad aumentare. Il prezzo del mercurio, ad esempio, è aumentato del 500 percento negli ultimi 20 anni; il prezzo

del piombo è aumentato del 300 percento negli ultimi 30 anni. [14] Le semplici conclusioni che abbiamo tratto considerando le riserve mondiali totali di risorse sono ulteriormente complicate dal fatto che né le riserve di risorse né il consumo di risorse sono distribuiti uniformemente sul globo. Le ultime quattro colonne della tabella 4 mostrano chiaramente che i paesi industrializzati e consumatori dipendono fortemente da una rete di accordi internazionali con i paesi produttori per la fornitura di materie prime essenziali per la loro base industriale. Alla difficile questione economica del destino di varie industrie, poiché una risorsa dopo l'altra diventa proibitivamente costosa, si aggiunge l'imponderabile questione politica delle relazioni tra nazioni produttrici e consumatrici, poiché le risorse rimanenti si concentrano in aree geografiche più limitate. La recente nazionalizzazione delle miniere sudamericane e le pressioni di successo in Medio Oriente per aumentare i prezzi del petrolio suggeriscono che la questione politica potrebbe sorgere molto prima di quella economica definitiva.

Ci sono risorse sufficienti per consentire lo sviluppo economico dei 7 miliardi di persone previste entro l'anno 2000 a uno standard di vita ragionevolmente elevato? Ancora una volta la risposta deve essere condizionata. Dipende da come le principali società consumatrici di risorse gestiranno alcune importanti decisioni future. Potrebbero continuare ad aumentare il consumo di risorse secondo l'attuale schema. Potrebbero imparare a recuperare e riciclare materiali scartati. Potrebbero sviluppare nuovi design per aumentare la durata dei prodotti realizzati con materiali scarsi.
risorse. Potrebbero•incoraggiare modelli sociali ed economici che soddisferebbero i bisogni di una persona riducendo al minimo, anziché massimizzare, le sostanze insostituibili che possiede e disperde.

Tutti questi possibili percorsi comportano dei compromessi. I compromessi sono particolarmente difficili in questo caso perché implicano la scelta tra benefici presenti e benefici futuri. Per garantire la disponibilità di risorse adeguate in futuro, devono essere adottate politiche che ridurranno l'uso delle risorse nel presente. La maggior parte di queste politiche opera aumentando i costi delle risorse. Il riciclaggio e una migliore progettazione dei prodotti sono costosi; nella maggior parte delle

parti del mondo oggi sono considerati "antieconomici". Anche se fossero stati istituiti in modo efficace, tuttavia, finché i cicli di feedback trainanti della popolazione e della crescita industriale continueranno a generare più persone e una maggiore domanda di risorse pro capite, il sistema verrà spinto verso il suo limite: l'esaurimento delle risorse non rinnovabili della Terra.

Cosa succede ai metalli e ai combustibili estratti dalla terra dopo che sono stati usati e scartati? In un certo senso non vanno mai perduti. I loro atomi costituenti vengono riorganizzati e alla fine dispersi in una forma diluita e inutilizzabile nell'aria, nel suolo e nelle acque del nostro pianeta. I sistemi ecologici naturali possono assorbire molti dei rifiuti dell'attività umana e rielaborarli in sostanze utilizzabili o almeno innocue per altre forme di vita. Tuttavia, quando un qualsiasi effluente viene rilasciato su una scala sufficientemente ampia, i meccanismi di assorbimento naturali possono saturarsi. I rifiuti della civiltà umana possono accumularsi nell'ambiente fino a diventare visibili, fastidiosi e persino dannosi. Mercurio nei pesci oceanici, particelle di piombo nell'aria cittadina, montagne di rifiuti urbani, chiazze di petrolio sulle spiagge: questi sono i risultati del crescente flusso di
risorse dentro e fuori dalle mani dell'uomo. Non c'è da stupirsi, quindi, che un'altra quantità in aumento esponenziale nel sistema mondiale sia l'inquinamento.

INQUINAMENTO

Molte persone... stanno concludendo sulla base di prove crescenti e ragionevolmente oggettive che la durata della vita della biosfera come regione abitabile per gli organismi deve essere misurata in decenni piuttosto che in centinaia di milioni di anni. Questa è interamente colpa della nostra specie.15

La preoccupazione dell'uomo per l'effetto delle sue attività sull'ambiente naturale è solo molto recente. I tentativi scientifici di misurare questo effetto sono ancora più recenti e ancora molto incompleti. Non siamo certamente in grado, in questo momento, di giungere a una conclusione definitiva sulla capacità della Terra di assorbire l'inquinamento. Possiamo, tuttavia, fare quattro punti fondamentali in questa sezione, che illustrano, da una prospettiva

dinamica e globale, quanto sarà difficile comprendere e controllare lo stato futuro dei nostri sistemi ecologici. Questi punti sono:

1. I pochi tipi di inquinamento effettivamente misurati nel tempo sembrano aumentare in modo esponenziale.

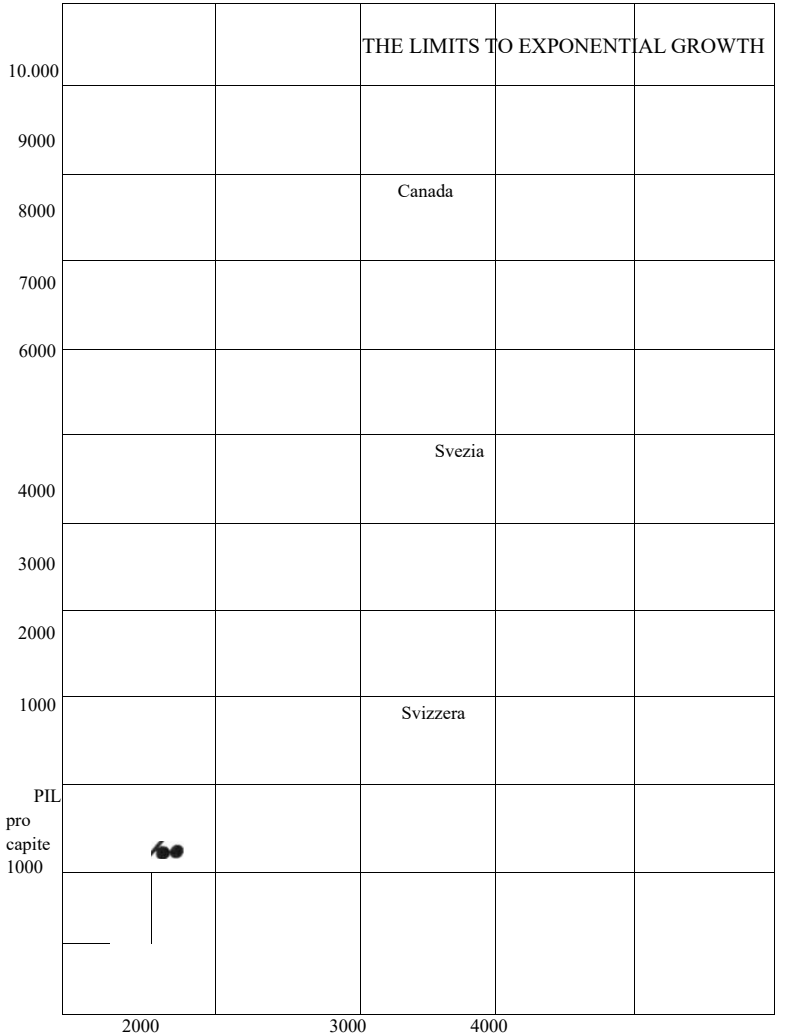
2. Non abbiamo quasi nessuna conoscenza su dove potrebbero essere i limiti superiori di queste curve di crescita dell'inquinamento.

3. La presenza di ritardi naturali nei processi ecologici aumenta la probabilità di sottostimare le misure di controllo necessarie e quindi di raggiungere inavvertitamente quei limiti superiori.

4. Molti inquinanti sono distribuiti a livello globale; i loro effetti nocivi si manifestano anche a grandi distanze dai punti in cui vengono generati.

Non è possibile illustrare ciascuno di questi quattro punti per ogni tipo di inquinante, sia per motivi di spazio che per la natura delle variabili ambientali. Figura 14 CONSUMI ENERGETICI E PIL PRO CAPITE

chilogrammi per persona all'anno (equivalente carbone)



(.1968 dollari USA a persona all'anno)

Sebbene le nazioni del mondo consumino quantità di energia pro capite molto variabili, il consumo di energia è correlato abbastanza bene con la produzione totale pro capite (PIL pro capite). La relazione è generalmente lineare, con la dispersione dei punti dovuta alle differenze di clima, ai prezzi locali del carburante e all'enfasi sull'industria pesante.

FONTI: Consumo energetico dal Dipartimento per gli affari economici e sociali delle Nazioni Unite, Statistical Yearbook 1969 (New York: Nazioni Unite, 1970). PIL pro capite dal World Bank Atlas (Washington, DC: Banca internazionale per la ricostruzione e lo sviluppo, 1970).

di questo libro e a causa delle limitazioni dei dati disponibili. Pertanto discuteremo ogni punto usando come esempi quegli inquinanti che sono stati studiati più completamente fino ad oggi. Non è necessariamente vero che gli inquinanti menzionati qui siano quelli di maggiore preoccupazione (anche se sono tutti di una certa preoccupazione). Sono, piuttosto, quelli che comprendiamo meglio.

Inquinamento in aumento esponenziale

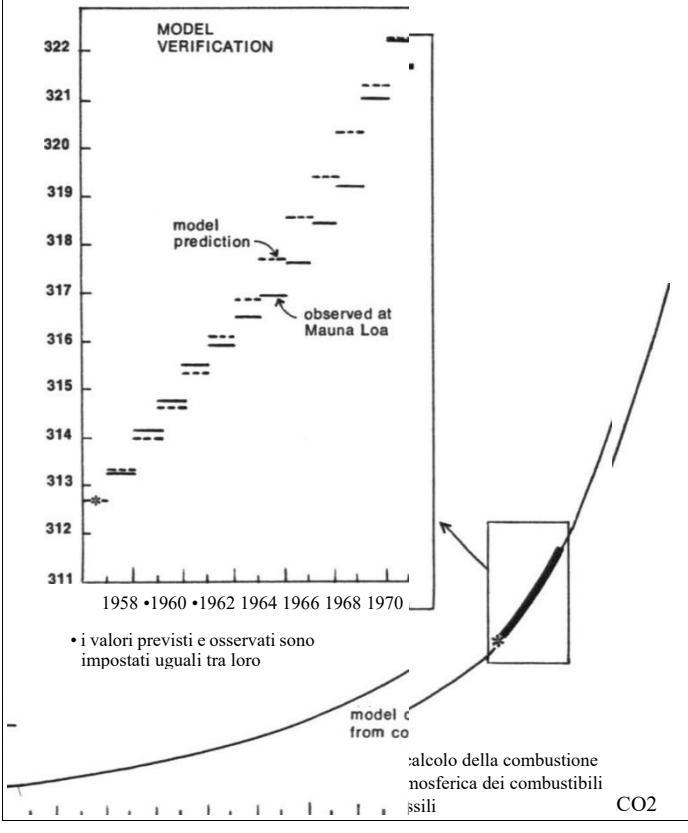
Praticamente ogni inquinante che è stato misurato in funzione del tempo sembra aumentare esponenzialmente. I tassi di aumento dei vari esempi mostrati di seguito variano notevolmente, ma la maggior parte sta crescendo più velocemente della popolazione. Alcuni inquinanti sono ovviamente direttamente correlati alla crescita della popolazione (o all'attività agricola, che è correlata alla crescita della popolazione). Altri sono più strettamente correlati alla crescita dell'industria e ai progressi della tecnologia. La maggior parte degli inquinanti nel complicato sistema mondiale è influenzata in qualche modo sia dalla popolazione che dai cicli di feedback positivi dell'industrializzazione.

Cominciamo esaminando gli inquinanti correlati al crescente utilizzo di energia da parte dell'umanità. Il processo di sviluppo economico è in effetti il processo di utilizzo di più energia per aumentare la produttività e l'efficienza del lavoro umano. Infatti , una delle migliori indicazioni della ricchezza di una popolazione umana è la quantità di energia che consuma per persona (vedere figura 14). Il consumo di energia pro capite nel mondo sta aumentando a un tasso dell'1,3 percento all'anno, [16] il che significa un aumento totale, inclusa la crescita della popolazione, del 3,4 percento all'anno.

Attualmente circa il 97 percento della produzione energetica industriale dell'umanità proviene da combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturale). [17] Quando questi combustibili vengono

bruciati, rilasciano , tra le altre cose Figura 15 CONCENTRAZIONE DI ANIDRIDE CARBONICA NELL'ATMOSFERA

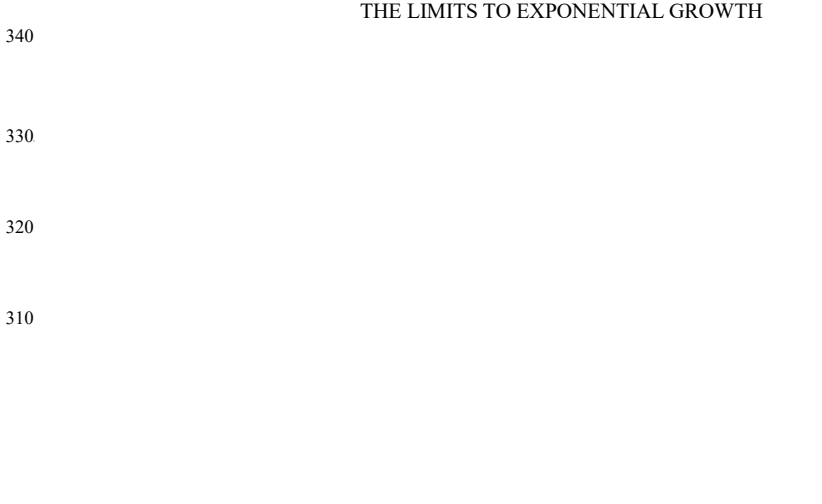
parti per milione in volume


MODEL
VERIFICATION
322
321
320
319
318
317
316
315
314
313
312
311
model
prediction
observed at
Mauna Loa
1958 •1960 •1962 1964 1966 1968 1970
• i valori previsti e osservati sono
impostati uguali tra loro
model
from co
alcolo della combustione
nosferica dei combustibili
ssili
CO2

370

360

350



La concentrazione atmosferica di C02, osservata dal 1958 a Mauna Loa, Hawaii, è aumentata costantemente. Attualmente l'aumento è in media di circa 1,5 parti per milione (ppm) ogni anno. Calcoli che includono gli scambi noti di C02 tra atmosfera, biosfera e oceani prevedono che la concentrazione di C02 raggiungerà 380 ppm entro l'anno 2000, un aumento di quasi il 30 percento del valore probabile nel 1860. La fonte di questo aumento esponenziale di C02 atmosferica è la crescente combustione di combustibili fossili da parte dell'uomo.

FONTE: Lester Machta, "Il ruolo degli oceani e della biosfera nel ciclo dell'anidride carbonica". Articolo presentato al 20° Simposio Nobel "La chimica mutevole degli oceani", Göteborg, Svezia, agosto 1971.

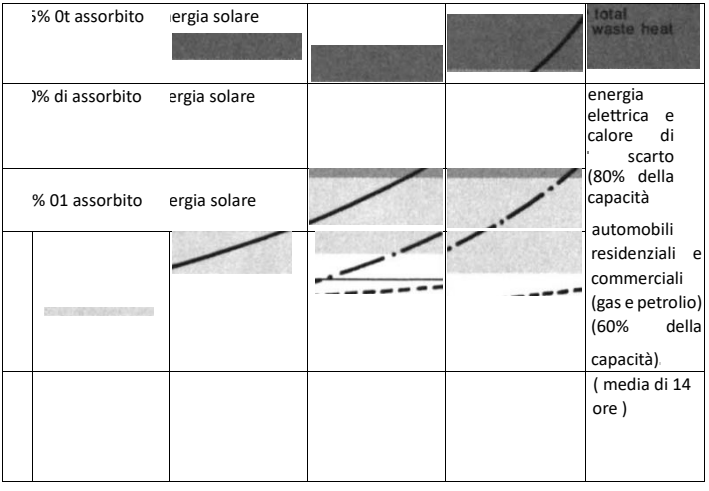
sostanze, anidride carbonica (C02) nell'atmosfera. Attualmente circa 20 miliardi di tonnellate di C02 vengono rilasciate ogni anno dalla combustione di combustibili fossili. [18] Come mostra la figura 15, la quantità misurata di C02 nell'atmosfera sta aumentando in modo esponenziale, apparentemente a un tasso di circa lo 0,2 percento all'anno. Solo circa la metà della C02 rilasciata dalla combustione di combustibili fossili è effettivamente apparsa nell'atmosfera, l'altra metà è stata apparentemente assorbita, principalmente dalle acque superficiali degli oceani.10

Se un giorno il fabbisogno energetico dell'uomo verrà soddisfatto dall'energia nucleare invece che dai combustibili fossili, questo aumento di CO2 nell'atmosfera cesserà, si spera prima che abbia avuto effetti ecologici o climatologici misurabili.

C'è, tuttavia, un altro effetto collaterale dell'uso di energia, che è indipendente dalla fonte di combustibile. Secondo le leggi della termodinamica, essenzialmente tutta l'energia usata dall'uomo deve essere alla fine dissipata sotto forma di calore. Se la fonte di energia è qualcosa di diverso dall'energia solare incidente (ad esempio, combustibili fossili o energia atomica), quel calore provocherà il riscaldamento dell'atmosfera, direttamente o indirettamente attraverso la radiazione dall'acqua usata per scopi di raffreddamento. A livello locale, il calore di scarto o "inquinamento termico" nei corsi d'acqua causa l'interruzione dell'equilibrio della vita acquatica . [20] Il calore di scarto atmosferico attorno alle città causa la formazione di "isole di calore" urbane, all'interno delle quali si verificano molte anomalie meteorologiche. [21] L'inquinamento termico può avere gravi effetti climatici, in tutto il mondo, quando raggiunge una certa

Figura 16 GENERAZIONE DI CALORE DI SCARTO NEL BACINO DI LOS ANGELES

migliaia di megawatt



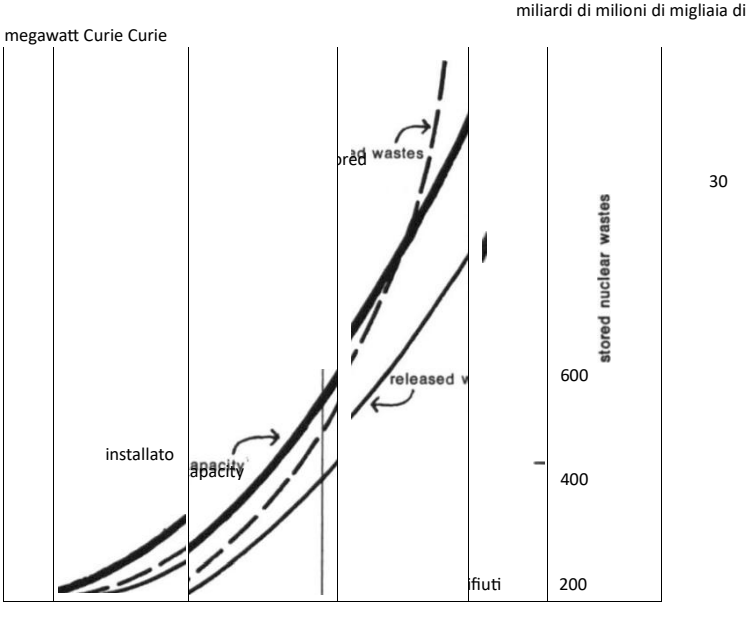
Il calore di scarto rilasciato nell'area di 4.000 miglia quadrate del bacino di Los Angeles ammonta attualmente a circa il 5 percento dell'energia solare totale assorbita dal suolo. Al tasso di crescita attuale, il rilascio termico raggiungerà il 18 percento dell'energia solare in arrivo entro l'anno 2000. Questo calore, risultato di tutti i processi di generazione e consumo di energia, sta già influenzando il clima locale.

FONTE: Lees in Man's Impact on the Global Environment, Rapporto sullo studio dei problemi ambientali critici (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1970).

frazione stimabile dell'energia normalmente assorbita dalla Terra dal sole. [22] Nella figura 16, il livello di inquinamento termico previsto per una grande città è mostrato come frazione dell'energia solare incidente.

L'energia nucleare produrrà un altro tipo di inquinante: i rifiuti radioattivi. Poiché l'energia nucleare fornisce ora solo una frazione insignificante dell'energia utilizzata dall'uomo, il possibile impatto ambientale dei rifiuti rilasciati dai reattori nucleari può essere solo ipotizzato. Tuttavia, si può ricavare qualche idea dai rilasci effettivi e previsti di isotopi radioattivi dalle centrali nucleari in costruzione oggi. Un elenco parziale dello scarico annuale previsto nell'ambiente di un

Figura 17 RIFIUTI NUCLEARI





Si prevede che la capacità di generazione nucleare installata negli Stati Uniti crescerà da 11 mila megawatt nel 1970 a più di 900 mila megawatt nell'anno 2000. La quantità totale di scorie nucleari immagazzinate, sottoprodotti radioattivi della produzione di energia, probabilmente supererà i mille miliardi di Curie entro quell'anno. Il rilascio annuale di scorie nucleari , principalmente sotto forma di gas krypton e trizio nell'acqua di raffreddamento, raggiungerà i 25 milioni di Curie, se gli attuali standard di rilascio saranno ancora in vigore.

FONTI: Capacità installata fino al 1985 da US Atomic Energy Commission, Forecast of Growth of Nuclear Power (Washington, DC: Govemment Printing Office, 1971). Capacità installata fino al 2000 da Chauncey Starr, '*Energy and Power," Scientific American, settembre 1971. Rifiuti nucleari immagazzinati da JA Snow, "Radioactive Waste from Reactors," Scientist and Citizen 9 (1967). Rilascio annuale di rifiuti nucleari calcolato dalle specifiche per l'impianto da 1,6 mila megawatt a Calvert Cliffs, Maryland.

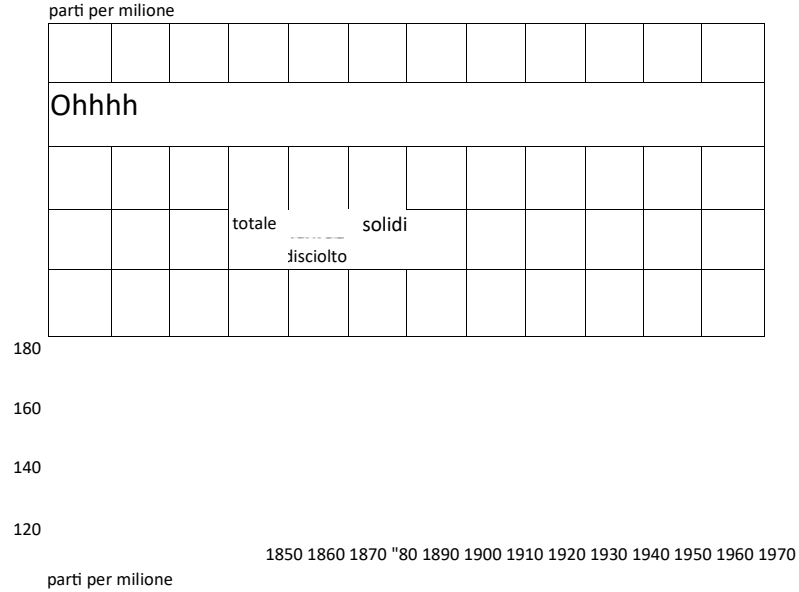
Impianto da 1,6 milioni di kilowatt attualmente in costruzione nel

Gli Stati Uniti includono 42.800 Curie* di kripton radioattivo

---

* Un Curie è l'equivalente radioattivo di un grammo di radio. Si tratta di una quantità di radiazione così grande che le concentrazioni ambientali sono solitamente espresse in microcurie (milionesimi di Curie).

Figura 18 CAMBIAMENTI NELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE E NELLA PRODUZIONE COMMERCIALE DI PESCE NEL LAGO ONTARIO



				calci	M						
					sodio	e patate	io				

25

15

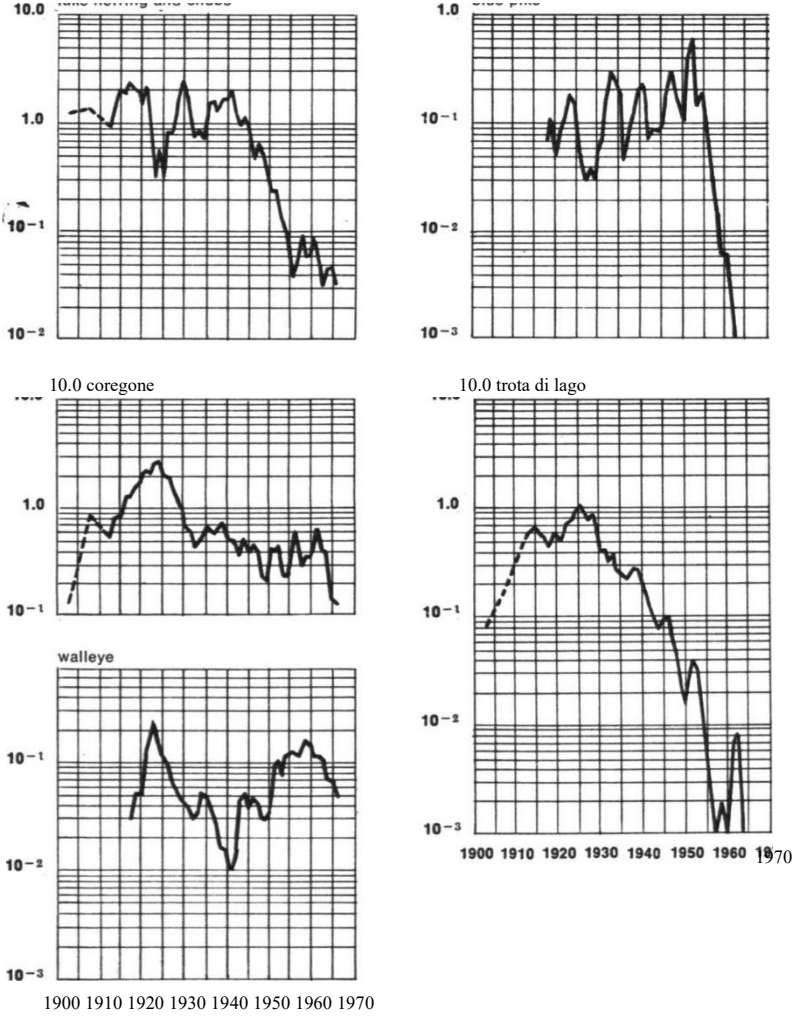
10

1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970

Come risultato del massiccio scarico di rifiuti urbani, industriali e agricoli nel lago Ontario, le concentrazioni di numerosi sali sono aumentate esponenzialmente. I cambiamenti chimici nel lago hanno portato a gravi cali nelle catture della maggior parte dei pesci di valore commerciale. Va notato che la scala di tracciamento per la cattura dei pesci è logaritmica e quindi la cattura dei pesci è diminuita di fattori da 100 a 1.000 per la maggior parte delle specie.

milioni di libbre all'anno luccio blu

milioni di libbre all'anno aringhe di lago e cavedani

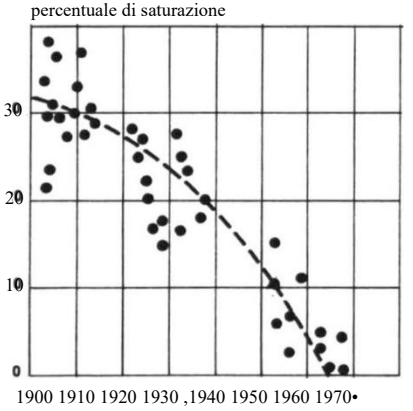


10.0 trota di lago

FONTE: AM Beeton, Dichiarazione sull'inquinamento e l'eutrofizzazione dei Grandi Laghi, Rapporto speciale n. 11 del Centro per gli studi sui Grandi Laghi dell'Università del Wisconsin (Milwaukee, Wisconsin: Università del Wisconsin, 1970).

A

Figura 19 CONTENUTO DI OSSIGENO DEL MAR BALTICO



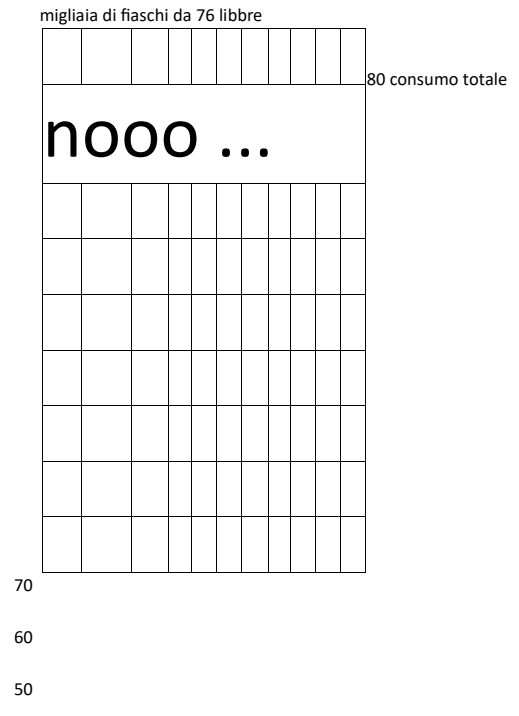
L'accumulo crescente di rifiuti organici nel Mar Baltico, dove la circolazione dell'acqua è minima, ha portato a una concentrazione di ossigeno in costante diminuzione nell'acqua. In alcune aree, soprattutto in acque più profonde, la concentrazione di ossigeno è pari a zero e quasi nessuna forma di vita acquatica può essere supportata.
FONTE: Stig H. Fonselius, "Mare stagnante", Environment, luglio/agosto 1970.

(emivita variabile da poche ore a 9,4 anni, a seconda dell'isotopo) nei gas di scarico e 2.910 Curie di trizio (emivita 12,5 anni) nelle acque reflue.[23] La figura 17 mostra come si prevede che la capacità di generazione nucleare degli Stati Uniti crescerà da ora fino all'anno 2000. Il grafico include anche una stima dei rifiuti radioattivi rilasciati annualmente da queste centrali nucleari e dei rifiuti accumulati (da combustibili esauriti dei reattori) che dovranno essere immagazzinati in modo sicuro.

Anidride carbonica, energia termica e scorie radioattive sono solo tre dei tanti disturbi che l'uomo sta immettendo nell'ambiente a un ritmo esponenzialmente crescente. Altri esempi sono mostrati nelle figure 18—21.

La figura 18 mostra i cambiamenti chimici che si verificano in un grande lago nordamericano a causa dell'accumulo di sostanze industriali solubili,

Figura 20 CONSUMO DI MERCURIO NEGLI USA



Il consumo di mercurio negli Stati Uniti mostra un andamento esponenziale, a cui si sovrappongono le fluttuazioni di mercato a breve

termine. Gran parte del mercurio viene utilizzato per la produzione di soda caustica e cloro. Il grafico non include la crescente quantità di mercurio rilasciata nell'atmosfera dalla combustione di combustibili fossili.
FONTE: Barry Commoner, Michael Carr e Paul J. Stamler, "Le cause dell'inquinamento", Ambiente, aprile 1971.

rifiuti agricoli e urbani. Viene anche indicata la conseguente diminuzione della produzione ittica commerciale del lago. La figura 19 illustra perché l'aumento dei rifiuti organici ha un effetto così catastrofico sulla vita dei pesci. La figura mostra la quantità di ossigeno disciolto (che i pesci "respirano") nel Mar Baltico in funzione del tempo. Man mano che quantità crescenti di rifiuti entrano nell'acqua e si decompongono, l'ossigeno disciolto si esaurisce. Nel caso di alcune parti del Baltico, il livello di ossigeno ha effettivamente raggiunto lo zero.

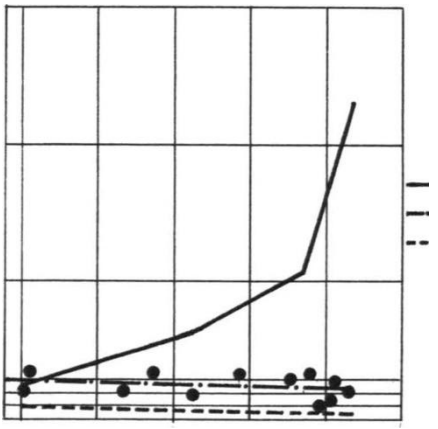
I metalli tossici piombo e mercurio vengono rilasciati nei corsi d'acqua e nell'atmosfera dalle automobili, dagli inceneritori,

A

Figura 21 PIOMBO NELLA CALOTTA GHIACCIALE DELLA GROENLANDIA

microgrammi

200



Campioni profondi di neve dalla calotta glaciale della Groenlandia mostrano depositi di piombo sempre più alti nel tempo. Sono state misurate anche concentrazioni di calcio e sale marino come controllo. La presenza di piombo riflette il crescente utilizzo industriale mondiale del metallo, incluso il rilascio diretto nell'atmosfera dagli scarichi delle automobili.
FONTE: CC Patterson e JD Salvia, • "Piombo nell'ambiente moderno: quanto è naturale?" Scientist and Citizen, aprile 1968.

processi industriali e pesticidi agricoli. La figura 20 mostra l'aumento esponenziale del consumo di mercurio negli Stati Uniti dal 1946 al 1968. Solo il 18 percento di questo mercurio viene catturato e riciclato dopo l'uso. [24] Un aumento esponenziale dei depositi di piombo nell'aria è stato rilevato tramite l'estrazione di

campioni progressivamente più profondi dalla calotta glaciale della Groenlandia, come mostrato nella figura 21.

Limiti superiori sconosciuti

Tutte queste curve esponenziali di vari tipi di inquinamento possono essere estrapolate nel futuro, come abbiamo estrapolato le esigenze di terra nella figura 10 e l'uso delle risorse nella figura 11. In entrambe queste figure precedenti, la curva di crescita esponenziale ha infine raggiunto un limite superiore, la quantità totale di terra arabile o di risorse economicamente disponibili sulla Terra. Tuttavia, non sono stati indicati limiti superiori per le curve di crescita esponenziale degli inquinanti nelle figure 15-21, perché non si sa quanto possiamo perturbare l'equilibrio ecologico naturale della Terra senza gravi conseguenze. Non si sa quanta CO2 o inquinamento termico può essere rilasciato senza causare cambiamenti irreversibili nel clima della Terra, o quanta radioattività, piombo, mercurio o pesticidi possono essere assorbiti da piante, pesci o esseri umani prima che i processi vitali siano gravemente interrotti.

Ritardi naturali nei processi ecologici

Questa ignoranza sui limiti della capacità della Terra di assorbire inquinanti dovrebbe essere motivo sufficiente per cautelarsi nel rilascio di sostanze inquinanti. Il pericolo di raggiungere tali limiti è particolarmente grande perché di solito c'è un lungo ritardo tra il rilascio di un inquinante nell'ambiente e la comparsa del suo effetto negativo sull'ecosistema. Le implicazioni dinamiche di un tale effetto ritardato possono essere illustrate dal percorso del DDT attraverso l'ambiente dopo il suo utilizzo come insetticida. I risultati presentati di seguito sono tratti da uno studio dettagliato di System Dynamics* utilizzando le costanti numeriche appropriate al DDT. La conclusione generale è applicabile (con qualche modifica nei numeri esatti coinvolti) a tutte le sostanze tossiche di lunga durata, come mercurio,

piombo, cadmio, altri pesticidi, policlorobifenile (PCB) e rifiuti radioattivi .

---

*Lo studio, condotto da J4rgen Randers e Dennis L. Meadows, è elencato nell'appendice.

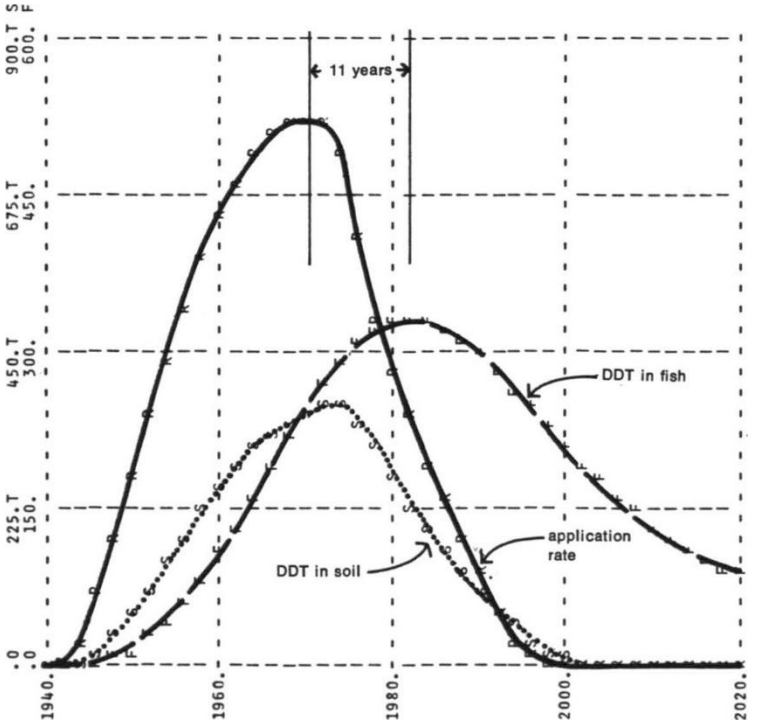
A

Il DDT è una sostanza chimica organica artificiale rilasciata nell'ambiente come pesticida a un tasso di circa 100.000 tonnellate all'anno. [25] Dopo la sua applicazione tramite nebulizzazione, parte di essa evapora e viene trasportata per lunghe distanze nell'aria prima di precipitare nuovamente sulla terraferma o nell'oceano. Nell'oceano, parte del DDT viene assorbita dal plancton, parte del plancton viene mangiata dai pesci e parte dei pesci viene infine mangiata dall'uomo. A ogni fase del processo, il DDT può essere degradato in sostanze innocue, può essere rilasciato nuovamente nell'oceano o può essere concentrato nei tessuti degli organismi viventi. C'è un certo ritardo temporale in ciascuna di queste fasi. Tutti questi possibili percorsi sono stati analizzati da un computer per produrre i risultati visibili nella figura 22.

Il tasso di applicazione del DDT mostrato nella figura segue il tasso di applicazione mondiale dal 1940 al 1970. Il grafico mostra cosa accadrebbe se nel 1970 il tasso di applicazione mondiale del DDT iniziasse a diminuire gradualmente fino a raggiungere lo zero nell'anno 2000. A causa dei ritardi intrinseci del sistema, il livello di DDT nei pesci continua a salire per più di 10 anni dopo che l'uso del DDT inizia a diminuire, e il livello nei pesci non torna al livello del 1970 fino all'anno 1995, più di due decenni dopo che è stata presa la decisione di ridurre l'applicazione del DDT.

Ogni volta che c'è un lungo ritardo dal momento del rilascio di un inquinante al momento della sua comparsa in una forma nociva, sappiamo che ci sarà un ritardo altrettanto lungo dal momento del controllo di quell'inquinante al momento in cui il suo effetto nocivo finalmente diminuisce. In altre parole, qualsiasi sistema di controllo dell'inquinamento basato sull'istituzione di controlli solo quando un danno è già stato rilevato probabilmente garantirà che il problema peggiorerà molto prima di migliorare. Sistemi di questo tipo sono

Figura 22
FLUSSI DI DDT NELL'AMBIENTE



Il calcolo del percorso del DDT attraverso l'ambiente mostra il probabile risultato se il tasso di applicazione del DDT nel mondo iniziasse a diminuire nel 1970. Il tasso di applicazione mostrato è storicamente corretto fino al 1970. Il DDT nel terreno raggiunge il picco poco dopo che il tasso di applicazione inizia a diminuire, ma il DDT nei pesci continua a salire per 11 anni e non torna al livello del 1970 fino al 1995. Il DDT negli animali che si nutrono di pesce, come uccelli e uomo, mostrerebbe un ritardo ancora più lungo nel rispondere alla diminuzione del tasso di applicazione.

FONTE: JØrgen Randers e Dennis L. Meadows, "Simulazione di sistema per testare la politica ambientale l: uno studio campione del movimento del DDT nell'ambiente" (Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971).

A

estremamente difficili da controllare, perché richiedono che le azioni presenti siano basate su risultati attesi in un futuro lontano. Distribuzione globale degli inquinanti

Al momento solo le nazioni sviluppate del mondo sono seriamente preoccupate per l'inquinamento. È una sfortunata caratteristica di molti tipi di inquinamento, tuttavia, che alla fine si distribuiscono ampiamente in tutto il mondo. Sebbene la Groenlandia sia molto lontana da qualsiasi fonte di inquinamento atmosferico da piombo, la quantità di piombo depositata nel ghiaccio della Groenlandia è aumentata del 300 percento all'anno dal 1940. [26] Il DDT si è accumulato nel grasso corporeo degli esseri umani in ogni parte del globo, dagli eschimesi dell'Alaska agli abitanti delle città di Nuova Delhi, come mostrato nella tabella 5.

Limiti di inquinamento

Poiché la generazione di inquinamento è una funzione complicata della popolazione, dell'industrializzazione e di

specifici sviluppi tecnologici, è difficile stimare esattamente la velocità con cui sta aumentando la curva esponenziale del rilascio totale di inquinamento. Potremmo stimare che se i 7 miliardi di persone dell'anno 2000 avessero un PIL pro capite alto quanto quello degli americani di oggi, il carico totale di inquinamento sull'ambiente sarebbe almeno dieci volte il suo valore attuale. I sistemi naturali della Terra possono sostenere un'intrusione di tale portata? Non ne abbiamo idea. Alcune persone credono che l'uomo abbia già degradato l'ambiente a tal punto da aver causato danni irreversibili a grandi sistemi naturali. Non conosciamo il limite massimo preciso della capacità della Terra di assorbire un singolo tipo di inquinamento, tanto meno la sua capacità di assorbire la combinazione di tutti i tipi di inquinamento. Sappiamo tuttavia che esiste un limite massimo. È già stato superato in molti ambienti locali. Il modo più sicuro per

Tabella 5 DDT NEL GRASSO CORPOREO Concentrazione di DDT e prodotti di degradazione tossici nel

Popolazione	Anno	Numero di campione	grasso corporeo (parti per milione)
Alaska (Eschimesi)	1960	20	3.0
Canada	1959-60	62	4.9
Inghilterra	1961-62	131	2.2
Inghilterra	1964	100	3.9
Francia	1961	10	5.2
Germania	1958-59	60	2.3
Ungheria	1960	48	12.4
India (Delhi)	1964	67	26.0
Israele	1963-64	254	19.2

Stati Uniti (Kentucky)	1942	10	.0
Stati Uniti (Georgia, Kentucky, (Arizona, Washington)	1961-62	130	12.7
Stati Uniti (tutte le aree)	1964	64	7.6

FONTE: Wayland J. Hayes, Jr., "Monitoraggio del contenuto di pesticidi negli alimenti e nelle persone", in Scientific Aspects of Pest Control (Washington, DC: National Academy of Sciences—National Research Council, 1966).

Per raggiungere questo limite massimo a livello globale è necessario aumentare esponenzialmente sia il numero di persone sia le attività inquinanti di ciascuna persona.

I compromessi implicati nel settore ambientale del sistema mondiale sono altrettanto difficili da risolvere quanto quelli nei settori agricolo e delle risorse naturali. I benefici delle attività che generano inquinamento sono solitamente molto lontani sia nello spazio che nel tempo dai costi. Per prendere decisioni eque, quindi, si devono considerare sia i fattori spaziali che quelli temporali. Se i rifiuti vengono scaricati a monte, chi ne soffrirà a valle? Se ora vengono utilizzati fungicidi contenenti mercurio, in che misura,

A

quando e dove apparirà il mercurio nei pesci oceanici? Se le fabbriche inquinanti sono situate in aree remote per "isolare" gli inquinanti, dove saranno quegli inquinanti tra dieci o vent'anni?

Potrebbe darsi che gli sviluppi tecnologici consentiranno l'espansione dell'industria con una riduzione dell'inquinamento, ma solo a un costo elevato. Il Consiglio statunitense per la qualità ambientale ha chiesto una spesa di 105 miliardi di dollari da qui al 1975 (il 42 percento dei quali sarà pagato dall'industria) solo per una

bonifica parziale dell'inquinamento americano di aria, acqua e rifiuti solidi. [27] Qualsiasi paese può posticipare il pagamento di tali costi per aumentare l'attuale tasso di crescita del suo impianto di capitale, ma solo a scapito del futuro degrado ambientale, che potrebbe essere reversibile solo a costi molto elevati.

UN MONDO FINITO

Abbiamo menzionato molti difficili compromessi in questo capitolo nella produzione di cibo, nel consumo di risorse e nella generazione e bonifica dell'inquinamento. Ormai dovrebbe essere chiaro che tutti questi compromessi derivano da un semplice fatto: la Terra è finita. Più un'attività umana si avvicina al limite della capacità della Terra di sostenere tale attività, più evidenti e irrisolvibili diventano i compromessi. Quando c'è abbondanza di terra arabile inutilizzata, possono esserci più persone e unNiente più cibo a persona. Quando tutta la terra è già utilizzata, il compromesso tra più persone o più cibo a persona diventa una scelta tra assoluti.

In generale, la società moderna non ha imparato a riconoscere e gestire questi compromessi. L'obiettivo apparente dell'attuale sistema mondiale è quello di produrre più persone con più (cibo, beni materiali, aria pulita e acqua) per ogni persona. In questo capitolo abbiamo notato che se la società continua a impegnarsi per raggiungere quell'obiettivo, alla fine raggiungerà una delle tante limitazioni terrene. Come vedremo nel prossimo capitolo, non è possibile predire esattamente quale limitazione si verificherà per prima o quali saranno le conseguenze, perché ci sono molte risposte umane concepibili e imprevedibili a una tale situazione. È possibile, tuttavia, indagare quali condizioni e quali cambiamenti nel sistema mondiale potrebbero portare la società a scontrarsi o ad adattarsi ai limiti della crescita in un mondo finito.

CAPITOLO 111

CRESCITA

IL MONDO SISTEMA

Nella circonferenza di un cerchio l'inizio e la fine sono comuni.

ERACLITO, 500 a.C.

Abbiamo discusso di cibo, risorse non rinnovabili e assorbimento dell'inquinamento come fattori separati necessari per la crescita e il mantenimento della popolazione e dell'industria. Abbiamo esaminato il tasso di crescita della domanda per ciascuno di questi fattori e i possibili limiti superiori dell'offerta. Facendo semplici estrapolazioni delle curve di crescita della domanda, abbiamo tentato di stimare, approssimativamente, per quanto tempo ancora la crescita di ciascuno di questi fattori potrebbe continuare al suo attuale tasso di incremento. La nostra conclusione da queste estrapolazioni è una che molte persone perspicaci hanno già realizzato: i brevi tempi di raddoppio di molte delle attività umane, combinati con

le immense quantità che vengono raddoppiate, ci porteranno sorprendentemente presto vicini ai limiti di crescita di quelle attività.

L'estrapolazione delle tendenze attuali è un modo consolidato di guardare al futuro, soprattutto al futuro molto prossimo, e soprattutto se la quantità presa in considerazione non è molto importante.

influenzato da altre tendenze che si verificano altrove nel sistema. Naturalmente, nessuno dei cinque fattori che stiamo esaminando qui è indipendente. Ognuno interagisce costantemente con tutti gli altri. Abbiamo già menzionato alcune di queste interazioni. La popolazione non può crescere senza cibo, la produzione alimentare è aumentata dalla crescita del capitale, più capitale richiede più risorse, le risorse scartate diventano inquinamento, l'inquinamento interferisce con la crescita sia della popolazione che del cibo.

Inoltre, su lunghi periodi di tempo ciascuno di questi fattori si ripercuote anche su se stesso. Il tasso di aumento della produzione alimentare negli anni '70, ad esempio, avrà un certo effetto sulla dimensione della popolazione negli anni '80, che a sua volta determinerà il tasso di aumento della produzione alimentare per molti anni a venire. Analogamente, il tasso di consumo delle risorse nei prossimi anni influenzerà sia la dimensione della base di capitale che deve essere mantenuta sia la quantità di risorse rimaste sulla Terra. Il capitale esistente e le risorse disponibili interagiranno quindi per determinare la futura domanda e offerta di risorse.

Le cinque quantità di base, o livelli (popolazione, capitale, cibo, risorse non rinnovabili e inquinamento) sono unite da altre interrelazioni e cicli di feedback che non abbiamo ancora discusso. Chiaramente non è possibile valutare il futuro a lungo termine di nessuno di questi livelli senza prendere in

considerazione tutti gli altri. Tuttavia, persino questo sistema relativamente semplice ha una struttura così complicata che non si può comprendere intuitivamente come si comporterà in futuro, o come un cambiamento in una variabile potrebbe in ultima analisi influenzare ciascuna delle altre. Per raggiungere tale comprensione, dobbiamo estendere le nostre capacità intuitive in modo da poter seguire il comportamento complesso e interrelato di molte variabili simultaneamente.

In questo capitolo descriviamo il modello mondiale formale che abbiamo utilizzato come primo passo verso la comprensione di questo complesso sistema mondiale. Il modello è semplicemente un tentativo di riunire il vasto corpo di conoscenze che già esiste sulle relazioni causa-effetto tra i cinque livelli elencati sopra e di esprimere tale conoscenza in termini di cicli di feedback interconnessi. Poiché il modello mondiale è così importante per comprendere le cause e i limiti della crescita nel sistema mondiale, spiegheremo il processo di costruzione del modello in alcuni dettagli.

Nella costruzione del modello, abbiamo seguito quattro passaggi principali: 1. Abbiamo prima elencato le importanti relazioni causali tra i cinque livelli e tracciato la struttura del ciclo di feedback. Per farlo, abbiamo consultato la letteratura e i professionisti di molti campi di studio che si occupano delle aree di interesse, ad esempio demografia, economia, agronomia, nutrizione, geologia ed ecologia. Il nostro obiettivo in questo primo passaggio era trovare la struttura più elementare che riflettesse le principali interazioni tra i cinque livelli. Abbiamo pensato che elaborazioni su questa struttura di base, che riflettessero una conoscenza più dettagliata, potessero essere aggiunte dopo aver compreso il semplice sistema.

2. Abbiamo quindi quantificato ogni relazione nel modo più accurato possibile, utilizzando dati globali laddove disponibili e dati locali caratteristici laddove non erano state effettuate misurazioni globali.
3. Con il computer, abbiamo calcolato l'operazione simultanea di tutte queste relazioni nel tempo. Abbiamo quindi testato l'effetto dei cambiamenti numerici nelle ipotesi di base per trovare i determinanti più critici del comportamento del sistema.
4. Infine, abbiamo testato l'effetto sul nostro sistema globale delle varie politiche attualmente proposte per migliorare o modificare il comportamento del sistema.

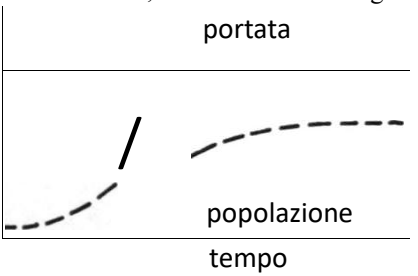
Questi passaggi non sono stati necessariamente seguiti in serie, perché spesso nuove informazioni provenienti da un passaggio successivo ci avrebbero portato a modificare la struttura di base del ciclo di feedback. Non esiste un modello mondiale inflessibile; esiste invece un modello in evoluzione che viene continuamente criticato e aggiornato man mano che aumenta la nostra comprensione.

Di seguito viene riassunto il modello attuale, il suo scopo e i suoi limiti, i più importanti cicli di feedback in esso contenuti e la nostra procedura generale per quantificare le relazioni causali.

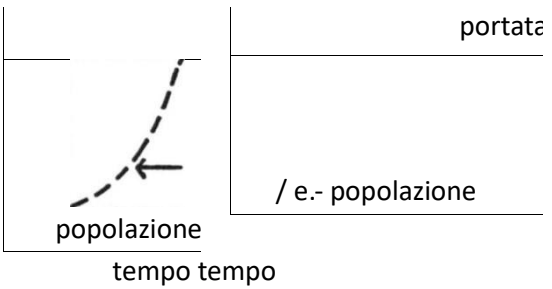
LO SCOPO DEL MODELLO MONDIALE

In questo primo semplice modello mondiale, siamo interessati solo alle ampie modalità di comportamento del sistema popolazione-capitale. Per modalità di comportamento intendiamo le tendenze delle variabili nel sistema (popolazione o inquinamento, ad esempio) a cambiare con il passare del tempo. Una variabile può aumentare, diminuire, rimanere costante, oscillare o combinare diverse di queste modalità caratteristiche. Ad esempio, una popolazione che cresce in un ambiente limitato può avvicinarsi alla capacità di carico massima di quell'ambiente in diversi modi possibili. Può adattarsi senza problemi

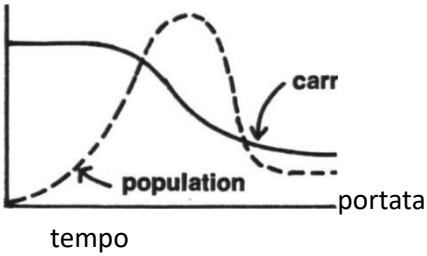
a un equilibrio al di sotto del limite ambientale mediante una graduale diminuzione del tasso di crescita, come mostrato di seguito. Può sovra-



sparare il limite e poi morire di nuovo in modo fluido o oscillatorio, come mostrato di seguito. Oppure può superare



il limite e nel processo diminuiscono la capacità di carico finale consumando alcune risorse non rinnovabili necessarie , come schematizzato di seguito. Questo comportamento è stato notato in molti sistemi naturali. Ad esempio, cervi o capre, quando i nemici naturali sono assenti, spesso sovrapascolano il loro areale e causano erosione o distruzione della vegetazione.28



Uno scopo principale nella costruzione del modello mondiale è stato quello di determinare quali, se presenti, di queste modalità di comportamento saranno più caratteristiche del sistema mondiale quando raggiungerà i limiti di crescita. Questo processo di determinazione delle modalità di comportamento è "previsione" solo nel senso più limitato del termine. I grafici di output riprodotti più avanti in questo libro mostrano valori per popolazione mondiale, capitale e altre variabili su una scala temporale che inizia nell'anno 1900 e continua fino al 2100. Questi grafici non sono previsioni esatte dei valori delle variabili in un particolare anno futuro. Sono solo indicazioni delle tendenze comportamentali del sistema.

La differenza tra i vari gradi di "previsione" potrebbe essere meglio illustrata da un semplice esempio. Se lanci una palla dritta in aria, puoi prevedere con certezza quale sarà il suo comportamento generale. Si solleverà con velocità decrescente, poi invertirà la direzione e cadrà con velocità crescente fino a toccare terra. Sai che non continuerà a salire per sempre, né inizierà a orbitare attorno alla Terra, né farà tre giri prima di atterrare. È questo tipo di comprensione elementare delle modalità di comportamento che stiamo cercando con l'attuale modello del mondo. Se si volesse prevedere esattamente quanto in alto salirebbe una palla lanciata o esattamente dove e quando colpirebbe terra, sarebbe necessario fare un calcolo dettagliato basato su informazioni precise sulla palla, l'altitudine, il vento e la forza del lancio iniziale.

Allo stesso modo, se volessimo prevedere la dimensione della popolazione della Terra nel 1993 con una precisione di qualche punto percentuale, avremmo bisogno di un modello molto più complicato di quello descritto qui. Avremmo anche bisogno di informazioni sul sistema mondiale più precise e complete di quelle attualmente disponibili.

Poiché a questo punto siamo interessati solo a modalità di comportamento generali, questo modello del primo mondo non deve essere estremamente dettagliato. Consideriamo quindi solo una popolazione generale, una popolazione che riflette statisticamente le caratteristiche medie della popolazione globale. Includiamo solo una classe di inquinanti, la famiglia di inquinanti longevi e distribuiti a livello globale, come piombo, mercurio, amianto e pesticidi stabili e radioisotopi, il cui comportamento dinamico nell'ecosistema stiamo iniziando a comprendere. Tracciamo una risorsa generalizzata che rappresenta le riserve combinate di tutte le risorse non rinnovabili, sebbene sappiamo che ogni risorsa separata seguirà il modello dinamico generale al suo livello e tasso specifici.

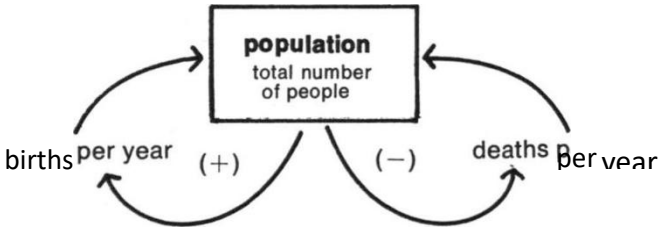
Questo alto livello di aggregazione è necessario a questo punto per mantenere il modello comprensibile. Allo stesso tempo limita le informazioni che possiamo aspettarci di ottenere dal modello. Non è possibile rispondere a domande di dettaglio perché il modello semplicemente non contiene ancora molti dettagli. I confini nazionali non sono riconosciuti. Le disuguaglianze nella distribuzione di cibo, risorse e capitale sono incluse implicitamente nei dati ma non sono calcolate esplicitamente né rappresentate graficamente nell'output. Le bilance commerciali mondiali, i modelli di migrazione, i determinanti climatici e i processi politici non sono trattati in modo specifico. Altri modelli possono essere costruiti, e speriamo che lo saranno, per chiarire il comportamento di questi importanti sottosistemi.*

Si può imparare qualcosa da un modello così altamente aggregato? Il suo output può essere considerato significativo? In termini di previsioni esatte, l'output non è significativo. Non possiamo prevedere la popolazione precisa degli Stati Uniti né il PIL del Brasile né la produzione alimentare mondiale totale per l'anno 2015. I dati con cui abbiamo a che fare non sono certamente sufficienti per tali previsioni, anche se fosse nostro scopo farle. D'altro canto, è di vitale importanza acquisire una certa comprensione delle cause della crescita nella società umana, dei limiti della crescita e del comportamento dei nostri sistemi socio-economici quando vengono raggiunti i limiti. La conoscenza dell'uomo del

---

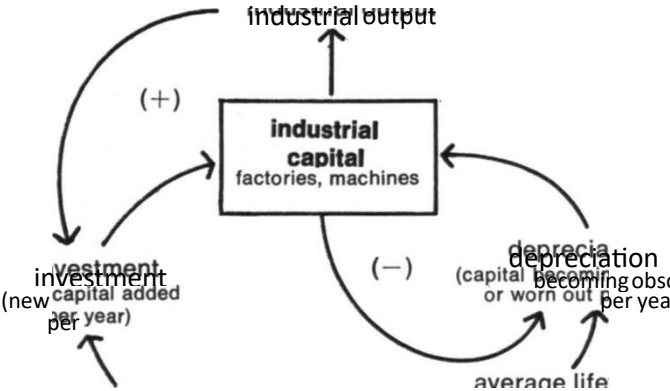
*Abbiamo costruito noi stessi numerosi sottomodelli nel corso di questo studio per indagare le dinamiche dettagliate alla base di ogni settore del modello mondiale. Un elenco di tali studi è incluso nell'appendice.

Figura 23 CICLI DI FEEDBACK DELLA CRESCITA DELLA POPOLAZIONE E DELLA CRESCITA DEL CAPITALE



fertilità

mortalità
(aspettativa di vita)



tasso di investimento

durata media della vita del capitale

I cicli di feedback centrali del modello mondiale governano la crescita della popolazione e del capitale industriale. I due cicli di feedback positivi che coinvolgono nascite e investimenti generano il comportamento di crescita esponenziale della popolazione e del capitale. I due cicli di feedback negativi che coinvolgono decessi e deprezzamento tendono a regolare questa crescita esponenziale. Le forze relative dei vari cicli dipendono da molti altri fattori nel sistema mondiale.

le modalità di comportamento di questi sistemi sono molto incomplete. Attualmente non si sa, ad esempio, se la popolazione umana continuerà a crescere, o si stabilizzerà gradualmente, o oscillerà
intorno a un limite superiore, o al collasso. Riteniamo che il modello mondiale aggregato sia un modo per affrontare tali questioni. Il modello utilizza le relazioni più basilari tra persone, cibo, investimenti, deprezzamento, risorse, produzione, relazioni che sono le stesse in tutto il mondo, le stesse in qualsiasi parte della società umana o nella società nel suo insieme . Infatti, come abbiamo indicato all'inizio di questo libro, ci sono vantaggi nel considerare tali questioni con un orizzonte spazio-temporale il più ampio possibile. Le questioni di dettaglio, di singole nazioni e di pressioni a breve termine possono essere poste in modo molto più sensato quando si comprendono i limiti complessivi e le modalità di comportamento.

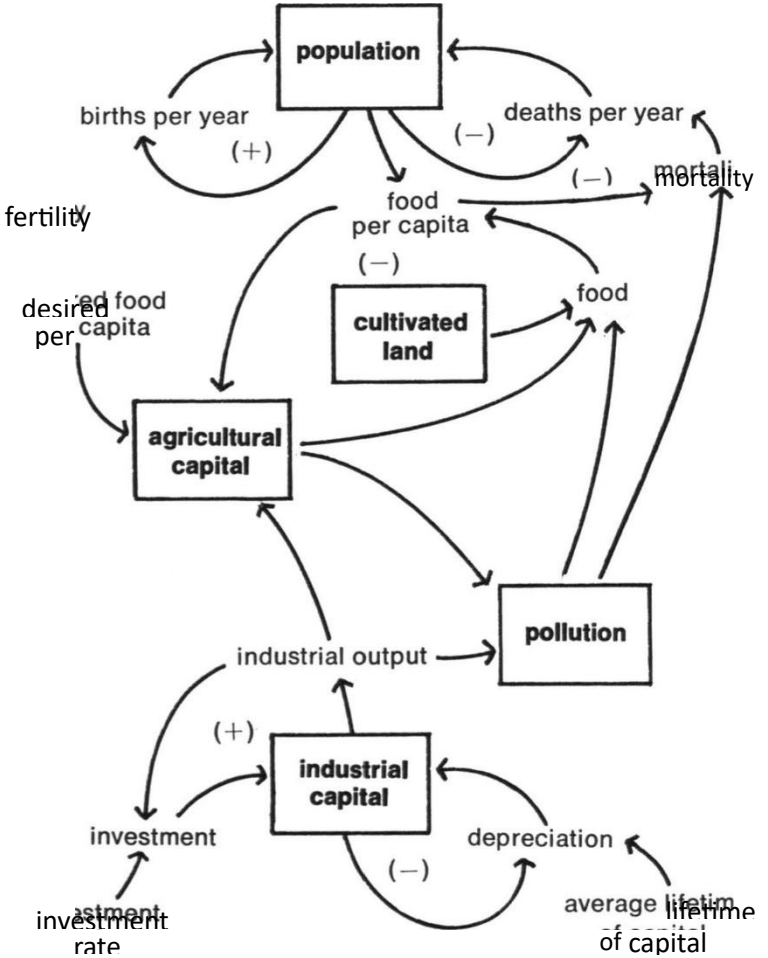
LA STRUTTURA DEL CICLO DI FEEDBACK

Nel capitolo I abbiamo disegnato una rappresentazione schematica dei cicli di feedback che generano la crescita della popolazione e la crescita del capitale. Sono riprodotti insieme nella figura 23.

Una revisione delle relazioni schematizzate nella figura 23 può essere utile. Ogni anno la popolazione aumenta del numero totale di nascite e diminuisce del numero totale di decessi avvenuti durante quell'anno. Il numero assoluto di nascite all'anno è una funzione della fertilità media della popolazione e della dimensione della popolazione. Il numero di decessi è correlato alla mortalità media e alla dimensione totale della popolazione. Finché le nascite superano i decessi, la popolazione cresce. Allo stesso modo, una data quantità di capitale industriale, operante a efficienza costante, sarà in grado di produrre una certa quantità di output ogni anno. Parte di tale output sarà costituita da più fabbriche, macchine, ecc., che sono investimenti per aumentare lo stock di beni capitali. Allo stesso tempo, alcuni beni capitali si deprezzeranno o saranno scartati ogni anno. Per mantenere in crescita il capitale industriale, il tasso di investimento deve superare il

Figura 24 CICLI DI FEEDBACK DELLA POPOLAZIONE, CAPITALE,

AGRICOLTURA E INQUINAMENTO



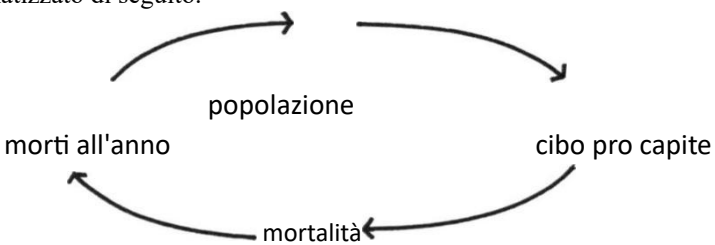
Alcune delle interconnessioni tra popolazione e capitale industriale operano attraverso il capitale agricolo, la terra coltivata e l'inquinamento. Ogni freccia indica una relazione causale, che può essere immediata o ritardata, grande o piccola, positiva o negativa, a seconda delle ipotesi incluse in ogni esecuzione del modello.

tasso di ammortamento.

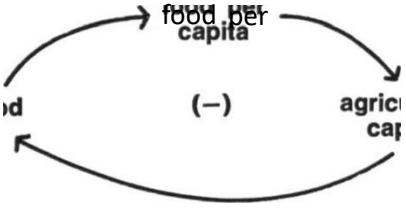
In tutti i nostri diagrammi di flusso, come la figura 23, le frecce indicano semplicemente che una variabile ha una certa influenza su un'altra. La natura e il grado di influenza non sono specificati, anche se ovviamente devono essere quantificati nelle equazioni del modello. Per semplicità, spesso omettiamo di notare nei diagrammi di flusso che diverse interazioni causali si verificano solo dopo un ritardo. I ritardi sono inclusi esplicitamente nei calcoli del modello.

Popolazione e capitale si influenzano a vicenda in molti modi, alcuni dei quali sono mostrati nella figura 24. Parte della produzione del capitale industriale è capitale agricolo, ad esempio trattori, canali di irrigazione e fertilizzanti. La quantità di capitale agricolo e la superficie coltivata influenzano fortemente la quantità di cibo prodotto. Il cibo pro capite (cibo prodotto diviso per la popolazione) influenza la mortalità della popolazione. Sia l'attività industriale che quella agricola possono causare inquinamento. (Nel caso dell'agricoltura, l'inquinamento è costituito in gran parte da residui di pesticidi, fertilizzanti che causano eutrofizzazione e depositi di sale da irrigazione impropria.) L'inquinamento può influenzare la mortalità della popolazione direttamente e anche indirettamente riducendo la produzione agricola.

Ci sono diversi importanti cicli di feedback nella figura 24. Se tutto il resto nel sistema rimanesse uguale, un aumento della popolazione diminuirebbe il cibo pro capite e quindi aumenterebbe la mortalità, aumenterebbe il numero di decessi e alla fine porterebbe a una diminuzione della popolazione. Questo ciclo di feedback negativo è schematizzato di seguito.



Un altro ciclo di feedback negativo (mostrato sotto) tende a controbilanciare quello mostrato sopra. Se il cibo pro capite diminuisce a un valore inferiore a quello desiderato dalla popolazione, ci sarà una tendenza ad aumentare il capitale agricolo, in modo che la futura produzione alimentare e il cibo pro capite possano aumentare.



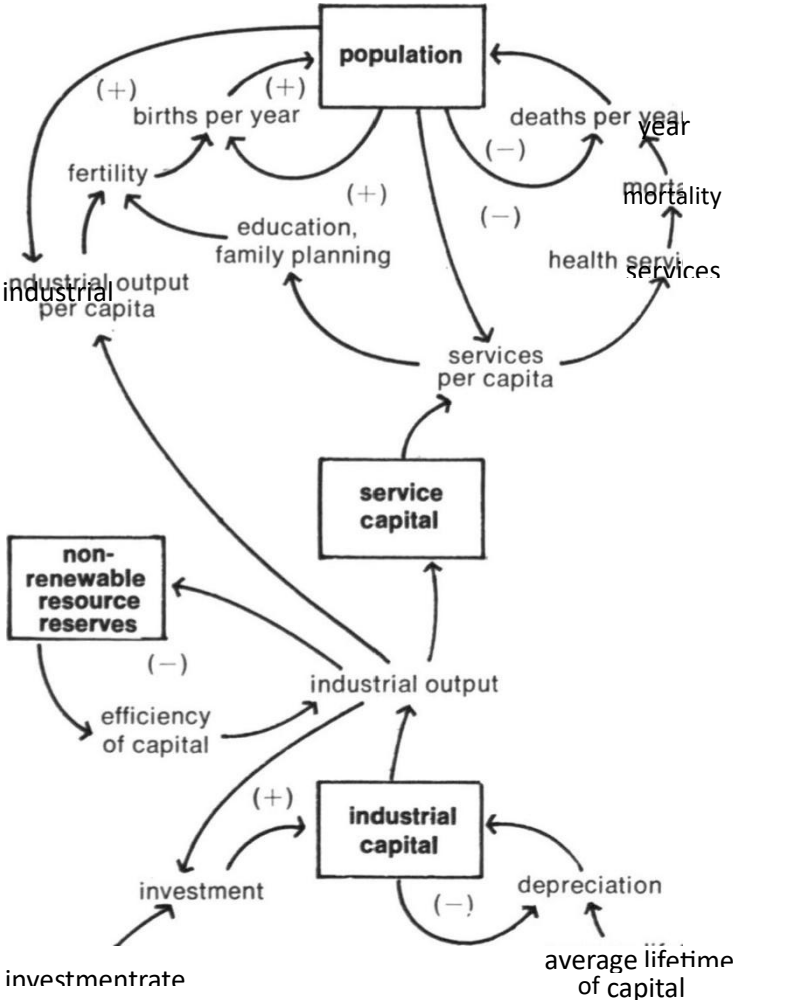
cibo desiderato pro capite

capitale agricolo alimentare

Altre relazioni importanti nel modello mondiale sono illustrate nella figura 25. Queste relazioni riguardano la popolazione, il capitale industriale, il capitale dei servizi e le risorse.

La produzione industriale comprende beni che sono assegnati al capitale di servizio: case, scuole, ospedali, banche e le attrezzature che contengono. La produzione di questo capitale di servizio divisa per la popolazione fornisce il valore medio dei servizi pro capite. I servizi pro capite influenzano il livello dei servizi sanitari e quindi la mortalità della popolazione. I servizi includono anche l'istruzione e la ricerca sui metodi di controllo delle nascite, nonché la distribuzione di informazioni e dispositivi per il controllo delle nascite. I servizi pro capite sono quindi correlati alla fertilità.

Figura 25 CICLI DI FEEDBACK DI POPOLAZIONE, CAPITALE, SERVIZI,
E RISORSE

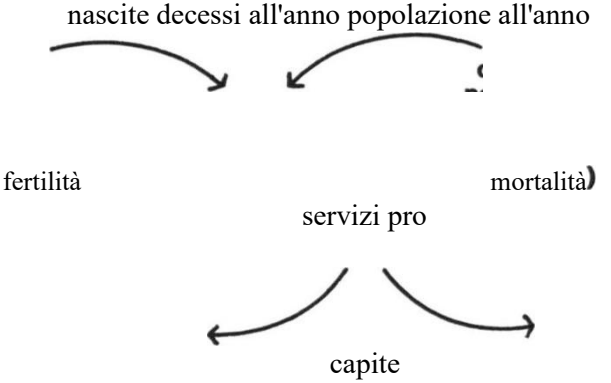


La popolazione e il capitale industriale sono influenzati anche dai livelli del capitale di servizi (come i servizi sanitari e educativi) e dalle riserve di risorse non rinnovabili.

Una variazione della produzione industriale pro capite ha anche un effetto osservabile (anche se in genere avviene dopo molto tempo) su molti fattori sociali che influenzano la fertilità.

Ogni unità di produzione industriale consuma alcune riserve di risorse non rinnovabili. Man mano che le riserve diminuiscono, è necessario più capitale per estrarre la stessa quantità di risorse dalla terra, e quindi l'efficienza del capitale diminuisce (vale a dire, è necessario più capitale per produrre una data quantità di beni finiti).

Di seguito sono illustrati gli importanti cicli di feedback nella figura 25.



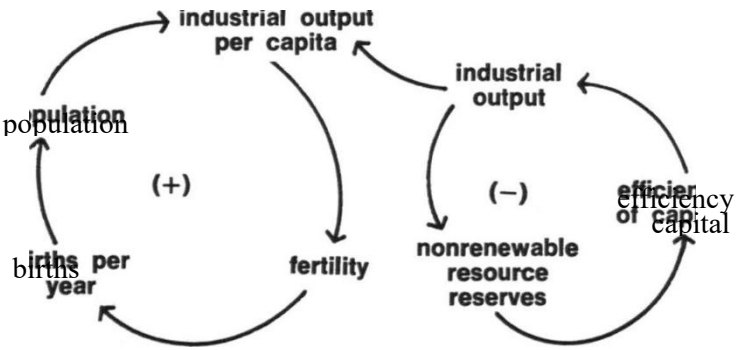
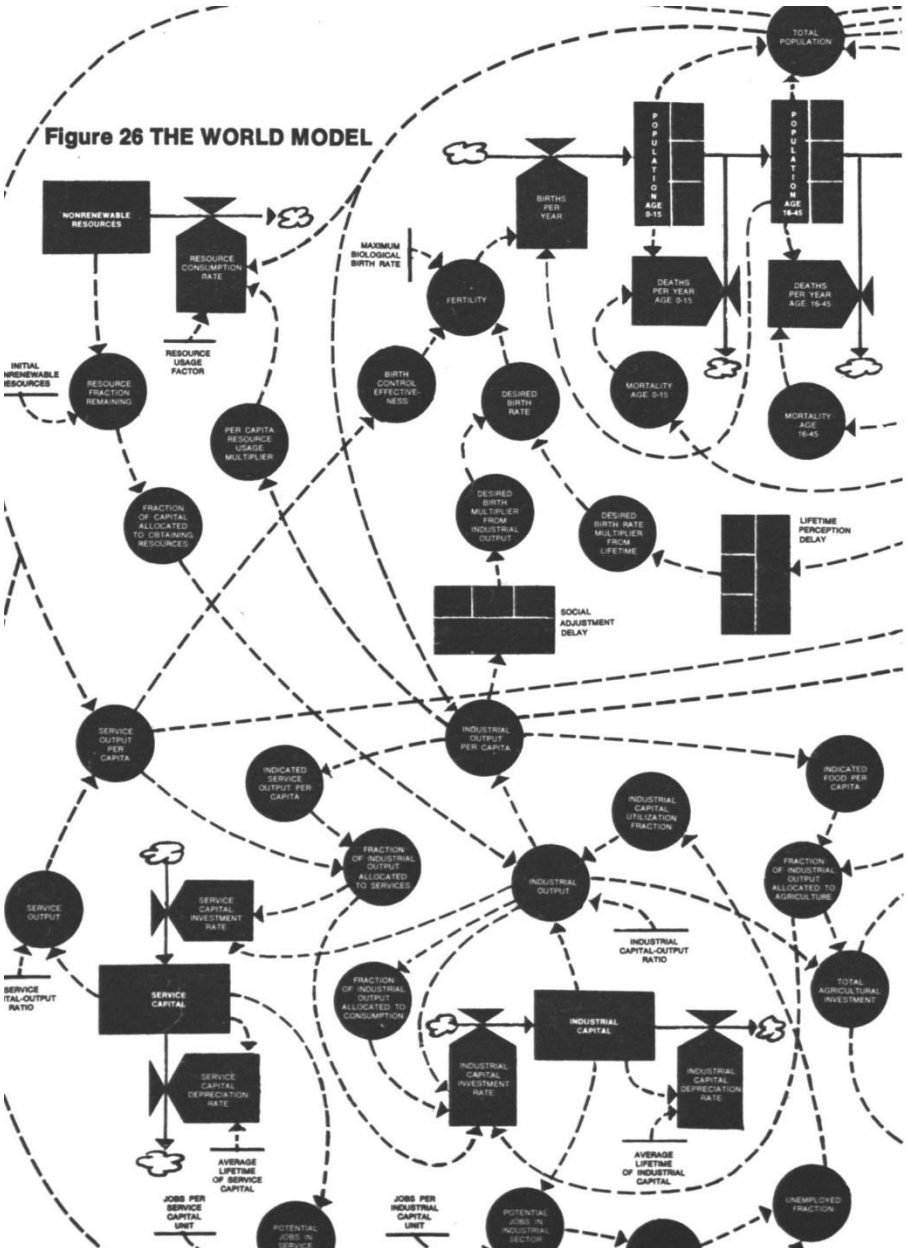


Figure 26 THE WORLD MODEL



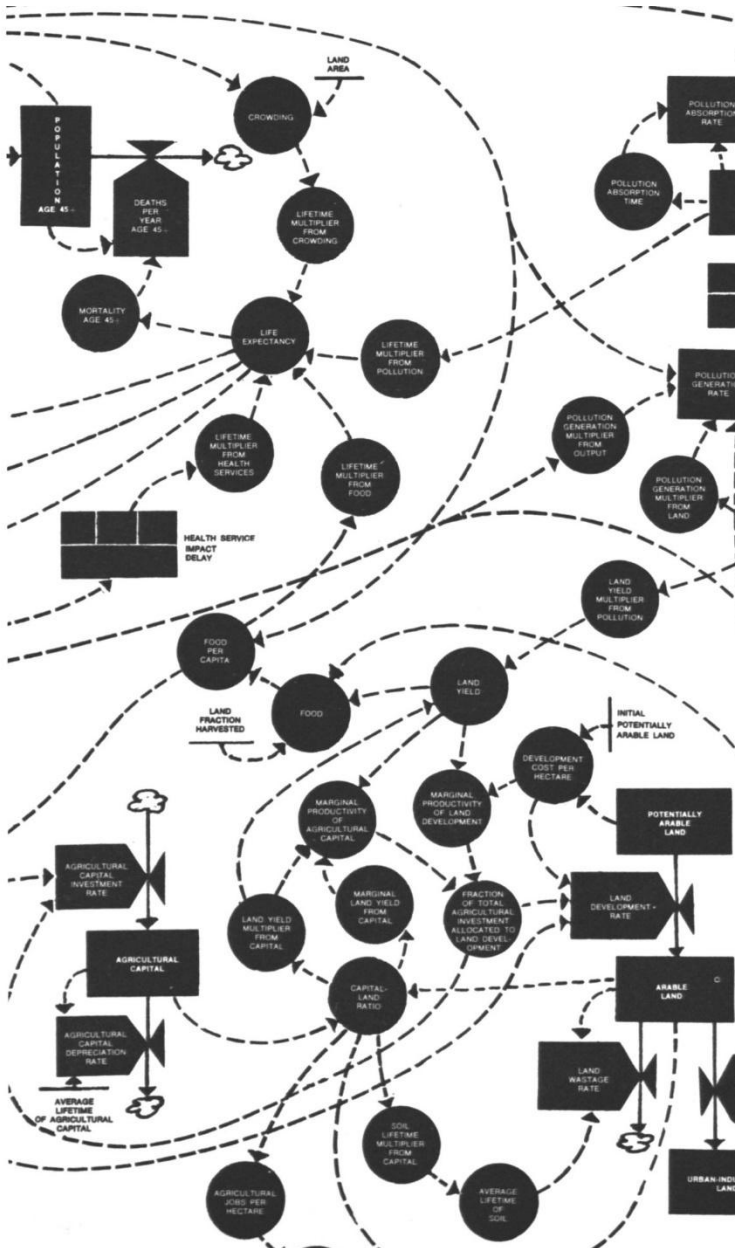


Figura 26 IL MODELLO MONDIALE

L'intero modello mondiale è qui rappresentato da un diagramma di flusso in notazione formale di System Dynamics. I livelli, o grandezze fisiche che possono essere misurate direttamente, sono indicati da rettangoli, le velocità che influenzano quei livelli da valvole e le variabili ausiliarie che influenzano le equazioni di velocità da cerchi. I ritardi temporali sono indicati da sezioni all'interno di rettangoli. I flussi reali di persone, beni, denaro, ecc. sono mostrati da frecce piene e le relazioni causali da frecce spezzate.

Le nuvole rappresentano sorgenti o pozzi che non sono importanti per il comportamento del modello .

Le relazioni mostrate nelle figure 24 e 25 sono tipiche dei numerosi cicli di feedback interconnessi nel modello mondiale. Altri cicli includono fattori quali l'area di terra coltivata e la velocità con cui viene sviluppata o erosa, la velocità con cui l'inquinamento viene generato e reso innocuo dall'ambiente e l'equilibrio tra la forza lavoro e il numero di posti di lavoro disponibili. Il diagramma di flusso completo per il modello mondiale, che incorpora tutti questi fattori e altro ancora, è mostrato nella figura 26.

IPOTESI QUANTITATIVE

Ognuna delle frecce nella figura 26 rappresenta una relazione generale che sappiamo essere importante o potenzialmente importante nel sistema popolazione-capitale. La struttura è, infatti, sufficientemente generale da poter rappresentare anche una singola nazione o persino una singola città (con l'aggiunta di flussi migratori e commerciali attraverso i confini). Per applicare la struttura modello della figura 26 a una nazione, quantificheremmo ogni relazione nella struttura con numeri caratteristici di quella nazione. Per rappresentare il mondo, i dati dovrebbero riflettere le caratteristiche medie dell'intero mondo.

La maggior parte delle influenze causali nel mondo reale sono non lineari.

Cioè, un certo cambiamento in una variabile causale (come un aumento del 10 percento nel cibo pro capite) può influenzare un'altra variabile (l'aspettativa di vita, per esempio) in modo diverso, a seconda del punto all'interno del possibile intervallo della seconda variabile in cui avviene il cambiamento. Ad esempio, se è stato dimostrato che un aumento del cibo pro capite del 10 percento aumenta l'aspettativa di vita di 10 anni, potrebbe non seguire che un aumento del cibo pro capite del 20 percento aumenterà l'aspettativa di vita di 20 anni. La figura 27 mostra la non linearità della relazione tra cibo pro capite e aspettativa di vita. Se c'è poco cibo, un piccolo aumento può determinare un grande aumento dell'aspettativa di vita di una popolazione. Se c'è già abbastanza cibo, un ulteriore aumento avrà poco o nessun effetto. Relazioni non lineari di questo tipo sono state incorporate direttamente nel modello mondiale.*

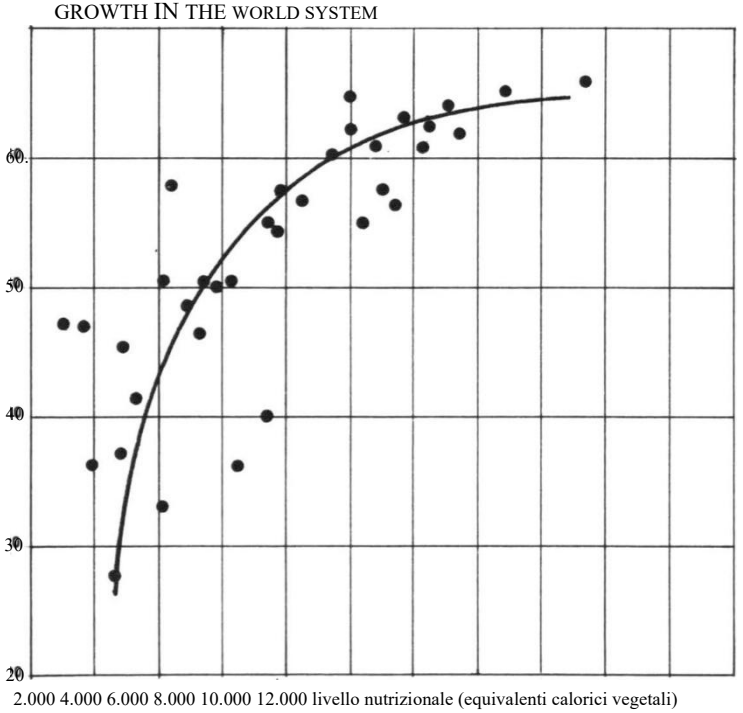
Lo stato attuale delle conoscenze sulle relazioni causali nel mondo varia dalla completa ignoranza all'estrema accuratezza. Le relazioni nel modello mondiale generalmente rientrano nella via di mezzo della certezza. Sappiamo qualcosa sulla direzione e l'entità degli effetti causali, ma raramente abbiamo informazioni completamente accurate su di essi. Per illustrare come operiamo su questa via di mezzo di conoscenza, presentiamo qui tre esempi di relazioni quantitative dal modello mondiale. Uno è una relazione tra variabili economiche che è relativamente ben compresa; un altro coinvolge variabili sociopsicologiche che sono ben studiate ma difficili da quantificare; e il terzo collega variabili biologiche che

---

*I dati nella figura 27 non sono stati corretti per variazioni in altri fattori, come l'assistenza sanitaria. Ulteriori informazioni sul trattamento statistico di tale relazione e sulla sua incorporazione nelle equazioni del modello saranno presentate nel rapporto tecnico.

Figura 27 NUTRIZIONE E ASPETTATIVA DI VITA

anni di aspettativa di vita per i maschi



L'aspettativa di vita di una popolazione è una funzione non lineare del nutrimento che la popolazione riceve. In questo grafico il livello nutrizionale è dato in equivalenti calorici vegetali. Le calorie ottenute da fonti animali, come carne o latte, sono moltiplicate per un fattore di conversione (circa 7, poiché circa 7 calorie di mangime vegetale sono necessarie per produrre 1 caloria di origine animale). Poiché il cibo di origine animale ha un valore maggiore nel sostenere la vita umana, questa misura tiene conto sia della quantità che della qualità del cibo. Ogni punto sul grafico rappresenta l'aspettativa di vita media e il livello nutrizionale di una nazione nel 1953.

FONTE: M. Cépéde, F. Houtart e L. Grond, Population and Food (New York: Sheed and Ward, 1964).

sono, per ora , quasi totalmente sconosciuti. Sebbene questi tre esempi non costituiscano affatto una descrizione completa del modello mondiale, illustrano il ragionamento che abbiamo utilizzato per costruirlo e quantificarlo. Uso pro capite delle risorse

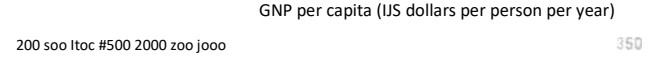
Con la crescita della popolazione mondiale e del capitale, cosa accadrà alla domanda di risorse non rinnovabili? La quantità di risorse consumate ogni anno può essere calcolata moltiplicando la popolazione per il tasso di utilizzo delle

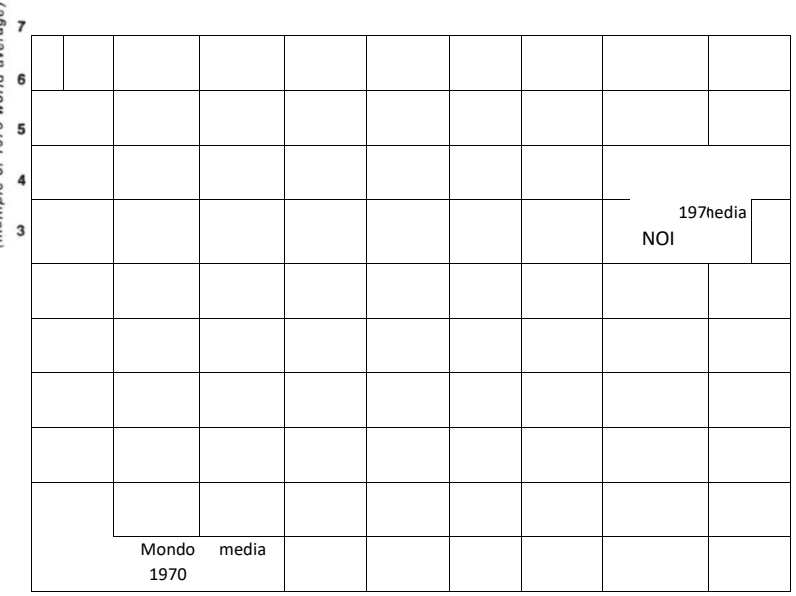
risorse pro capite. Il tasso di utilizzo delle risorse pro capite non è costante, ovviamente. Man mano che una popolazione diventa più ricca, tende a consumare più risorse pro capite all'anno. Di seguito è riportato il diagramma di flusso che esprime la relazione tra popolazione, tasso di utilizzo delle risorse pro capite e ricchezza (misurata dalla produzione industriale pro capite) e tasso di utilizzo delle risorse.



La relazione tra ricchezza (produzione industriale pro capite) e domanda di risorse (tasso di utilizzo delle risorse pro capite) è espressa da una curva non lineare della forma mostrata nella figura 28. Nella figura 28 l'utilizzo delle risorse è definito in termini di consumo medio mondiale di risorse pro capite nel 1970, che è impostato

Figura 28 PRODUZIONE INDUSTRIALE PRO CAPITE E UTILIZZO DELLE RISORSE





La relazione modello postulata tra risorse consumate per persona e produzione industriale per persona è a forma di S. Nelle società non industrializzate il consumo di risorse è molto basso, poiché la maggior parte della produzione è agricola. Con l'aumento dell'industrializzazione, il consumo di risorse non rinnovabili aumenta rapidamente, per poi stabilizzarsi quasi a un tasso di consumo molto elevato. Il punto x indica il tasso medio mondiale di consumo di risorse del 1970; il punto + indica il tasso medio di consumo degli Stati Uniti del 1970. Le due scale orizzontali forniscono la relazione del consumo di risorse in termini sia di produzione industriale pro capite che di PIL pro capite.

uguale a 1. Poiché la produzione industriale media mondiale pro capite nel 1970 era di circa $ 230,30 sappiamo che la curva passa per il punto contrassegnato da una X. Nel 1970 gli Stati Uniti avevano una produzione industriale media pro capite di circa $ 1.600 e il cittadino medio consumava circa sette volte la media mondiale di utilizzo pro capite delle risorse.31 Il punto sulla curva che rappresenterebbe il livello di consumo degli Stati Uniti è contrassegnato da

a -F. Supponiamo che, man mano che il resto del mondo si sviluppa economicamente, seguirà sostanzialmente il modello di consumo degli Stati Uniti: una curva ascendente netta con la crescita della produzione pro capite, seguita da un livellamento. La giustificazione di tale ipotesi può essere trovata nell'attuale modello di consumo mondiale di acciaio (vedere figura 29). Sebbene vi sia una certa variazione nella curva del consumo di acciaio rispetto alla curva generale della figura 28, il modello generale è coerente, anche date le diverse strutture economiche e politiche rappresentate dalle varie nazioni.

Un'ulteriore prova della forma generale della curva di consumo delle risorse è mostrata dalla cronologia del consumo statunitense di acciaio e rame tracciata nella figura 30. Con l'aumento del reddito individuale medio, l'utilizzo delle risorse in entrambi i casi è aumentato, all'inizio in modo ripido e poi meno ripido. Il plateau finale rappresenta un livello medio di saturazione dei beni materiali. Ulteriori aumenti di reddito vengono spesi principalmente in servizi, che consumano meno risorse.

La curva a S dell'uso delle risorse mostrata nella figura 28 è inclusa nel modello mondiale solo come rappresentazione delle politiche apparenti attuali. La curva può essere modificata in qualsiasi momento nella simulazione del modello per testare gli effetti dei cambiamenti del sistema (come il riciclaggio delle risorse) che aumenterebbero o diminuirebbero la quantità di risorse non rinnovabili consumate da ogni persona. Le esecuzioni effettive del modello mostrate più avanti in questo libro illustreranno gli effetti di tali politiche.

Tasso di natalità desiderato

Il numero di nascite all'anno in qualsiasi popolazione è uguale al numero di donne in età riproduttiva moltiplicato per la fertilità media (il numero medio di nascite per donna all'anno). Possono esserci numerosi fattori che influenzano la fertilità di una Figura 29 CONSUMO MONDIALE DI ACCIAIO E PIL PRO CAPITE

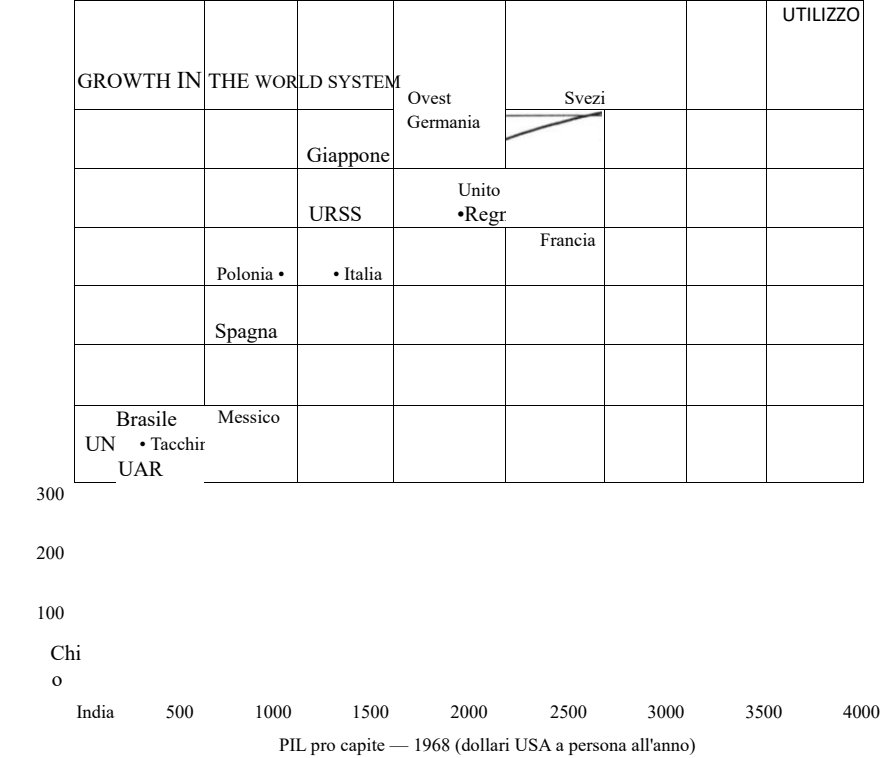
chilogrammi a persona all'anno 1968

700

600

500

400



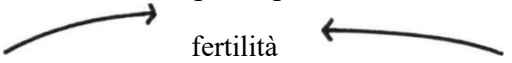
Nel 1968 il consumo di acciaio pro capite in varie nazioni del mondo ha seguito l'andamento generale a forma di S illustrato nella figura 28.

FONTI: Consumo di acciaio dal Dipartimento per gli affari economici e sociali delle Nazioni Unite, Statistical Yearbook 1969 (New York: Nazioni Unite, 1970). PIL pro capite dal World Bank Atlas (Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development, 1970).

popolazione. Infatti, lo studio dei determinanti della fertilità è un'occupazione importante per molti demografi del mondo. Nel modello mondiale abbiamo identificato tre componenti principali della fertilità: tasso di natalità biologica massima, efficacia del controllo delle nascite e tasso di natalità desiderato. La relazione di queste componenti con la fertilità è espressa nel diagramma seguente.

desiderato

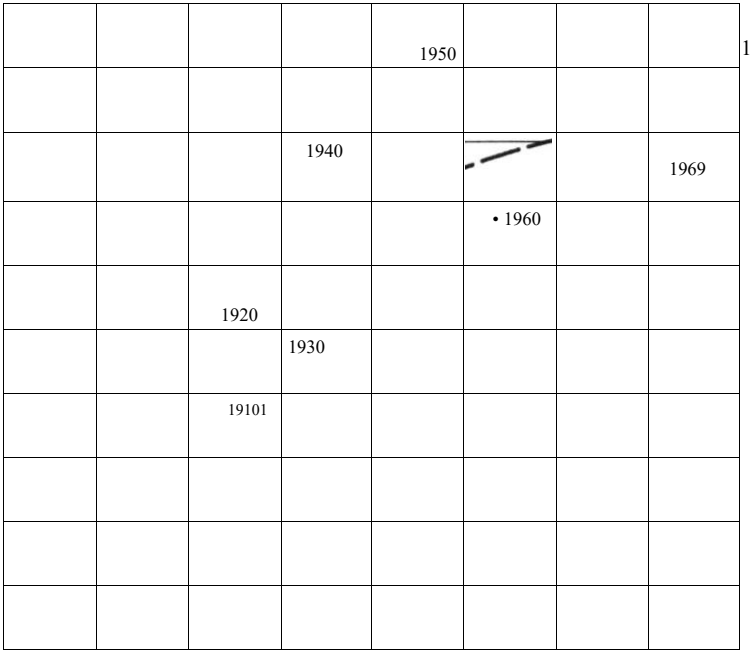
massimo controllo natalità
delle nascite
tasso di efficacia
natalità
biologica produzione industriale
produzione per capita
di servizi
pro capite

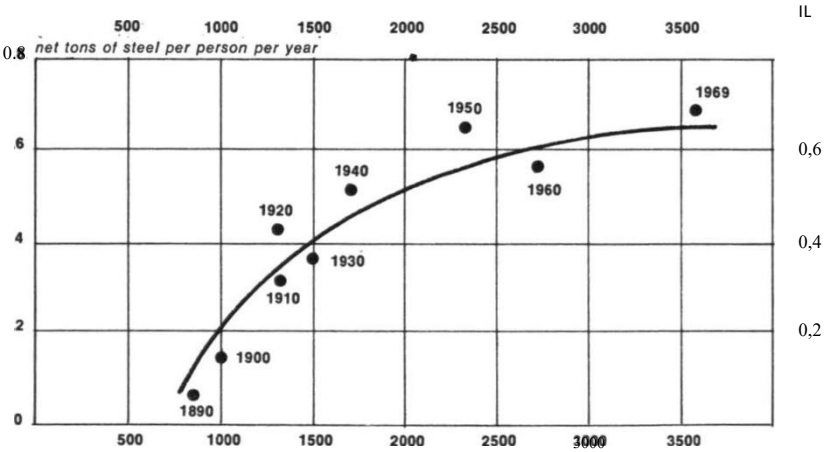


fertilità

Figura 30 CONSUMO DI RAME E ACCIAIO DEGLI USA E PIL PRO CAPITE

libbre di rame a persona all'anno





PIL pro capite (1958 dollari a persona all'anno) .

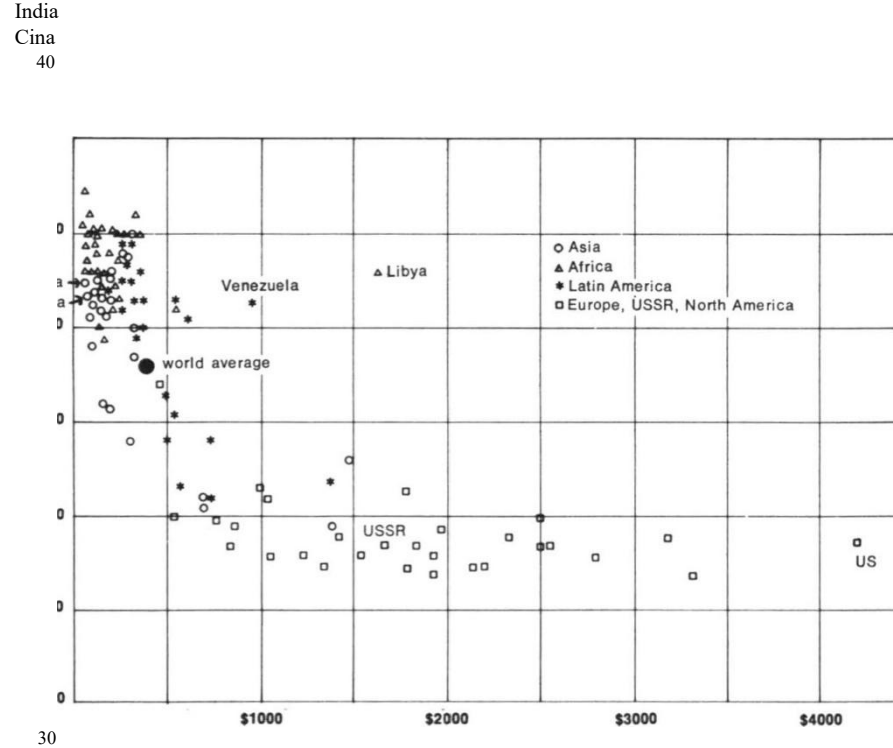
Negli Stati Uniti, il consumo pro capite di rame e acciaio ha attraversato un periodo di rapido incremento con l'aumento della produttività totale, seguito da un periodo di crescita molto più lenta dopo che il consumo ha raggiunto un tasso relativamente elevato.

FONTI: Consumo di rame e acciaio da Metal Statistics (Somerset, NJ: American Metal Market Company, 1970). Popolazione storica e PIL da US Department of Commerce, US Economic Growth (Washington, DC: Government Printing Office, 1969).

Figura 31 TASSI DI NATALITÀ E PIL PRO CAPITE

nascite ogni mille persone all'anno

50



PIL pro capite (dollari USA a persona all'anno)

I tassi di natalità nelle nazioni del mondo mostrano un andamento regolare al ribasso con l'aumento del PIL pro capite. Più di metà della popolazione mondiale è rappresentata nell'angolo in alto a sinistra del grafico, dove il PIL pro capite è inferiore a $ 500 a persona all'anno e i tassi di natalità variano da 40 a 50 per mille

persone all'anno. Le due principali eccezioni a questo andamento, Venezuela e Libia, sono nazioni esportatrici di petrolio, dove l'aumento del reddito è piuttosto recente e la distribuzione del reddito è altamente diseguale.

FONTE: Agenzia statunitense per lo sviluppo internazionale, Population Program Assistance (Washington, DC: Government Printing Office, 1970).

> Il tasso di natalità biologica massimo è il tasso al quale le donne avrebbero figli se non praticassero alcun metodo di controllo delle nascite per tutta la loro vita riproduttiva. Questo tasso è determinato biologicamente, dipendendo principalmente dalla salute generale della popolazione. Il tasso di natalità desiderato è il tasso che si verificherebbe se la popolazione praticasse un "perfetto"

controllo delle nascite e aveva solo pianificato e desiderato bambini. L'efficacia del controllo delle nascite misura la misura in cui la popolazione è in grado di raggiungere il tasso di natalità desiderato piuttosto che quello biologico massimo. Quindi "controllo delle nascite" è definito in senso molto ampio per includere qualsiasi metodo di controllo delle nascite effettivamente praticato da una popolazione, tra cui contraccezione, aborto e astinenza sessuale. Va sottolineato che la perfetta efficacia del controllo delle nascite non implica una bassa fertilità. Se il tasso di natalità desiderato è alto, anche la fertilità sarà alta.

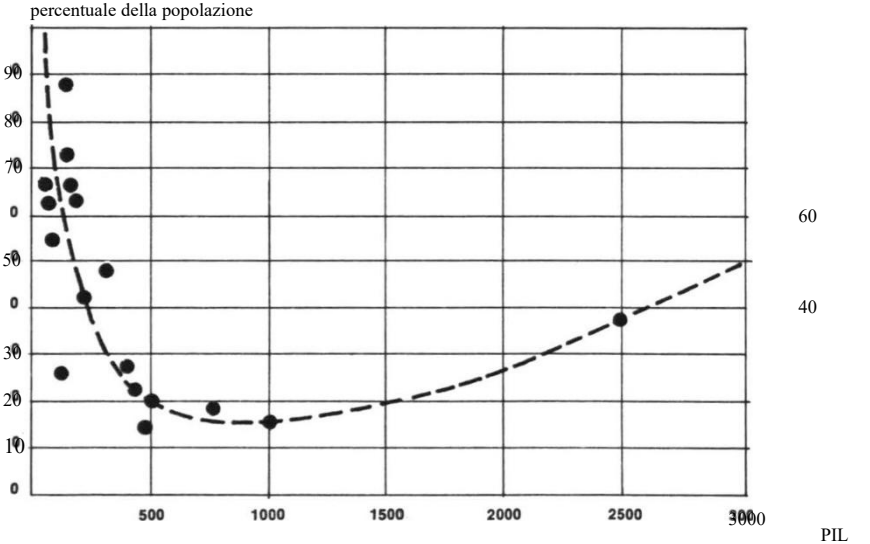
Questi tre fattori che influenzano la fertilità sono a loro volta influenzati da altri fattori nel sistema mondiale. La Figura 31 suggerisce che l'industrializzazione potrebbe essere uno dei più importanti di questi fattori.

La relazione tra i tassi di natalità grezzi e il PIL pro capite di tutte le nazioni del mondo segue uno schema sorprendentemente regolare. In generale, all'aumentare del PIL, il tasso di natalità diminuisce. Ciò sembra essere vero, nonostante le differenze nei fattori religiosi, culturali o politici. Naturalmente, non possiamo concludere da questa cifra che un PIL pro capite in aumento causi direttamente un tasso di natalità inferiore. Apparentemente, tuttavia, una serie di cambiamenti sociali ed educativi che alla fine abbassano il tasso di natalità sono associati all'aumento dell'industrializzazione. Questi cambiamenti sociali si verificano in genere solo dopo un ritardo piuttosto lungo.

In quale punto della struttura del ciclo di feedback opera questa relazione inversa tra tasso di natalità e PIL pro capite? La maggior parte delle prove indicherebbe che non opera attraverso il tasso di natalità biologica massimo. Se non altro, l'industrializzazione crescente implica una salute migliore, così che il numero di nascite possibili potrebbe aumentare con l'aumento del PIL. D'altro

canto, anche l'efficacia del controllo delle nascite aumenterebbe, e questo effetto contribuisce certamente al calo delle nascite mostrato nella figura 31.

Figura 32 FAMIGLIE CHE VOGLIONO QUATTRO O PIÙ FIGLI E PIL PRO CAPITE



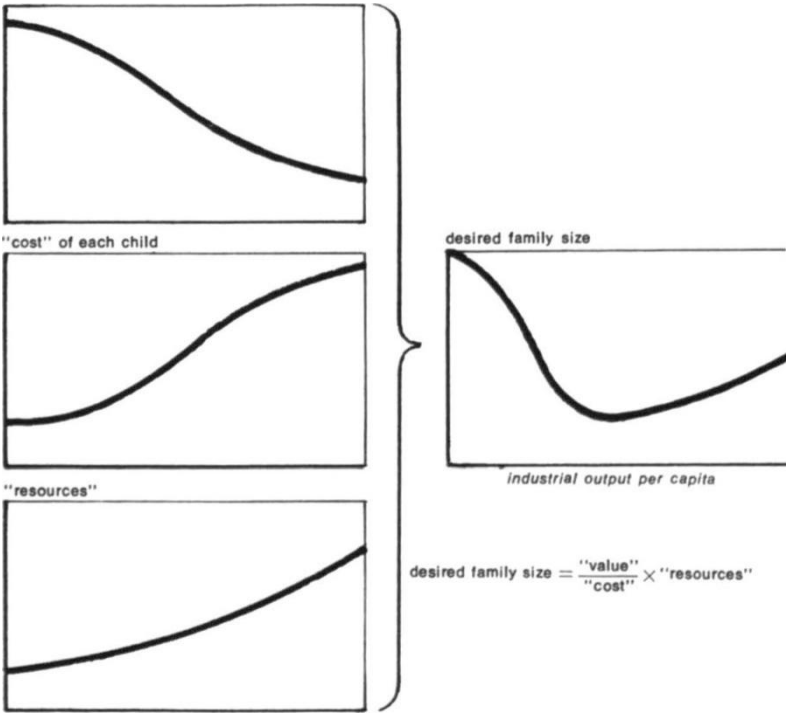
Gli intervistati alle indagini sulla pianificazione familiare in diciassette paesi diversi hanno indicato quanti figli vorrebbero avere. La percentuale di intervistati che desidera famiglie numerose (tre o più figli) mostra una relazione con il PIL pro capite medio paragonabile alla tendenza mostrata nella figura 31.

FONTE: Bernard Berelson et al., Family Planning and Population Programs (Chicago: University of Chicago Press, 1965).

Tuttavia, suggeriamo che l'effetto principale dell'aumento del PIL sia sul tasso di natalità desiderato. La prova di questo suggerimento è mostrata nella figura 32. La curva indica la percentuale di intervistati alle indagini sulla pianificazione familiare che desiderano più di quattro figli in funzione del PIL pro capite. La forma generale della curva è simile a quella della figura 31, fatta eccezione per il leggero aumento delle dimensioni desiderate della famiglia a redditi elevati.

L'economista JJ Spengler ha spiegato la risposta generale del tasso di natalità desiderato al reddito in termini di cambiamenti economici e sociali che si verificano durante il processo di

Figura 33 DIMENSIONE DELLA FAMIGLIA DESIDERATA



"valore" di ogni bambino

produzione industriale pro capite

La rappresentazione schematica dei determinanti economici delle dimensioni della famiglia segue un'analisi costi-benefici approssimativa. La curva risultante riassume l'equilibrio tra valore e costo dei figli e delle risorse disponibili per l'educazione dei figli, il tutto in funzione dell'aumento dell'industrializzazione. Questa curva composita è simile alle curve nelle figure 31 e 32.

industrializzazione. [32] Egli ritiene che ogni famiglia, consapevolmente o inconsapevolmente, soppesi il valore e il costo di un figlio in più rispetto alle risorse che la famiglia ha a disposizione per dedicarsi a quel figlio. Questo

processo determina un atteggiamento generale sulle dimensioni della famiglia che cambia all'aumentare del reddito, come mostrato nella figura 33.

Il "valore" di un bambino include considerazioni monetarie, come il contributo lavorativo del bambino all'azienda agricola o all'attività di famiglia e l'eventuale dipendenza dal sostegno del bambino quando i genitori raggiungono la vecchiaia. Man mano che un paese si industrializza, le leggi sul lavoro minorile, l'istruzione obbligatoria e le disposizioni di sicurezza sociale riducono il potenziale valore monetario di un bambino. Il "valore" include anche i valori più intangibili di un bambino come oggetto d'amore, portatore del nome di famiglia, erede della proprietà di famiglia e prova di mascolinità. Questi valori tendono a essere importanti in qualsiasi società, quindi la funzione di ricompensa ha sempre un valore positivo. È particolarmente importante nelle società povere, dove non ci sono quasi modalità alternative di gratificazione personale.

Il "costo" di un bambino include le spese finanziarie effettive necessarie per soddisfare i bisogni del bambino, i costi opportunità del tempo dedicato dalla madre alla cura del bambino e la maggiore responsabilità e la minore libertà della famiglia nel suo complesso. Il costo dei bambini è molto basso in una società tradizionale. Non viene aggiunto spazio abitativo aggiuntivo per ospitare un nuovo bambino, è disponibile poca istruzione o assistenza medica, i requisiti di vestiario e cibo sono minimi. La madre è generalmente ignorante e non attribuisce alcun valore al suo tempo. La famiglia ha poca libertà di fare qualsiasi cosa che un bambino ostacolerebbe e la struttura della famiglia allargata è lì per fornire assistenza all'infanzia se dovesse diventare necessario, ad esempio, per un genitore lasciare casa per trovare un lavoro.

Tuttavia, con l'aumento del reddito familiare, ai bambini viene dato più del cibo e del vestiario di base. Ricevono un alloggio e un'assistenza medica migliori, e l'istruzione diventa necessaria e costosa. Viaggi, svago e un impiego alternativo per la madre diventano possibilità incompatibili con una famiglia numerosa. La struttura della famiglia allargata tende a scomparire con l'industrializzazione, e l'assistenza sostitutiva all'infanzia è costosa.

Le "risorse" che una famiglia deve dedicare a un figlio generalmente aumentano con il reddito. A un reddito molto alto, le curve di valore e costo diventano quasi invarianti con ulteriori aumenti del reddito e la curva delle risorse diventa il fattore dominante nel tasso di natalità desiderato composito. Pertanto, nei paesi ricchi, come gli Stati Uniti, la dimensione desiderata della famiglia diventa una funzione diretta del reddito. Va notato che "risorse" è in

parte un concetto psicologico in quanto il reddito effettivo attuale deve essere modificato da un'aspettativa di reddito futuro nella pianificazione della dimensione della famiglia.

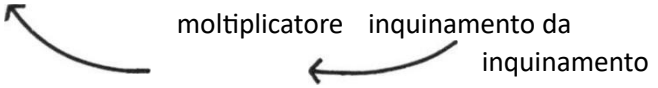
Abbiamo riassunto tutti questi fattori sociali tramite un collegamento a feedback loop tra produzione industriale pro capite e tasso di natalità desiderato. La forma generale della relazione è mostrata sul lato destro della figura 33. Non intendiamo dire con questo collegamento che l'aumento del reddito sia l'unico fattore determinante della dimensione familiare desiderata, o anche che sia un fattore determinante diretto. Infatti, includiamo un ritardo tra produzione industriale pro capite e dimensione familiare desiderata per indicare che questa relazione richiede un aggiustamento sociale, che potrebbe richiedere una o due generazioni per essere completato. Di nuovo, questa relazione potrebbe essere alterata da future politiche o cambiamenti sociali. Così com'è, riflette semplicemente il comportamento storico della società umana. Ovunque si sia verificato uno sviluppo economico, i tassi di natalità sono diminuiti. Dove non si è verificata l'industrializzazione, i tassi di natalità sono rimasti elevati.

Effetto dell'inquinamento sulla vita

Abbiamo incluso nel modello mondiale la possibilità che

l'inquinamento influenzerà l'aspettativa di vita della popolazione mondiale. Esprimiamo questa relazione con un " moltiplicatore della durata della vita da inquinamento", una funzione che moltiplica l'aspettativa di vita altrimenti indicata (dai valori di cibo e servizi medici) per il contributo che ci si aspetta dall'inquinamento. Se l'inquinamento fosse abbastanza grave da abbassare l'aspettativa di vita al 90 percento del suo valore in assenza di inquinamento, il moltiplicatore sarebbe uguale a 0,9. La relazione tra inquinamento e aspettativa di vita è schematizzata di seguito.

aspettativa di vita durata della vita



Ci sono solo scarsi dati globali sull'effetto dell'inquinamento sull'aspettativa di vita. Le informazioni stanno lentamente diventando disponibili sulla tossicità 10 per gli esseri umani di specifici inquinanti, come mercurio e piombo. I tentativi di correlare statisticamente una data concentrazione di inquinante alla mortalità di una popolazione sono stati fatti solo nel campo dell'inquinamento atmosferico.3.3

Sebbene non siano ancora disponibili prove quantitative, non vi è dubbio che esista effettivamente una relazione tra inquinamento e salute umana. Secondo un recente rapporto del Council on Environmental Quality:

Gravi episodi di inquinamento atmosferico hanno dimostrato come l'inquinamento atmosferico possa danneggiare gravemente la salute. Ulteriori ricerche stanno generando un crescente corpo di prove che indicano che anche gli effetti a lungo termine dell'esposizione a basse concentrazioni di inquinanti possono danneggiare la salute e causare malattie croniche e morte prematura, soprattutto per i più vulnerabili, gli anziani e coloro che soffrono già di malattie respiratorie. Le principali malattie legate all'inquinamento atmosferico includono enfisema, bronchite, asma e cancro ai polmoni. [34]

Quale sarà l'effetto sulla vita umana man mano che aumenta l'attuale livello di inquinamento globale? Non possiamo rispondere a questa domanda in modo accurato, ma sappiamo che ci sarà qualche effetto. Saremmo più in errore a ignorare l'influenza dell'inquinamento sull'aspettativa di vita nel modello mondiale che a includerlo nella nostra migliore ipotesi della sua entità. Il nostro approccio a una "migliore ipotesi" è spiegato di seguito e illustrato nella figura 34.

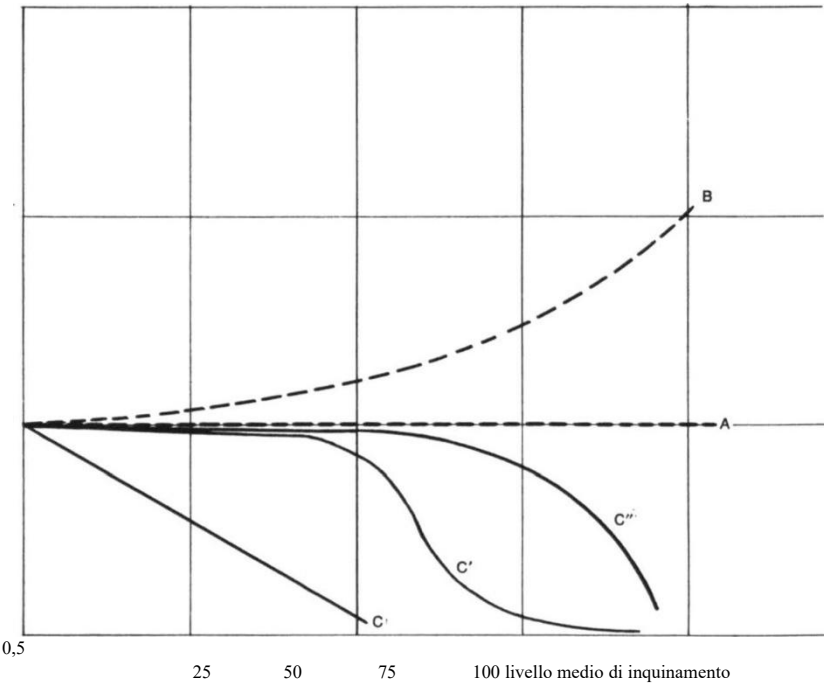
Se un aumento dell'inquinamento di un fattore 100 volte superiore all'attuale livello globale non avesse assolutamente alcun effetto sulla durata della vita, la linea retta A nella figura 34 sarebbe la rappresentazione corretta della relazione che cerchiamo. L'aspettativa di vita non sarebbe correlata all'inquinamento. La curva A è molto improbabile, ovviamente, poiché sappiamo che molte forme di inquinamento sono dannose per il corpo umano. La curva B o qualsiasi curva simile che si eleva sopra la curva A è ancora più improbabile poiché indica che un inquinamento aggiuntivo aumenterà la durata media della vita. Possiamo aspettarci che la relazione tra inquinamento e durata della vita sia negativa, sebbene non sappiamo quale sarà la forma o la pendenza esatta di una curva che

la esprime. Una qualsiasi delle curve etichettate C, o qualsiasi altra curva negativa, potrebbe rappresentare la funzione corretta.

La nostra procedura in un caso come questo è di fare diverse stime del probabile effetto di una variabile su un'altra e poi di testare ogni stima nel modello. Se il comportamento del modello è molto sensibile a piccoli cambiamenti in una curva, sappiamo che dobbiamo ottenere più informazioni prima di includerlo. Se (come in questo caso) la modalità di comportamento dell'intero modello non è sostanzialmente alterata da cambiamenti nella curva, facciamo una stima prudente della sua forma e includiamo i valori corrispondenti nel nostro calcolo. La curva C" nella figura 34 è quella che crediamo rappresenti più accuratamente la relazione tra aspettativa di vita

Figura 34 L'EFFETTO DELL'INQUINAMENTO SULLA DURATA DELLA VITA

moltiplicatore della durata di vita dovuto all'inquinamento



La relazione tra livello di inquinamento e durata media della vita umana potrebbe seguire molte curve diverse. La curva A indica che l'inquinamento non ha alcun effetto sulla durata della vita (l'aspettativa di vita normale è moltiplicata per 1,0). La curva B rappresenta un miglioramento della durata della vita all'aumentare dell'inquinamento (l'aspettativa di vita normale è moltiplicata per un numero maggiore di 1,0). Le curve C, C' e C" riflettono ipotesi diverse sugli effetti deleteri dell'inquinamento sulla durata della vita. La relazione utilizzata nel modello mondiale ha la forma della curva C".

e inquinamento. Questa curva presuppone che un aumento dell'inquinamento globale di un fattore 10 non avrebbe quasi alcun

effetto sulla durata della vita, ma un aumento di un fattore 100 avrebbe un grande effetto.

L'utilità del modello mondiale

Le relazioni discusse sopra comprendono solo tre dei cento circa collegamenti causali che costituiscono il modello mondiale. Sono state scelte per la presentazione qui come esempi del tipo di input informativi che abbiamo utilizzato e del modo in cui li abbiamo utilizzati. In molti casi le informazioni disponibili non sono complete. Tuttavia, crediamo che il modello basato su queste informazioni sia utile anche in questa fase preliminare per diverse ragioni.

Innanzitutto, speriamo che ponendo ogni relazione come un'ipotesi e sottolineandone l'importanza nel sistema mondiale totale, possiamo generare discussioni e ricerche che alla fine miglioreranno i dati con cui dobbiamo lavorare. Questa enfasi è particolarmente importante nelle aree in cui diversi settori del modello interagiscono (come l'inquinamento e la durata della vita umana), dove sarà necessaria una ricerca interdisciplinare.

In secondo luogo, anche in assenza di dati migliorati, le informazioni ora disponibili sono sufficienti a generare valide modalità di comportamento di base per il sistema mondiale. Ciò è vero perché la struttura del ciclo di feedback del modello è un determinante molto più importante del comportamento complessivo rispetto ai numeri esatti utilizzati per quantificare i cicli di feedback. Anche cambiamenti piuttosto grandi nei dati di input non alterano generalmente la modalità di comportamento, come vedremo nelle pagine seguenti. I cambiamenti numerici possono ben influenzare il periodo di un'oscillazione o il tasso di crescita o il tempo di un collasso, ma non influenzeranno il fatto che la modalità di base sia oscillazione o crescita o collasso.* Poiché intendiamo utilizzare il

---

• L'importanza della struttura piuttosto che dei numeri è un concetto molto difficile da presentare senza esempi estesi tratti dall'osservazione e dalla modellazione di sistemi dinamici. Per un'ulteriore discussione di questo punto, vedere il capitolo 6 di Urban Dynamics di JW Forrester (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969).

modello mondiale solo per rispondere a domande sulle modalità di comportamento, non per fare previsioni esatte, siamo principalmente interessati alla correttezza della struttura del ciclo di feedback e solo secondariamente all'accuratezza dei dati. Naturalmente quando inizieremo a cercare una conoscenza più dettagliata e a breve termine, i numeri esatti diventeranno molto più importanti.

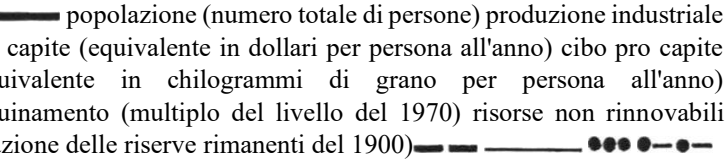
In terzo luogo, se i decisori a qualsiasi livello avessero accesso a previsioni precise e analisi scientificamente corrette di politiche alternative, non ci preoccuperemmo di certo di costruire o pubblicare un modello di simulazione basato su una conoscenza parziale. Sfortunatamente, non esiste un modello perfetto disponibile per l'uso nella valutazione delle importanti questioni politiche odierne. Al momento , le nostre uniche alternative a un modello come questo, basato su una conoscenza parziale, sono modelli mentali, basati sulla miscela di informazioni incomplete e intuizione che attualmente sta dietro alla maggior parte delle decisioni politiche. Un modello dinamico si occupa delle stesse informazioni incomplete disponibili per un modello intuitivo, ma consente l'organizzazione di informazioni da molte fonti diverse in una struttura a ciclo di feedback che può essere analizzata esattamente. Una volta che tutte le ipotesi sono insieme e scritte, possono essere esposte a critiche e la risposta del sistema a politiche alternative può essere testata.

COMPORTAMENTO DEL MODELLO MONDIALE

Ora siamo finalmente in grado di considerare seriamente le domande che abbiamo sollevato all'inizio di questo capitolo. Mentre il sistema mondiale cresce verso i suoi limiti ultimi, quale sarà il suo comportamento più probabile? Quali relazioni ora esistenti cambieranno quando le curve di crescita esponenziale si stabilizzeranno? Come sarà il mondo quando la crescita giungerà al termine? Ci sono, naturalmente, molte possibili risposte a queste domande.

zioni. Esamineremo diverse alternative, ciascuna dipendente da un diverso insieme di ipotesi su come la società umana risponderà ai problemi derivanti dai vari limiti alla crescita.

Cominciamo supponendo che in futuro non ci saranno grandi cambiamenti nei valori umani né nel funzionamento del sistema globale di popolazione-capitolo così come ha funzionato negli ultimi cento anni. I risultati di questa ipotesi sono mostrati nella figura 35. Faremo riferimento a questo output del computer come "esecuzione standard" e la useremo per il confronto con le esecuzioni basate su altre ipotesi che seguono. La scala orizzontale nella figura 35 mostra il tempo in anni dal 1900 al 2100. Con il computer abbiamo tracciato il progresso nel tempo di otto quantità:



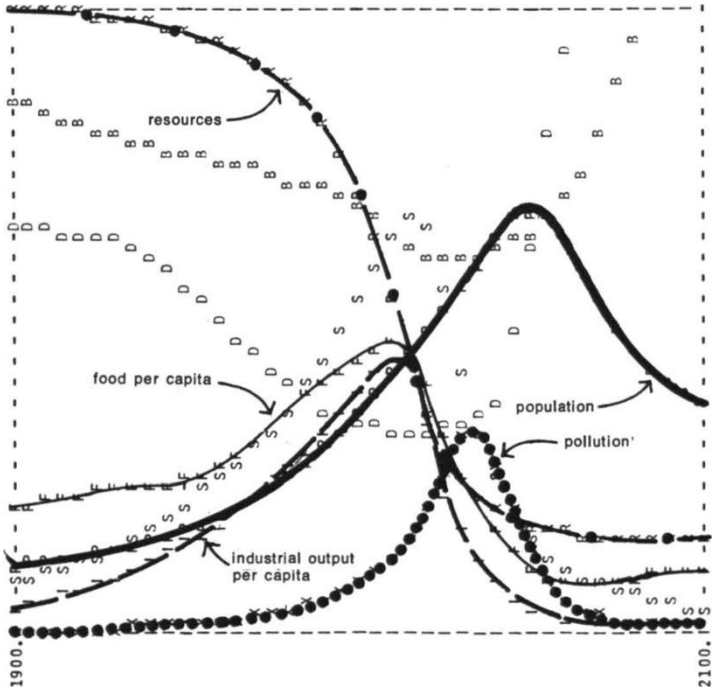
B tasso di natalità grezzo (nascite ogni 1000 persone all'anno)

D tasso di mortalità grezzo (decessi ogni 1000 persone all'anno)

S services per capita (dollar equivalent per person per year)

Ognuna di queste variabili è tracciata su una diversa scala verticale. Abbiamo deliberatamente omesso le scale verticali e abbiamo reso la scala temporale orizzontale un po' vaga perché vogliamo sottolineare le modalità di comportamento generali di questi output del computer, non i valori numerici, che sono solo approssimativi.

Figura 35 MODELLO MONDIALE STANDARD RUN



Il modello mondiale "standard" non presuppone alcun cambiamento importante nelle relazioni fisiche, economiche o sociali che hanno storicamente governato lo sviluppo del sistema mondiale. Tutte le variabili qui tracciate seguono valori storici dal 1900 al 1970. Cibo, produzione industriale e popolazione crescono in modo esponenziale finché la base di risorse in rapida diminuzione non impone un rallentamento della crescita industriale. A causa dei ritardi naturali nel sistema, sia la popolazione che l'inquinamento continuano ad aumentare per un po' di tempo dopo il picco dell'industrializzazione. La crescita della popolazione viene infine arrestata da un aumento del tasso di mortalità dovuto alla diminuzione dei servizi alimentari e medici.

note. Le scale sono, tuttavia, esattamente uguali in tutte le esecuzioni al computer presentate qui, quindi i risultati di esecuzioni diverse possono essere facilmente confrontati.

Tutti i livelli nel modello (popolazione, capitale, inquinamento, ecc.) iniziano con i valori del 1900. Da Imo al 1970 le variabili tracciate nella figura 35 (e numerose altre variabili incluse nel modello ma non tracciate qui) concordano generalmente con i loro valori storici nella misura in cui li conosciamo. La popolazione aumenta da 1,6 miliardi nel 1900 a 3,5 miliardi nel 1970. Sebbene il tasso di natalità diminuisca gradualmente, il tasso di mortalità diminuisce più rapidamente, soprattutto dopo il 1940, e il tasso di crescita della popolazione aumenta. La produzione industriale, il cibo e i servizi pro capite aumentano in modo esponenziale. La base di risorse nel 1970 è ancora circa il 95 percento del suo valore del 1900, ma diminuisce drasticamente in seguito, poiché la popolazione e la produzione industriale continuano a crescere.

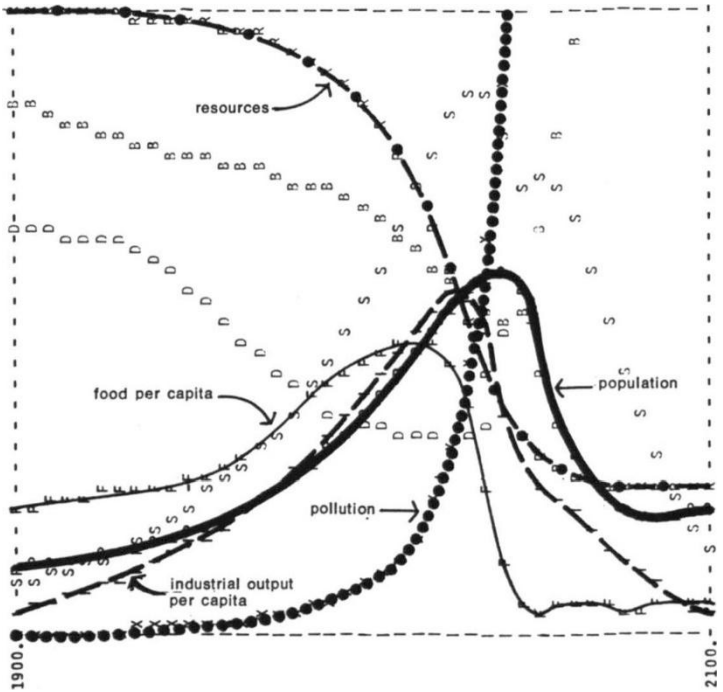
Il comportamento del sistema mostrato nella figura 35 è chiaramente quello di superamento e collasso. In questa corsa il collasso avviene a causa dell'esaurimento delle risorse non rinnovabili. Lo stock di capitale industriale cresce a un livello che richiede un enorme apporto di risorse. Nel processo stesso di tale crescita , esaurisce una grande frazione delle riserve di risorse disponibili. Man mano che i prezzi delle risorse aumentano e le miniere si esauriscono, sempre più capitale deve essere utilizzato per ottenere risorse, lasciando meno da investire per la crescita futura. Infine, gli investimenti non riescono a tenere il passo con il deprezzamento e la base industriale crolla, portando con sé i sistemi di servizi e agricoli, che sono diventati dipendenti dagli input industriali (come fertilizzanti, pesticidi, laboratori ospedalieri, computer e soprattutto energia per la meccanizzazione). Per un breve periodo la situazione è particolarmente grave perché la popolazione , con i ritardi insiti nella struttura per età e nel processo di adattamento sociale, continua a crescere. La popolazione infine diminuisce quando il tasso di mortalità è spinto verso l'alto dalla mancanza di cibo e servizi sanitari.

La tempistica esatta di questi eventi non è significativa, data la grande aggregazione e le numerose incertezze nel modello. È significativo, tuttavia, che la crescita si arresti ben prima dell'anno

2100. Abbiamo cercato in ogni caso dubbio di fare la stima più ottimistica di quantità sconosciute e abbiamo anche ignorato eventi discontinui come guerre o epidemie, che potrebbero agire per porre fine alla crescita anche prima di quanto indicherebbe il nostro modello. In altre parole, il modello è distorto per consentire alla crescita di continuare più a lungo di quanto probabilmente possa continuare nel mondo reale. Possiamo quindi affermare con una certa sicurezza che, nell'ipotesi di nessun cambiamento importante nel sistema attuale, la crescita della popolazione e dell'industria si fermerà sicuramente entro il prossimo secolo, al più tardi.

Il sistema mostrato nella figura 35 crolla a causa di una crisi delle risorse. Cosa succederebbe se la nostra stima dello stock globale di risorse fosse sbagliata? Nella figura 35 abbiamo ipotizzato che nel 1970 ci fosse una fornitura di tutte le risorse per 250 anni, ai tassi di utilizzo del 1970. La colonna dell'indice di riserva statica della tabella delle risorse nel capitolo II verificherà che questa ipotesi è effettivamente ottimistica. Ma siamo ancora più ottimisti e ipotizziamo che nuove scoperte o progressi nella tecnologia possano raddoppiare la quantità di risorse economicamente disponibili. Un computer eseguito con questa ipotesi è mostrato nella figura 36.

La modalità di comportamento generale nella figura 36, crescita e collasso, è molto simile a quella della corsa standard. In questo caso la forza primaria che arresta la crescita è un aumento improvviso del livello di inquinamento, causato da un sovraccarico della capacità di assorbimento naturale dell'ambiente. Il tasso di mortalità aumenta bruscamente a causa dell'inquinamento e della mancanza di cibo. Allo stesso tempo, le risorse sono gravemente impoverite, nonostante la quantità raddoppiata disponibile, semplicemente perché mancano ancora alcuni anni di esposizione. Figura 36 MODELLO MONDIALE CON RISORSE NATURALI
RISERVE RADDOPPIATE



Per testare l'ipotesi del modello sulle risorse disponibili, abbiamo raddoppiato le riserve di risorse nel 1900, mantenendo tutte le altre ipotesi identiche a quelle dell'esecuzione standard. Ora l'industrializzazione può raggiungere un livello più alto poiché le risorse non si esauriscono così rapidamente. Tuttavia, l'impianto industriale più grande rilascia inquinamento a una velocità tale che i meccanismi di assorbimento dell'inquinamento ambientale diventano saturi. L'inquinamento aumenta molto rapidamente, causando un aumento immediato del tasso di mortalità e un calo della produzione alimentare. Alla fine dell'esecuzione le risorse sono gravemente esaurite nonostante la quantità raddoppiata inizialmente disponibile.

La crescita economica dell'industria è sufficiente a consumare queste risorse extra.

Il futuro del sistema mondiale è destinato a crescere e poi a crollare in un'esistenza triste e impoverita? Solo se noi

facciamo l'ipotesi iniziale che il nostro attuale modo di fare le cose non cambierà. Abbiamo ampie prove dell'ingegnosità e della flessibilità sociale dell'umanità. Ci sono, naturalmente, molti probabili cambiamenti nel sistema, alcuni dei quali sono già in atto. La Rivoluzione Verde sta aumentando le rese agricole nei paesi non industrializzati. La conoscenza dei moderni metodi di controllo delle nascite si sta diffondendo rapidamente. Usiamo il modello mondiale come strumento per testare le possibili conseguenze delle nuove tecnologie che promettono di innalzare i limiti della crescita.

CAPITOLO IV

TECNOLOGIA E I LIMITI A CRESCITA

Verso quale punto ultimo tende la società con il suo progresso industriale? Quando il progresso cessa, in quale condizione dobbiamo aspettarci che abbandoni l'umanità?

MULINO DI JOHN STUART, 1857

Sebbene la storia dello sforzo umano contenga numerosi episodi di fallimento dell'umanità nel vivere entro limiti fisici, è il successo nel superamento dei limiti che costituisce la tradizione culturale di molte persone dominanti nel mondo odierno. Negli ultimi trecento anni, l'umanità ha compilato un record impressionante di spinta indietro dei limiti apparenti alla crescita demografica ed economica attraverso una serie di spettacolari progressi tecnologici. Poiché la storia recente di una larga parte della società umana è stata così costantemente di successo, è abbastanza naturale che molte persone si aspettino che le innovazioni tecnologiche continuino ad alzare i limiti fisici all'infinito. Queste persone parlano del futuro con un sonoro ottimismo tecnologico.

Non si intravedono limiti sostanziali né nelle materie prime né nell'energia che le modifiche nella struttura dei prezzi, la sostituzione dei prodotti, i previsti progressi tecnologici e il controllo dell'inquinamento non possano essere risolti ·

Data l'attuale capacità della Terra di produrre cibo e il potenziale di una produzione alimentare aggiuntiva se la tecnologia moderna fosse impiegata più a fondo, la razza umana ha chiaramente a portata di mano la capacità di scacciare la fame dalla Terra, nel giro di un decennio o due.36

La padronanza da parte dell'umanità di vaste, inanimate, inesauribili fonti di energia e l'accelerata capacità di fare di più con meno tecnologia marittima, aerea e spaziale hanno dimostrato che Malthus si sbagliava. Il successo fisico ed economico completo per l'umanità potrebbe ora essere raggiunto in un quarto di secolo.37

Affermazioni come queste possono essere conciliate con le prove dei limiti alla crescita di cui abbiamo discusso qui? Le nuove tecnologie altereranno la tendenza del sistema mondiale a crescere e crollare? Prima di accettare o rifiutare queste visioni ottimistiche di un futuro basato su soluzioni tecnologiche ai problemi dell'umanità, si vorrebbe saperne di più sull'impatto globale delle nuove tecnologie, nel breve e nel lungo termine, e in tutti e cinque i settori interconnessi del sistema popolazione-capitale .

TECNOLOGIA NEL MODELLO MONDIALE

Non esiste una singola variabile chiamata "tecnologia" nel modello mondiale. Non abbiamo trovato possibile aggregare e generalizzare le implicazioni dinamiche dello sviluppo tecnologico perché tecnologie diverse nascono e influenzano settori molto diversi del modello. Pillole anticoncezionali, cereali ad alta resa, televisione e piattaforme petrolifere offshore possono essere tutti considerati sviluppi tecnologici, ma ognuno gioca un ruolo distinto nell'alterare il comportamento del sistema mondiale. Quindi-

A

pertanto dobbiamo rappresentare ogni tecnologia proposta separatamente nel modello, considerando attentamente come potrebbe influenzare ciascuna delle ipotesi che abbiamo fatto sugli elementi del modello. In questa sezione presenteremo alcuni esempi di questo approccio alla "valutazione tecnologica" globale e a lungo termine.

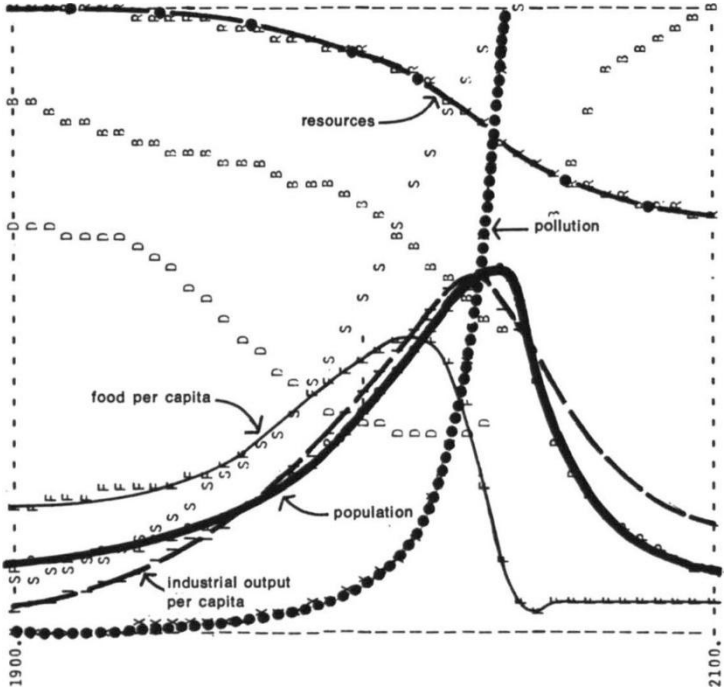
Energia e risorse

La tecnologia della fissione nucleare controllata ha già superato il limite imminente delle risorse di combustibili fossili. È anche possibile che l'avvento dei reattori autofertilizzanti veloci e forse persino dei reattori nucleari a fusione estenderà notevolmente la durata di vita dei combustibili fissili, come l'uranio. Ciò significa che l'uomo ha padroneggiato "fonti di energia vaste, inanimate e inesauribili" che rilasceranno materie prime illimitate per i suoi impianti industriali? Quale sarà l'effetto dell'aumento dell'uso dell'energia nucleare sulla disponibilità di risorse nel sistema mondiale?

Alcuni esperti ritengono che abbondanti risorse energetiche consentiranno all'umanità di scoprire e utilizzare materiali altrimenti inaccessibili (ad esempio nel fondale marino); di elaborare minerali più poveri, persino fino alla roccia comune; e di riciclare rifiuti solidi e recuperare i metalli in essi contenuti. Sebbene questa sia una credenza comune, non è affatto universale, come indica la seguente citazione del geologo Thomas Lovering.

Un'energia più economica, infatti, ridurrebbe di poco i costi totali (principalmente capitale e manodopera) richiesti per l'estrazione e la lavorazione della roccia. Le enormi quantità di rifiuti inutilizzabili prodotte per ogni unità di metallo nel granito comune (in un rapporto di almeno 2.000 a l) sono più facilmente smaltibili su un progetto che sul campo. Per recuperare i minerali ricercati, la roccia deve essere frantumata con esplosivi, perforata per pozzi di immissione e recupero e inondata con soluzioni contenenti speciali sostanze chimiche estrattive. Si devono quindi prendere misure per evitare la perdita di soluzioni e la conseguente contaminazione delle falde acquifere e delle acque superficiali . Queste operazioni non saranno evitate dall'energia nucleare . [38]

Figura 37 MODELLO MONDIALE CON RISORSE "ILLIMITATE"



Il problema dell'esaurimento delle risorse nel sistema modello mondiale viene eliminato da due ipotesi: in primo luogo, che l'energia nucleare "illimitata" raddoppierà le riserve di risorse che possono essere sfruttate e, in secondo luogo, che l'energia nucleare renderà possibili ampi programmi di riciclaggio e sostituzione. Se questi cambiamenti sono gli unici introdotti nel sistema, la crescita viene fermata dall'aumento dell'inquinamento, come nella figura 36.

Supponiamo, tuttavia, che gli ottimisti tecnologici abbiano ragione e che l'energia nucleare risolverà i problemi di risorse del mondo. Il risultato dell'inclusione di tale ipotesi nel modello mondiale è mostrato nella figura

37. Per esprimere la possibilità di utilizzare minerali di qualità inferiore o di estrarre minerali dal fondale marino, abbiamo raddoppiato la quantità totale di risorse disponibili, come in

A

figura 36. Abbiamo anche ipotizzato che, a partire dal 1975, i programmi di recupero e riciclaggio ridurranno l'input di risorse vergini necessarie per unità di produzione industriale a solo un quarto della quantità utilizzata oggi. Entrambe queste ipotesi sono, bisogna ammetterlo, più ottimistiche che realistiche.

Nella figura 37 non si verificano effettivamente carenze di risorse. La crescita è fermata dall'aumento dell'inquinamento, come nella figura 36. L'assenza di qualsiasi vincolo da parte delle risorse consente alla produzione industriale, al cibo e ai servizi di aumentare leggermente rispetto alla figura 36 prima di crollare. La popolazione raggiunge circa lo stesso livello di picco della figura 36, ma crolla più improvvisamente e a un valore finale inferiore.

Le risorse "illimitate" non sembrano quindi essere la chiave per sostenere la crescita nel sistema mondiale. Apparentemente, l'impulso economico che tale disponibilità di risorse fornisce deve essere accompagnato da limiti all'inquinamento se si vuole evitare un collasso del sistema mondiale.

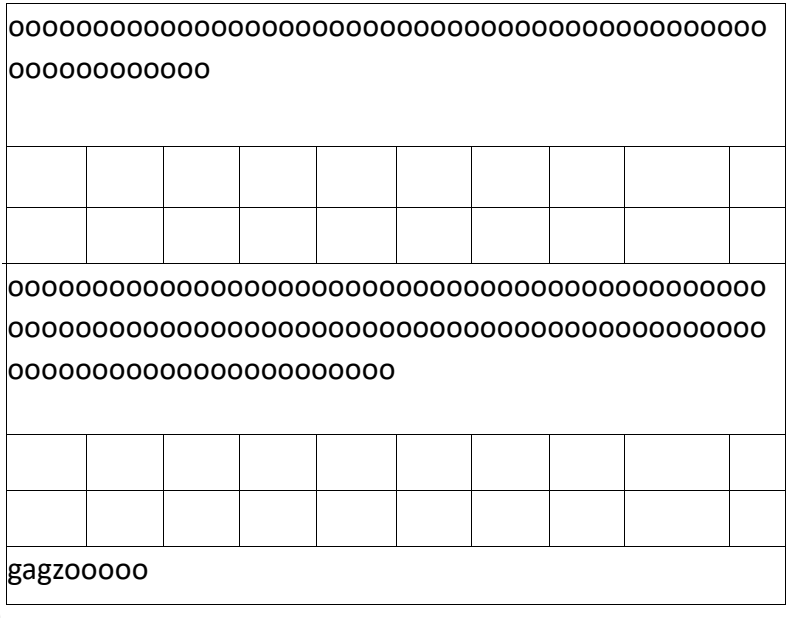
Controllo dell'inquinamento

Abbiamo ipotizzato nella figura 37 che l'avvento dell'energia nucleare non abbia né aumentato né diminuito la quantità media di inquinamento generato per unità di produzione industriale. L'impatto ecologico dell'energia nucleare non è ancora chiaro. Mentre alcuni sottoprodotti del consumo di combustibili fossili, come CO2 e anidride solforosa, saranno ridotti, i sottoprodotti radioattivi saranno aumentati. Il riciclaggio delle risorse ridurrà sicuramente l'inquinamento da rifiuti solidi e da alcuni metalli tossici. Tuttavia, un passaggio all'energia nucleare avrà probabilmente scarsi effetti sulla maggior parte degli altri tipi di

inquinamento, inclusi i sottoprodotti della maggior parte dei processi di produzione, l'inquinamento termico e l'inquinamento derivante dalle pratiche agricole.

Figura 38 COSTO DELLA RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO

dollari per libbra


ooooooo



10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 riduzione della domanda biologica di ossigeno (percentuale)

Il costo incrementale della riduzione dei rifiuti organici da un impianto di produzione di zucchero di barbabietola da 2.700 tonnellate al giorno aumenta vertiginosamente man mano che gli standard di emissione si avvicinano alla purezza completa. La riduzione della domanda biologica di ossigeno (una misura dell'ossigeno necessario per decomporre i rifiuti) costa meno di 1 $ a libbra fino al 30 percento di riduzione. Una riduzione oltre il 65 percento richiede più di 20 $ per ogni libbra aggiuntiva rimossa e, al 95 percento di riduzione, ogni libbra rimossa costa 60 $.

FONTE: Secondo rapporto annuale del Consiglio sulla qualità ambientale (Washington, DC: Government Printing Office, 1971).

È probabile, tuttavia, che una società mondiale con energia nucleare prontamente disponibile sarebbe in grado di controllare la generazione di inquinamento industriale con mezzi tecnologici. Dispositivi di controllo dell'inquinamento sono già in fase di sviluppo e installazione su larga scala nelle aree industrializzate. Come si comporterebbe il modello di comportamento?

A

sarebbe cambiato se fosse stata istituita una politica di rigoroso controllo dell'inquinamento, diciamo nel 1975?

Un controllo rigoroso dell'inquinamento non significa necessariamente un controllo totale dell'inquinamento. È impossibile eliminare tutto l'inquinamento a causa di vincoli sia tecnologici che economici. Economicamente, il costo del controllo dell'inquinamento aumenta con l'aumentare degli standard sulle emissioni. La Figura 38 mostra il costo della riduzione dell'inquinamento idrico da uno stabilimento di lavorazione dello zucchero in funzione dei rifiuti organici rimossi. Se non

fosse consentito a nessun rifiuto organico di lasciare l'impianto, il costo sarebbe 100 volte maggiore rispetto a se solo il 30 percento dei rifiuti fosse rimosso dall'effluente. La Tabella 6 di seguito mostra un andamento simile nei costi previsti per la riduzione dell'inquinamento atmosferico in una città degli Stati Uniti. [39]

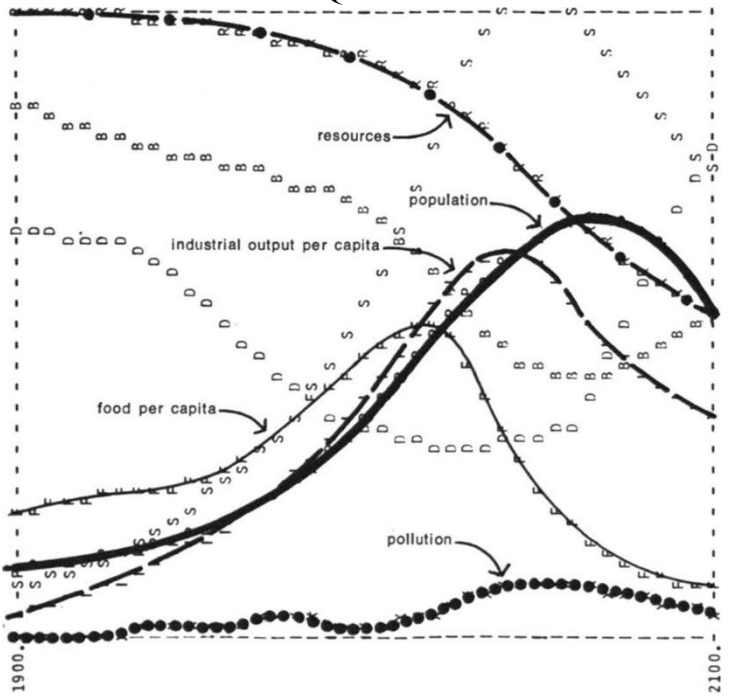
Nella figura 39 è rappresentato il modello mondiale di output ipotizzando sia la riduzione dell'esaurimento delle risorse della figura 37 sia una riduzione della generazione di inquinamento da tutte le fonti di un fattore quattro,

Tabella 6 COSTO DELLA RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO IN UNA CITTÀ DEGLI STATI UNITI

Percentuale di riduzione di SO,	Percentuale di riduzione delle particelle	Costo previsto
5	22	$ 50.000
42	66	
48	69	

a partire dal 1975. Una riduzione a meno di un quarto dell'attuale tasso di generazione di inquinamento è probabilmente irrealistica a causa dei costi e della difficoltà di eliminare alcuni tipi di inquinamento, come l'inquinamento termico e i radioisotopi derivanti dalla generazione di energia nucleare, il deflusso di fertilizzanti e le particelle di amianto dalle guarnizioni dei freni. Supponiamo che una riduzione così netta of

Figura 39 MODELLO MONDIALE CON RISORSE "ILLIMITATE"
E CONTROLLI DELL'INQUINAMENTO



Un ulteriore miglioramento tecnologico viene aggiunto al modello mondiale nel 1975 per evitare i problemi di esaurimento delle risorse e di inquinamento dei precedenti modelli. Qui assumiamo che la generazione di inquinamento per unità di produzione industriale e agricola possa essere ridotta a un quarto del suo valore del 1970. Le politiche sulle risorse sono le stesse di quelle nella figura 37. Questi cambiamenti consentono alla popolazione e all'industria di crescere fino al raggiungimento del limite di terra arabile. Il cibo pro capite diminuisce e anche la crescita industriale rallenta poiché il capitale viene dirottato verso la produzione alimentare.

Una riduzione della produzione di inquinamento potrebbe avvenire a livello globale e rapidamente a fini di sperimentazione del modello, non perché riteniamo che sia politicamente fattibile, date le nostre attuali istituzioni.

Come mostra la figura 39, la politica di controllo dell'inquinamento riesce effettivamente a scongiurare la crisi di inquinamento della precedente serie. Sia la popolazione che la produzione industriale pro capite aumentano ben oltre i loro valori di picco nella figura 37, e tuttavia l'esaurimento delle risorse e l'inquinamento non diventano mai problemi. La modalità di superamento è ancora operativa, tuttavia, e il crollo avviene questa volta a causa della scarsità di cibo.

Finché la produzione industriale aumenta nella figura 39, la resa di ogni ettaro di terra continua ad aumentare (fino a un massimo di sette volte la resa media del 1900) e vengono sviluppate nuove terre. Allo stesso tempo, tuttavia, parte della terra arabile viene presa per uso urbano-industriale e parte della terra viene erosa, soprattutto da pratiche agricole altamente capitalizzate. Alla fine si raggiunge il limite della terra arabile. Dopo quel punto, mentre la popolazione continua ad aumentare, il cibo pro capite diminuisce. Quando la carenza di cibo diventa evidente, la produzione industriale viene dirottata verso il capitale agricolo per aumentare le rese della terra. C'è meno capitale disponibile per gli investimenti e infine la produzione industriale pro capite inizia a diminuire. Quando il cibo pro capite scende al livello di sussistenza, il tasso di mortalità inizia ad aumentare, ponendo fine alla crescita della popolazione.

Aumento della resa alimentare e del controllo delle nascite

Il problema nella figura 39 potrebbe essere visto come troppo poco cibo o come troppe persone. La risposta tecnologica alla prima situazione sarebbe quella di produrre più cibo, forse tramite un'ulteriore estensione dei principi della Rivoluzione Verde. (Lo sviluppo delle nuove varietà di grano ad alta resa che costituiscono la Rivoluzione Verde è stato incluso nelle equazioni del modello originale.) La soluzione tecnologica al secondo problema sarebbe quella di fornire metodi migliori di nascita

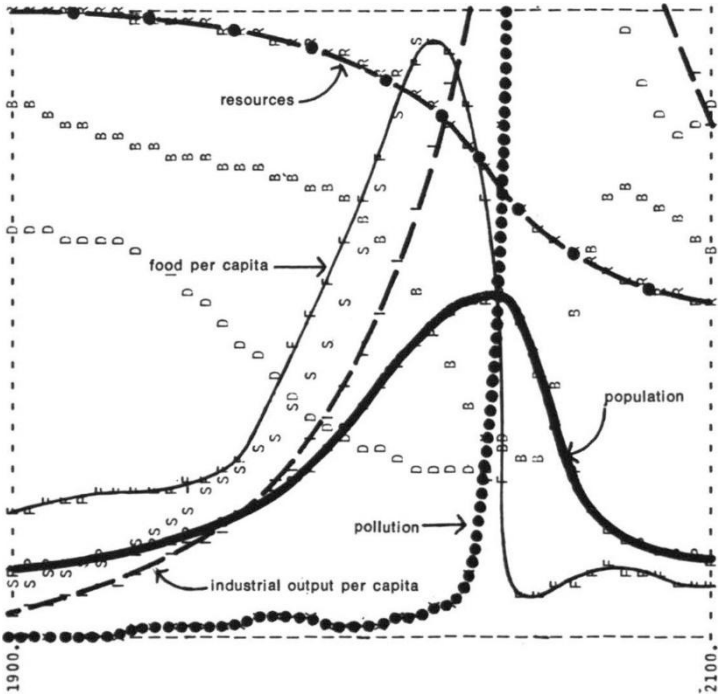
THE TO

A

40

E AUMENTATO

PRODUTTIVITÀ AGRICOLA



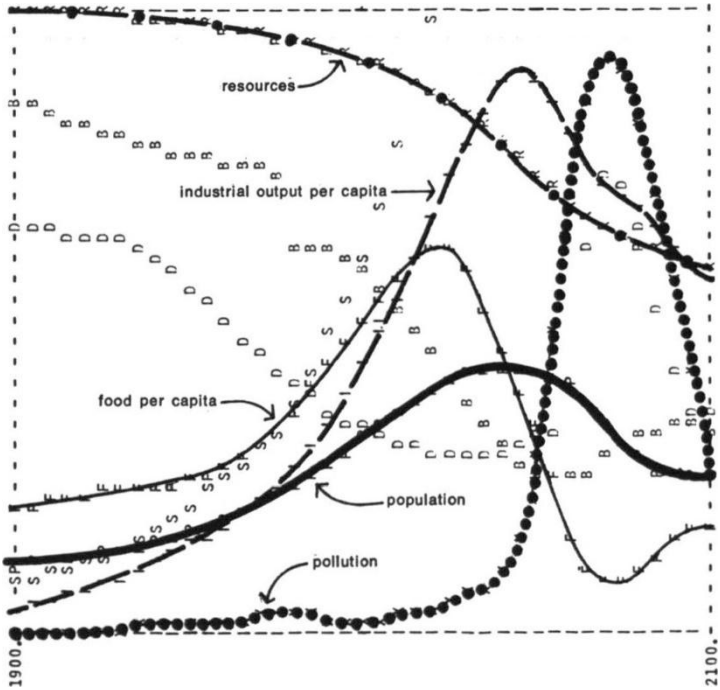
Per evitare la crisi alimentare del modello precedente, la resa media della terra è raddoppiata nel 1975, oltre alle politiche di inquinamento e risorse delle cifre precedenti. La combinazione di queste tre politiche rimuove così tanti vincoli alla crescita che popolazione e industria raggiungono livelli molto alti. Sebbene ogni unità di produzione industriale generi molto meno inquinamento, la produzione totale aumenta abbastanza da creare una crisi di inquinamento che pone fine alla crescita.

controllo. I risultati di questi due cambiamenti, istituiti nel 1975 insieme ai cambiamenti nell'uso delle risorse e nella generazione di

inquinamento di cui abbiamo già discusso, sono mostrati sia separatamente che simultaneamente nelle figure 40, 41 e 42.

Nella figura 40 assumiamo che la resa normale per ettaro di

E IL CONTROLLO DELLE NASCITE "PERFETTO"

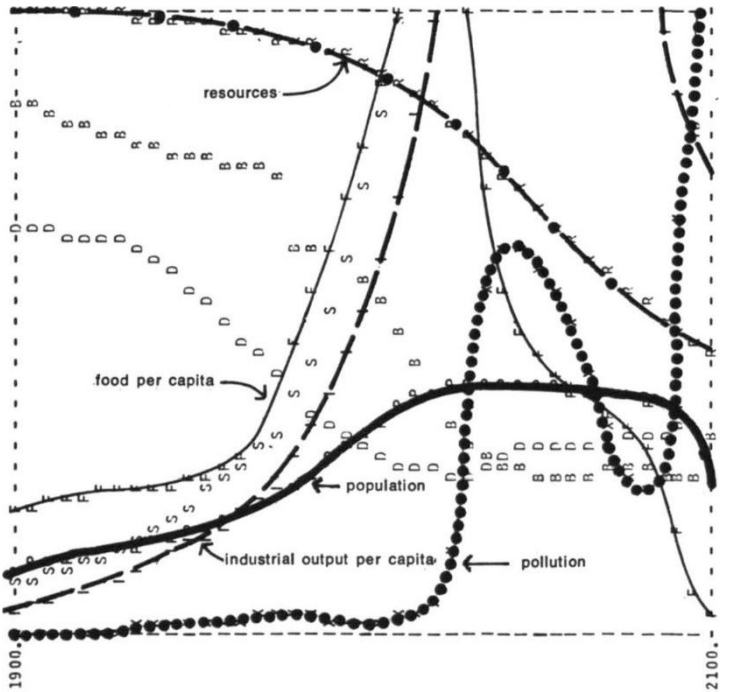


Invece di un aumento della produzione alimentare, un aumento dell'efficacia del controllo delle nascite viene testato come politica per scongiurare il problema alimentare. Poiché il controllo delle nascite è volontario e non comporta alcuna variazione di valore, la popolazione continua a crescere, ma più lentamente di quanto non abbia fatto nella figura 39. Tuttavia, la crisi alimentare viene posticipata solo di un decennio o due.

tutta la terra del mondo può essere ulteriormente aumentata di un fattore due. Il risultato è un enorme aumento di cibo, produzione industriale e servizi pro capite. La produzione industriale media pro capite per tutta la popolazione mondiale diventa quasi uguale al livello degli Stati Uniti del 1970, ma solo per un breve periodo. Sebbene sia ancora in vigore una rigida politica di controllo dell'inquinamento, in modo che l'inquinamento per unità di produzione sia

AUMENTO DELL'AGRICOLTURA

PRODUTTIVITÀ E CONTROLLO DELLE NASCITE "PERFETTO"



Quattro politiche tecnologiche simultanee vengono introdotte nel modello mondiale nel tentativo di evitare il comportamento di crescita e collasso delle esecuzioni precedenti. Le risorse vengono sfruttate appieno e il 75 percento di quelle utilizzate viene riciclato. La generazione di inquinamento viene

ridotta a un quarto del suo valore del 1970. Le rese dei terreni vengono raddoppiate e metodi efficaci di controllo delle nascite vengono resi disponibili alla popolazione mondiale. Il risultato è un raggiungimento temporaneo di una popolazione costante con un reddito pro capite medio mondiale che raggiunge quasi l'attuale livello degli Stati Uniti. Infine, però, la crescita industriale viene interrotta e il tasso di mortalità aumenta man mano che le risorse si esauriscono, l'inquinamento si accumula e la produzione alimentare diminuisce.

ridotto di un fattore quattro, l'industria cresce così rapidamente che presto produce quattro volte più output. Quindi il livello di inquinamento aumenta nonostante la politica di controllo dell'inquinamento, e una crisi di inquinamento ferma un'ulteriore crescita, come è successo nella figura 37.

La figura 41 mostra la politica tecnologica alternativa, il perfetto controllo delle nascite, praticato volontariamente, a partire dal 1975. Il risultato non è quello di fermare completamente la crescita della popolazione, perché una tale politica impedisce solo le nascite di bambini indesiderati. Il tasso di natalità diminuisce notevolmente, tuttavia, e la popolazione cresce più lentamente rispetto alle figure 39 e 40. In questa corsa la crescita viene fermata da una crisi alimentare che si verifica circa 20 anni dopo rispetto alla figura 39.

Nella figura 42 applichiamo simultaneamente una maggiore resa della terra e un perfetto controllo delle nascite. Qui stiamo utilizzando una politica tecnologica in ogni settore del modello mondiale per aggirare in qualche modo i vari limiti alla crescita. Il sistema modello produce energia nucleare, ricicla risorse ed estrae dalle riserve più remote; trattiene quanti più inquinanti possibile; spinge le rese della terra a livelli inimmaginabili; e produce solo bambini che sono attivamente desiderati dai loro genitori. Il risultato è comunque una fine della crescita prima dell'anno 2100. In questo caso la crescita è fermata da tre crisi simultanee. L'uso eccessivo della terra porta all'erosione e la produzione alimentare diminuisce. Le risorse sono gravemente impoverite da una popolazione mondiale prospera (ma non prospera come l'attuale popolazione degli Stati Uniti).

L'inquinamento aumenta, diminuisce e poi aumenta di nuovo drasticamente, causando un'ulteriore diminuzione della produzione alimentare e un improvviso aumento del tasso di mortalità. L'applicazione di soluzioni tecnologiche da sola ha prolungato il periodo di crescita della popolazione e industriale, ma non ha rimosso i limiti ultimi a tale crescita.

La modalità di overshoot

Date le numerose approssimazioni e limitazioni del modello mondiale, non ha senso soffermarsi tristemente sulla serie di catastrofi che tende a generare. Sottolineeremo ancora una volta che nessuno di questi output del computer è una previsione. Non ci aspetteremmo che il mondo reale si comporti come il modello del mondo in nessuno dei grafici che abbiamo mostrato, specialmente nelle modalità di collasso. Il modello contiene affermazioni dinamiche solo sugli aspetti fisici delle attività dell'uomo. Presuppone che le variabili sociali (distribuzione del reddito, atteggiamenti sulle dimensioni della famiglia, scelte tra beni, servizi e cibo) continueranno a seguire gli stessi modelli che hanno seguito in tutto il mondo nella storia recente. Questi modelli e i valori umani che rappresentano sono stati tutti stabiliti nella fase di crescita della nostra civiltà. Sarebbero certamente notevolmente rivisti man mano che la popolazione e il reddito iniziassero a diminuire. Poiché troviamo difficile immaginare quali nuove forme di comportamento sociale umano potrebbero emergere e con quale rapidità emergerebbero in condizioni di collasso, non abbiamo tentato di modellare tali cambiamenti sociali. La validità del nostro modello regge solo fino al punto in ogni grafico di output in cui la crescita giunge al termine e inizia il collasso.

Sebbene abbiamo molte riserve sulle approssimazioni e semplificazioni nel modello mondiale attuale, ci ha portato a una conclusione che sembra giustificata in base a tutte le ipotesi che abbiamo testato finora. La modalità di comportamento di base del sistema mondiale è la crescita esponenziale della popolazione e del capitale, seguita dal collasso. Come abbiamo mostrato nelle esecuzioni del modello presentate qui, questa modalità di

comportamento si verifica se non assumiamo alcun cambiamento nel sistema attuale o se assumiamo un qualsiasi numero di cambiamenti tecnologici nel sistema.

L'assunto implicito alla base di tutti i modelli che abbiamo presentato in questo capitolo è che la crescita della popolazione e del capitale dovrebbe essere autorizzata a continuare finché non raggiunge un limite "naturale". Questo presupposto sembra anche essere una parte fondamentale del sistema di valori umani attualmente operativo nel mondo reale. Ogni volta che incorporiamo questo valore nel modello, il risultato è che il sistema in crescita supera il suo limite massimo e poi crolla. Quando introduciamo sviluppi tecnologici che sollevano con successo una certa limitazione alla crescita o evitano un crollo, il sistema semplicemente cresce fino a un altro limite, lo supera temporaneamente e ricade. Data questa prima ipotesi, che la crescita della popolazione e del capitale non dovrebbe essere deliberatamente limitata ma dovrebbe essere lasciata a "cercare i propri livelli", non siamo stati in grado di trovare un insieme di politiche che evitino la modalità di comportamento del crollo.

Non è davvero difficile capire come si verifica la modalità di collasso. Ovunque nella rete di circuiti di feedback interconnessi che costituiscono il sistema mondiale abbiamo ritenuto necessario rappresentare la situazione del mondo reale introducendo ritardi temporali tra le cause e i loro effetti finali. Si tratta di ritardi naturali che non possono essere controllati con mezzi tecnologici. Includono, ad esempio, il ritardo di circa quindici anni tra la nascita di un bambino e il momento in cui il bambino può riprodursi per la prima volta. Il ritardo temporale inerente all'invecchiamento di una popolazione introduce un certo ritardo inevitabile nella capacità della popolazione di rispondere attraverso il tasso di natalità alle condizioni mutevoli. Un altro ritardo si verifica tra il momento in cui un inquinante viene rilasciato nell'ambiente e il momento in cui ha un'influenza misurabile sulla salute umana. Questo ritardo include il passaggio dell'inquinante attraverso l'aria o i fiumi o il suolo e nella catena alimentare, e anche il tempo dall'ingestione o

dall'assorbimento umano dell'inquinante fino alla comparsa dei sintomi clinici. Questo secondo ritardo può essere lungo fino a 20 anni nel caso di alcuni agenti cancerogeni. Altri ritardi si verificano perché il capitale non può essere trasferiti istantaneamente da un settore all'altro per soddisfare le mutevoli esigenze, perché nuovi capitali e terreni possono essere prodotti o sviluppati solo gradualmente e perché l'inquinamento può essere disperso o metabolizzato in forme innocue solo lentamente.

I ritardi in un sistema dinamico hanno effetti gravi solo se il sistema stesso subisce rapidi cambiamenti. Forse un semplice esempio chiarirà questa affermazione. Quando guidi un'auto, c'è un ritardo molto breve e inevitabile tra la tua percezione della strada davanti a te e la tua reazione ad essa. C'è un ritardo più lungo tra la tua azione sull'acceleratore o sui freni e la risposta dell'auto a tale azione. Hai imparato a gestire quei ritardi. Sai che, a causa dei ritardi, non è sicuro guidare troppo velocemente. Se lo fai, sperimenterai sicuramente la modalità di superamento e collasso, prima o poi. Se fossi bendato e dovessi guidare seguendo le istruzioni di un passeggero sul sedile anteriore, il ritardo tra percezione e azione si allungherebbe notevolmente. L'unico modo sicuro per gestire il ritardo prolungato sarebbe rallentare. Se provassi a guidare alla tua normale velocità o se provassi ad accelerare continuamente (come nella crescita esponenziale), il risultato sarebbe disastroso.

Esattamente nello stesso modo, i ritardi nei cicli di feedback del sistema mondiale non sarebbero un problema se il sistema stesse crescendo molto lentamente o non stesse crescendo affatto. In quelle condizioni, qualsiasi nuova azione o politica potrebbe essere istituita gradualmente e i cambiamenti potrebbero farsi strada attraverso i ritardi per fornire un feedback su ogni parte del sistema prima che debba essere introdotta un'altra azione o politica. In condizioni di rapida crescita, tuttavia, il sistema è costretto a nuove politiche e azioni molto prima che i risultati delle vecchie politiche e azioni possano essere valutati correttamente. La situazione è ancora peggiore quando il
la crescita è esponenziale e il sistema cambia sempre più rapidamente.

Così popolazione e capitale, spinti dalla crescita esponenziale, non solo raggiungono i loro limiti, ma li superano temporaneamente prima che il resto del sistema, con i suoi ritardi intrinseci, reagisca per fermare la crescita. L'inquinamento generato in quantità esponenzialmente crescenti può superare il punto di pericolo, perché il punto di pericolo viene percepito per la prima volta anni dopo che l'inquinamento offensivo è stato rilasciato. Un sistema industriale in rapida crescita può creare una base di capitale dipendente da una data risorsa e poi scoprire che le riserve di risorse in calo esponenziale non possono sostenerla. A causa dei ritardi nella struttura per età, una popolazione continuerà a crescere per ben 70 anni, anche dopo che la fertilità media è scesa al di sotto del livello di sostituzione (una media di due figli per ogni coppia sposata).

LA TECNOLOGIA NEL MONDO REALE

Le speranze degli ottimisti tecnologici si concentrano sulla capacità della tecnologia di rimuovere o estendere i limiti alla crescita della popolazione e del capitale. Abbiamo dimostrato che nel modello mondiale l'applicazione della tecnologia a problemi apparenti di esaurimento delle risorse o inquinamento o scarsità di cibo non ha alcun impatto sul problema essenziale, che è la crescita esponenziale in un sistema finito e complesso. I nostri tentativi di utilizzare anche le stime più ottimistiche dei benefici della tecnologia nel modello non hanno impedito il declino finale della popolazione e dell'industria e, di fatto, non hanno in nessun caso posticipato il crollo oltre l'anno 2100. Prima di proseguire nel prossimo capitolo per testare altre politiche, che non sono tecnologiche, estendiamo la nostra discussione sulle soluzioni tecnologiche ad alcuni aspetti della tecnologia che non potevano essere inclusi nel modello mondiale.

IL A

Effetti collaterali tecnologici

Il dott. Garrett Hardin ha definito gli effetti collaterali come "effetti che non avevo previsto o a cui non volevo pensare". [40] Ha suggerito che, poiché tali effetti sono in realtà inseparabili dall'effetto principale, non dovrebbero essere affatto etichettati come effetti collaterali. Ogni nuova tecnologia ha effetti collaterali, ovviamente, e uno degli scopi principali della creazione di modelli è anticipare tali effetti. Le esecuzioni del modello in questo capitolo hanno mostrato alcuni degli effetti collaterali di varie tecnologie sui sistemi fisici ed economici del mondo. Sfortunatamente il modello non indica, in questa fase, gli effetti collaterali sociali delle nuove tecnologie. Questi effetti sono spesso i più importanti in termini di influenza di una tecnologia sulla vita delle persone.

Un esempio recente di effetti collaterali sociali di una nuova tecnologia di successo è apparso quando la Rivoluzione Verde è stata introdotta nelle società agrarie del mondo. La Rivoluzione Verde, ovvero l'utilizzo di nuove varietà di semi, combinate con fertilizzanti e pesticidi, è stata progettata per essere una soluzione tecnologica ai problemi alimentari del mondo. I pianificatori di questa nuova tecnologia agricola hanno previsto alcuni dei problemi sociali che avrebbe potuto sollevare nelle culture tradizionali. La Rivoluzione Verde non intendeva solo produrre più cibo, ma anche essere ad alta intensità di manodopera, per fornire posti di lavoro e non richiedere grandi quantità di capitale. In alcune aree del mondo, come il Punjab indiano, la Rivoluzione Verde ha effettivamente aumentato il numero di posti di lavoro agricoli più velocemente del tasso di crescita della popolazione totale. Nel Punjab orientale c'è stato un aumento salariale reale del 16 percento dal 1963 al 1968. [41]

L'effetto principale, o voluto, della Rivoluzione Verde, ovvero l'aumento della produzione alimentare, sembra essere stato raggiunto. Sfortunatamente gli effetti collaterali sociali non sono stati del tutto benefici.

ufficiale nella maggior parte delle regioni in cui sono state introdotte le nuove varietà di semi. Il Punjab indiano aveva, prima della Rivoluzione verde, un sistema di distribuzione delle terre

notevolmente equo. Il modello più comune nel mondo non industrializzato è un'ampia gamma di proprietà terriere, con la maggior parte delle persone che lavora in fattorie molto piccole e poche persone in possesso della stragrande maggioranza delle terre.

Laddove queste condizioni di disuguaglianza economica già esistono, la Rivoluzione Verde tende a causare una disuguaglianza sempre più ampia. I grandi agricoltori in genere adottano per primi i nuovi metodi. Hanno il capitale per farlo e possono permettersi di correre il rischio. Sebbene le nuove varietà di sementi non richiedano la meccanizzazione con trattori, forniscono molti incentivi economici per la meccanizzazione, soprattutto quando la coltivazione multipla richiede un raccolto e una risemina rapidi. Nelle grandi aziende agricole, semplici considerazioni economiche portano quasi inevitabilmente all'uso di macchinari che sostituiscono la manodopera e all'acquisto di ancora più terra. [42] Gli effetti finali di questo ciclo di feedback positivo socio-economico sono la disoccupazione agricola, l'aumento della migrazione verso la città e forse anche l'aumento della malnutrizione, poiché i poveri e i disoccupati non hanno i mezzi per acquistare il cibo appena prodotto.

Di seguito viene descritto un esempio specifico degli effetti collaterali sociali della Rivoluzione Verde in un'area in cui la terra è distribuita in modo ineguale.

Il reddito di un bracciante senza terra nel Pakistan occidentale oggi è ancora più o meno quello di cinque anni fa, meno di $ 100 all'anno. Al contrario, un proprietario terriero con una fattoria di grano di 1.500 acri mi ha detto quando ero in Pakistan quest'inverno che aveva realizzato un utile netto di oltre $ 100.000 sul suo ultimo raccolto.43

Statistiche dal Messico, dove è iniziata la Rivoluzione Verde negli anni '40, fornisci un altro esempio. Dal 1940 al 1960 il tasso di crescita medio della produzione agricola in Messico era del 5 percento all'anno. Dal 1950 al 1960, tuttavia, il numero medio di giorni lavorati da un lavoratore senza terra è sceso da 194 a 100 e il suo reddito reale è diminuito da $ 68 a $ 56. L'ottanta percento

dell'aumento della produzione agricola proveniva solo dal 3 percento delle aziende agricole."

Questi effetti collaterali sociali inattesi non implicano che la tecnologia della Rivoluzione Verde non abbia avuto successo. Implicano che gli effetti collaterali sociali debbano essere previsti e prevenuti prima dell'introduzione su larga scala di una nuova tecnologia.

> Man mano che l'agricoltura emerge dal suo tradizionale stato di sussistenza per diventare un'agricoltura commerciale moderna ... diventa progressivamente più importante garantire che ricompense adeguate ricadano direttamente all'uomo che coltiva la terra. In effetti, è difficile vedere come possa esserci una modernizzazione significativa della produzione alimentare in America Latina e in Africa a sud del Sahara, a meno che la terra non venga registrata, ceduta e distribuita in modo più equo.45

Una tale preparazione al cambiamento tecnologico richiede, come minimo, molto tempo. Ogni cambiamento nel normale modo di fare le cose richiede un tempo di adattamento, mentre la popolazione, consapevolmente o inconsapevolmente, ristruttura il suo sistema sociale per adattarsi al cambiamento. Mentre la tecnologia può cambiare rapidamente, le istituzioni politiche e sociali generalmente cambiano molto lentamente. Inoltre, non cambiano quasi mai in previsione di un bisogno sociale, ma solo in risposta a uno.

Abbiamo già menzionato l'effetto dinamico dei ritardi fisici nel modello mondiale. Dobbiamo anche tenere a mente la presenza di ritardi sociali, i ritardi necessari per consentire alla società di assorbire o di prepararsi a un cambiamento. La maggior parte dei ritardi, fisici o sociali, riducono la stabilità del sistema mondiale e aumentano la probabilità della modalità di superamento. I ritardi sociali, come quelli fisici, stanno diventando sempre più critici perché i processi di crescita esponenziale stanno creando pressioni aggiuntive a un ritmo sempre più veloce. La popolazione mondiale è cresciuta da 1 miliardo a 2 miliardi in un periodo di oltre cento anni. Il terzo miliardo è stato aggiunto in 30 anni e la popolazione mondiale ha avuto meno di 20 anni per prepararsi al suo quarto miliardo. Il quinto, il sesto e forse persino il settimo miliardo potrebbero arrivare

prima dell'anno 2000, meno di 30 anni da oggi. Sebbene il tasso di cambiamento tecnologico sia finora riuscito a tenere il passo con questo ritmo accelerato, l'umanità non ha fatto praticamente nessuna nuova scoperta per aumentare il tasso di cambiamento sociale (politico, etico e culturale).

Problemi senza soluzioni tecniche

Quando le città americane erano nuove, crescevano rapidamente. La terra era abbondante ed economica, nuovi edifici sorgevano continuamente e la popolazione e la produzione economica delle regioni urbane aumentavano. Alla fine, tuttavia, tutto il terreno nel centro della città era occupato. Era stato raggiunto un limite fisico, che minacciava di fermare la crescita demografica ed economica in quella parte della città. La risposta tecnologica fu lo sviluppo di grattacieli e ascensori, che sostanzialmente eliminarono il vincolo dell'area territoriale come fattore di soppressione della crescita. La città centrale aggiunse più persone e più attività commerciali. Poi apparve un nuovo vincolo. Merci e lavoratori non potevano entrare e uscire dalla densa città centrale abbastanza rapidamente. Di nuovo la soluzione fu tecnologica. Fu costruita una rete di autostrade, sistemi di trasporto pubblico e porti per elicotteri sulle cime degli edifici più alti. Il limite di trasporto fu superato, gli edifici divennero più alti, la popolazione aumentò.

Ora la maggior parte delle città più grandi degli Stati Uniti ha smesso di crescere. (Delle dieci più grandi, cinque (New York, Chicago, Philadelphia, Detroit e Baltimora) hanno registrato una diminuzione della popolazione dal 1960 al 1970. Washington, DC, non ha mostrato alcun cambiamento. Los Angeles, Houston, Dallas e Indianapolis hanno continuato a crescere, almeno in parte annettendo ulteriore territorio.) [46] Le persone più ricche, che hanno una scelta economica, si stanno trasferendo nella cerchia di sobborghi in continua espansione attorno alle città. Le aree centrali sono caratterizzate da rumore, inquinamento, criminalità, tossicodipendenza, povertà, scioperi e crollo dei servizi sociali. La

qualità della vita nel centro della città è diminuita. La crescita è stata fermata in parte da problemi senza soluzioni tecniche.

Una soluzione tecnica può essere definita come "una che richiede un cambiamento solo nelle tecniche delle scienze naturali, esigendo poco o nulla in termini di cambiamento nei valori umani o nelle idee di moralità". [47] Numerosi problemi oggi non hanno soluzioni tecniche . Esempi sono la corsa agli armamenti nucleari, le tensioni razziali e la disoccupazione. Anche se il progresso tecnologico della società soddisfa tutte le aspettative, potrebbe benissimo essere un problema senza soluzione tecnica, o l'interazione di diversi di tali problemi, che alla fine pone fine alla crescita della popolazione e del capitale.

Una scelta di limiti

L'applicazione della tecnologia alle pressioni naturali che l'ambiente esercita contro qualsiasi processo di crescita ha avuto così tanto successo in passato che un'intera cultura si è evoluta attorno al principio di lottare contro i limiti piuttosto che imparare a conviverci. Questa cultura è stata rafforzata dall'apparente Immensità della terra e delle sue risorse e dalla relativa piccolezza dell'uomo e delle sue attività.

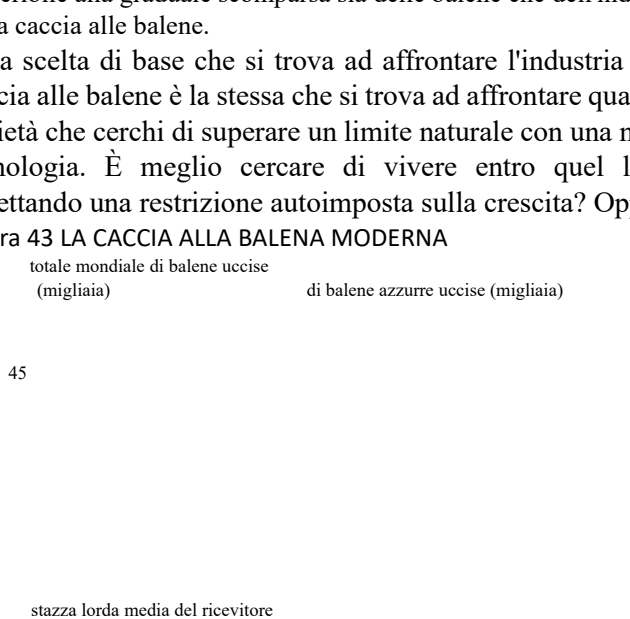
Ma il rapporto tra i limiti della Terra e le attività dell'uomo sta cambiando. Le curve di crescita esponenziale stanno aggiungendo milioni di persone e miliardi di tonnellate di inquinanti all'ecosistema ogni anno. Perfino l'oceano, che un tempo sembrava virtualmente inesauribile, sta perdendo specie dopo specie dei suoi animali commercialmente utili. Recenti statistiche della FAO indicano che il pescato totale delle attività di pesca mondiali è diminuito nel 1969 per la prima volta dal 1950, nonostante pratiche di pesca più meccanizzate e intensive. (Tra le specie commerciali che stanno diventando sempre più scarse ci sono l'aringa scandinava, il menhaden e il merluzzo atlantico.) [48]

Eppure l'uomo non sembra imparare scontrandosi con gli evidenti limiti della terra. La storia dell'industria della caccia alle balene (mostrata nella figura 43) dimostra, per un piccolo sistema, il risultato finale del tentativo di crescere per sempre in un ambiente limitato. I

balenieri hanno sistematicamente raggiunto un limite dopo l'altro e hanno tentato di superarli tutti con aumenti di potenza e tecnologia. Di conseguenza, hanno spazzato via una specie dopo l'altra. Il risultato di questa particolare politica di crescita per sempre non può che essere l'estinzione definitiva sia delle balene che dei balenieri. La politica alternativa è l'imposizione di un limite determinato dall'uomo al numero di balene catturate ogni anno, impostato in modo che la popolazione di balene sia mantenuta a un livello stabile. Il limite autoimposto alla caccia alle balene sarebbe una pressione spiacevole che impedirebbe la crescita dell'industria. Ma forse sarebbe preferibile alla graduale scomparsa sia delle balene che dell'industria della caccia alle balene.

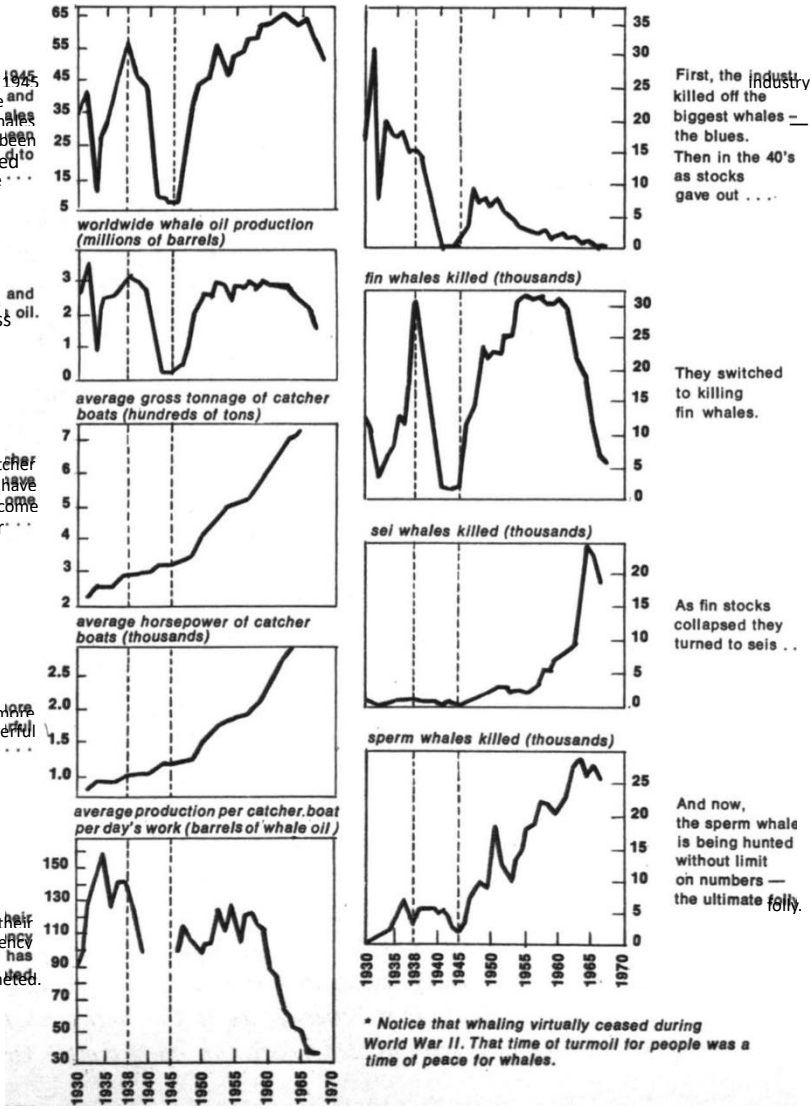
La scelta di base che si trova ad affrontare l'industria della caccia alle balene è la stessa che si trova ad affrontare qualsiasi società che cerchi di superare un limite naturale con una nuova tecnologia. È meglio cercare di vivere entro quel limite accettando una restrizione autoimposta sulla crescita? Oppure

Figura 43 LA CACCIA ALLA BALENA MODERNA



balenottere boreali

uccise (migliaia)



Since 1945 more and more whales haw been killed to produce . . .

Less and less oil.

Catcher boats have become bigger . . .

And more powerful . . .

But their efficiency has plummeted.

First, the industry killed off the biggest whales — the blues. Then in the 40's as stocks gave out . . .

They switched to killing fin whales.

As fin stocks collapsed they turned to seis . .

And now, the sperm whale is being hunted without limit on numbers — the ultimate folly.

* Notice that whaling virtually ceased during World War II. That time of turmoil for people was a time of peace for whales.

tempo di pace per le balene.

Poiché le mandrie selvatiche di balene sono state distrutte, trovare i sopravvissuti è diventato più difficile e ha richiesto più sforzi. Mentre le balene più grandi vengono uccise, le specie più piccole vengono sfruttate per mantenere in vita l'industria. Tuttavia, poiché non ci sono mai stati limiti di specie, le balene grandi vengono sempre catturate ovunque e in qualsiasi momento si incontrino. Quindi le piccole balene vengono utilizzate per sovvenzionare lo sterminio di quelle grandi.

FONTE: Roger Payne, "Among Wild Whales", in The New York Zoological Society Newsletter, novembre 1968.

è preferibile continuare a crescere finché non si presenti un altro limite naturale, nella speranza che a quel punto un altro balzo tecnologico consenta alla crescita di continuare ancora più a lungo? Negli ultimi centinaia di anni la società umana ha seguito la seconda strada in modo così coerente e con successo che la prima scelta è stata praticamente dimenticata.

Ci possono essere molti disaccordi con l'affermazione che la crescita della popolazione e del capitale debba fermarsi presto. Ma praticamente nessuno sosterrà che la crescita materiale su questo pianeta possa continuare per sempre. A questo punto della storia dell'uomo, la scelta posta sopra è ancora disponibile in quasi ogni sfera dell'attività umana. L'uomo può ancora scegliere i suoi limiti e fermarsi quando vuole indebolendo alcune delle forti pressioni che causano la crescita del capitale e della popolazione, o istituendo contropressioni, o entrambe le cose. Tali contropressioni probabilmente non saranno del tutto piacevoli. Comporteranno sicuramente profondi cambiamenti nelle strutture sociali ed economiche che sono state profondamente impresse nella cultura umana da secoli di crescita. L'alternativa è aspettare che il prezzo della tecnologia diventi più di quanto la società possa pagare, o che gli effetti collaterali della tecnologia sopprimano la crescita stessa, o che sorgano problemi che non hanno soluzioni tecniche. In uno qualsiasi di quei punti la scelta dei limiti sarà andata. La crescita sarà fermata da pressioni che non sono scelte dall'uomo e che, come suggerisce il modello mondiale, potrebbero

essere molto peggiori di quelli che la società potrebbe scegliere per sé stessa.

Abbiamo ritenuto necessario soffermarci così a lungo su un'analisi della tecnologia qui perché abbiamo scoperto che l'ottimismo tecnologico è la reazione più comune e più pericolosa alle nostre scoperte dal modello mondiale. La tecnologia può alleviare i sintomi di un problema senza influenzare le cause sottostanti. La fede nella tecnologia come soluzione definitiva a tutti i problemi può quindi distogliere la nostra attenzione dal problema più fondamentale , il problema della crescita in un sistema finito, e impedirci di intraprendere azioni efficaci per risolverlo.

D'altro canto, il nostro intento non è certamente quello di marchiare la tecnologia come malvagia, futile o non necessaria. Noi stessi siamo tecnologi, che lavorano in un'istituzione tecnologica. Crediamo fermamente, come sottolineeremo nel capitolo seguente, che molti degli sviluppi tecnologici qui menzionati (riciclaggio, dispositivi di controllo dell'inquinamento, contraccettivi) saranno assolutamente vitali per il futuro della società umana se saranno combinati con controlli deliberati sulla crescita. Deploreremmo un rifiuto irragionevole dei benefici della tecnologia con la stessa forza con cui qui ci opponiamo a un'accettazione irragionevole degli stessi. Forse il miglior riassunto della nostra posizione è il motto del Sierra Club: "Non opposizione cieca al progresso, ma opposizione al progresso cieco".

Ci auguriamo che la società accolga ogni nuovo progresso tecnologico stabilendo le risposte a tre domande prima che la tecnologia venga ampiamente adottata. Le domande sono:

1. Quali saranno gli effetti collaterali , sia fisici che sociali, se questo sviluppo verrà introdotto su larga scala?

2. Quali cambiamenti sociali saranno necessari prima che questo sviluppo possono essere implementati correttamente e quanto tempo ci vorrà per raggiungerli?
3. Se lo sviluppo ha pieno successo e rimuove un limite naturale alla crescita, quale limite incontrerà il sistema in crescita? La società preferirà le sue pressioni a quelle che questo sviluppo è progettato per rimuovere?

Passiamo ora ad analizzare gli approcci non tecnici per gestire la crescita in un mondo finito.

CAPITOLO V

LO STATO GLOBALE EQUILIBRIO

La maggior parte delle persone pensa che uno Stato per essere felice debba essere grande; ma anche se avessero ragione, non hanno idea di cosa sia uno Stato grande e cosa sia uno Stato piccolo. Anche per le dimensioni degli Stati c'è un limite, come per altre cose, piante, animali, strumenti; perché nessuna di queste cose conserva la sua potenza naturale quando è troppo grande o troppo piccola, ma o perdono del tutto la loro natura o si rovinano.

ARISTOTELE, 322 a.C.

Abbiamo visto che i cicli di feedback positivi che operano senza vincoli generano una crescita esponenziale. Nel sistema mondiale ora sono dominanti due cicli di feedback positivi, che producono una crescita esponenziale della popolazione e del capitale industriale.

In qualsiasi sistema finito devono esserci dei vincoli che possono agire per fermare la crescita esponenziale. Questi vincoli sono cicli di feedback negativi. I cicli negativi diventano sempre più forti man mano che la crescita si avvicina al limite ultimo, o capacità di carico,

dell'ambiente del sistema. Infine i cicli negativi bilanciano o dominano quelli positivi, e la crescita arriva

a una fine. Nel sistema mondiale i cicli di feedback negativi coinvolgono processi quali l'inquinamento dell'ambiente, l'esaurimento delle risorse non rinnovabili e la carestia.

I ritardi inerenti all'azione di questi cicli negativi tendono a consentire alla popolazione e al capitale di superare i loro livelli sostenibili finali. Il periodo di superamento è uno spreco di risorse. In genere diminuisce anche la capacità di carico dell'ambiente, intensificando l'eventuale declino della popolazione e del capitale.

Le pressioni che bloccano la crescita derivanti dai cicli di feedback negativi sono già avvertite in molte parti della società umana. Le principali risposte sociali a queste pressioni sono state dirette ai cicli di feedback negativi stessi. Sono state ideate soluzioni tecnologiche, come quelle discusse nel capitolo IV, per indebolire i cicli o per mascherare le pressioni che generano in modo che la crescita possa continuare. Tali mezzi possono avere un effetto a breve termine nell'alleviare le pressioni causate dalla crescita, ma a lungo termine non fanno nulla per impedire il superamento e il successivo collasso del sistema.

Un'altra risposta ai problemi creati dalla crescita sarebbe quella di indebolire i cicli di feedback positivi che generano la crescita . Una soluzione del genere non è quasi mai stata riconosciuta come legittima da nessuna società moderna e certamente non è mai stata effettivamente attuata. Che tipo di politiche implicherebbe una soluzione del genere? Che tipo di mondo ne risulterebbe? Non esiste quasi nessun precedente storico per un simile approccio e quindi non c'è alternativa se non quella di discuterne in termini di modelli, siano essi modelli mentali o modelli formali e scritti. Come si comporterà il modello del mondo se vi includessimo deliberatamente una politica per controllare la crescita? Un tale cambiamento di politica genererà un comportamento "migliore"?

Ogni volta che utilizziamo parole come "migliore" e iniziamo a scegliere tra output di modelli alternativi, noi, gli sperimentatori, stiamo inserendo i nostri valori e le nostre preferenze nel processo di modellazione. I valori incorporati in ogni relazione causale del modello sono i valori reali e operativi del mondo nella misura in cui possiamo determinarli. I valori che ci portano a classificare gli output del computer come "migliori" o "peggiori" sono i valori personali del modellatore o del suo pubblico. Abbiamo già affermato il nostro sistema di valori rifiutando

la modalità di superamento e collasso come indesiderabile. Ora che stiamo cercando un risultato "migliore", dobbiamo definire il nostro obiettivo per il sistema il più chiaramente possibile. Stiamo cercando un output del modello che rappresenti un sistema mondiale che è:

1. sostenibile senza crollo improvviso e incontrollabile; e

2. in grado di soddisfare i bisogni materiali di base di tutti i suoi abitanti.

Vediamo ora quali politiche determineranno tale comportamento nel modello mondiale.

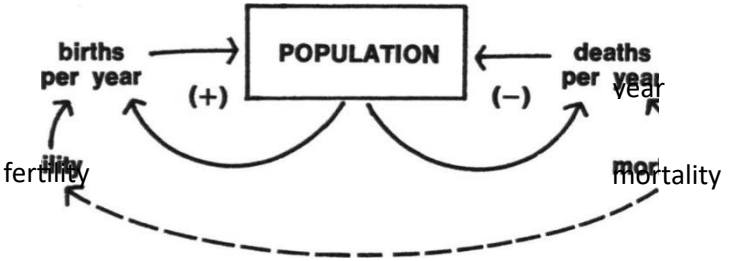
LIMITAZIONI DELIBERATE ALLA CRESCITA

Ricorderete che il ciclo di feedback positivo che genera la crescita della popolazione coinvolge il tasso di natalità e tutti i fattori socio-economici che influenzano il tasso di natalità. È contrastato dal ciclo negativo del tasso di mortalità.

La crescita schiacciante della popolazione mondiale causata dal ciclo positivo del tasso di natalità è un fenomeno recente, risultato della riduzione di grande successo della mortalità mondiale da parte dell'umanità. Il ciclo di feedback negativo di controllo è stato indebolito, consentendo al ciclo positivo di funzionare virtualmente senza vincoli. Ci sono solo due modi per ripristinare lo squilibrio risultante. O il tasso di natalità deve essere ridotto per eguagliare il nuovo tasso di mortalità più basso, oppure il tasso di mortalità deve aumentare di nuovo. Tutti i vincoli "naturali" alla crescita della popolazione operano nel secondo modo: aumentano il tasso di mortalità. Ogni società che desideri evitare tale risultato deve adottare misure deliberate per controllare il ciclo di feedback positivo, per ridurre il tasso di natalità.

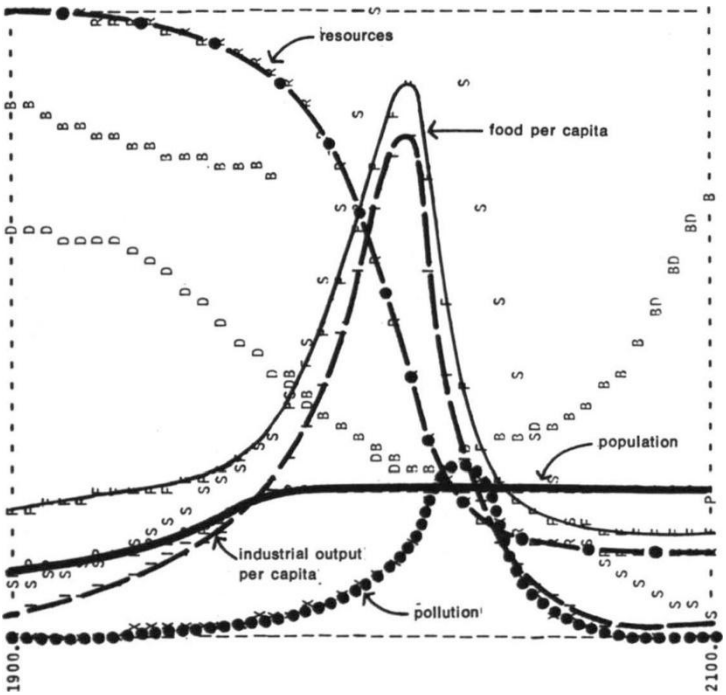
In un modello dinamico è semplice contrastare i cicli di feedback positivi incontrollati. Per il momento sospendiamo il requisito di fattibilità politica e utilizziamo il modello per testare le implicazioni fisiche, se non sociali, della limitazione della crescita della popolazione. Dobbiamo solo aggiungere al modello un altro ciclo causale, che collega il tasso di natalità e il tasso di mortalità. In altre parole, richiediamo che il numero di bambini nati ogni anno sia uguale al numero previsto di

decessi nella popolazione quell'anno. Quindi i cicli di feedback positivo e negativo sono esattamente bilanciati. Man mano che il tasso di mortalità diminuisce, grazie a una migliore alimentazione e assistenza medica, il tasso di natalità diminuirà



simultaneamente. Tale requisito, che è tanto matematicamente semplice quanto socialmente complicato, è ai nostri fini un dispositivo sperimentale, non necessariamente una raccomandazione politica.

Figura 44 MODELLO MONDIALE CON POPOLAZIONE STABILIZZATA



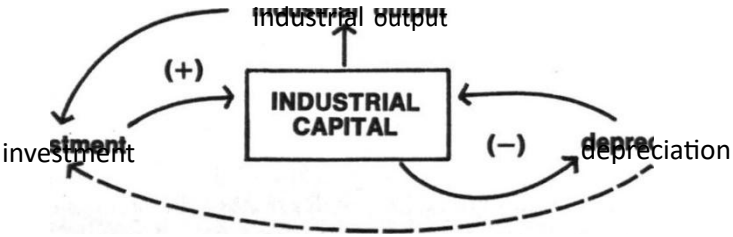
In questa esecuzione al computer le condizioni nel sistema modello sono identiche a quelle nell'esecuzione standard (figura 35), eccetto per il fatto che la popolazione è mantenuta costante dopo il 1975 equiparando il tasso di natalità al tasso di mortalità. Il restante ciclo di feedback positivo non ristretto nel sistema, che coinvolge il capitale industriale, continua a generare una crescita esponenziale della produzione industriale, del cibo e dei servizi pro capite. L'eventuale esaurimento delle risorse non rinnovabili porta a un crollo improvviso del sistema industriale dazione.* Il risultato dell'inserimento di questa politica nel modello nel 1975 è mostrato nella figura 44.

---

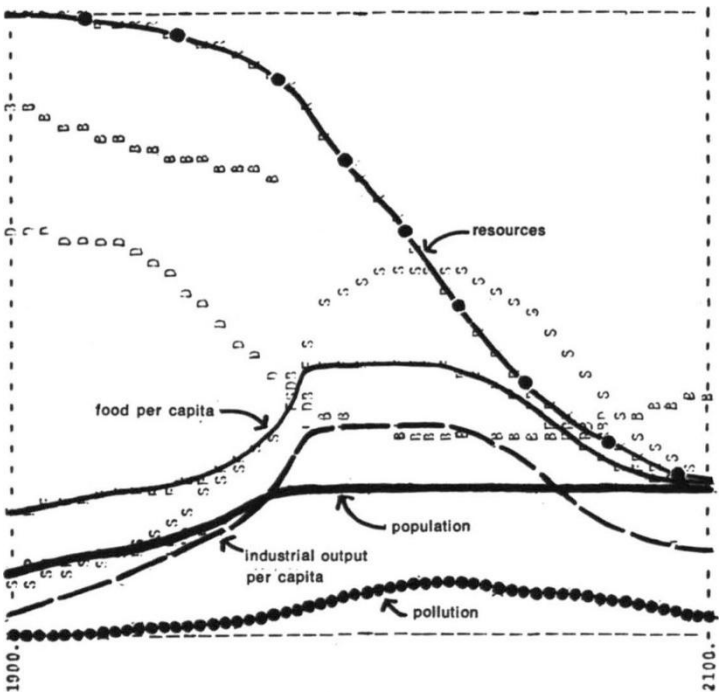
*Questa proposta per stabilizzare la popolazione fu originariamente proposta da Kenneth E. Boulding in The Meaning of the 20th Century (New York: Harper and Row, 1964).

Nella figura 44 il ciclo di feedback positivo della crescita della popolazione è effettivamente bilanciato e la popolazione rimane costante. All'inizio i tassi di natalità e mortalità sono bassi. Ma c'è ancora un ciclo di feedback positivo incontrollato che opera nel modello, quello che governa la crescita del capitale industriale. Il guadagno attorno a quel ciclo aumenta quando la popolazione è stabilizzata, con conseguente crescita molto rapida di reddito, cibo e servizi pro capite. Tale crescita viene presto fermata, tuttavia, dall'esaurimento delle risorse non rinnovabili. Il tasso di mortalità aumenta, ma la popolazione totale non diminuisce a causa del nostro requisito che il tasso di natalità sia uguale al tasso di mortalità (chiaramente irrealistico qui).

Apparentemente, se vogliamo un sistema stabile, non è auspicabile lasciare che anche uno solo dei due cicli di feedback positivo critici generi una crescita incontrollata. Stabilizzare la popolazione da sola non è sufficiente a prevenire il superamento e il collasso; un'analoga corsa con capitale costante e popolazione in aumento mostra che anche stabilizzare il capitale da sola non è sufficiente. Cosa succede se mettiamo sotto controllo entrambi i cicli di feedback positivo contemporaneamente? Possiamo stabilizzare lo stock di capitale nel modello richiedendo che il tasso di investimento sia uguale al tasso di ammortamento, con un collegamento di modello aggiuntivo esattamente analogo a quello che stabilizza la popolazione.



nuovo collegamento per stabilizzare il capitale equiparando investimento e ammortamento Figura 45 MODELLO MONDIALE CON POPOLAZIONE E CAPITALE STABILIZZATI



La restrizione della crescita del capitale, richiedendo che l'investimento di capitale sia uguale al deprezzamento, viene aggiunta alla politica di stabilizzazione della popolazione della figura 44. Ora che la crescita esponenziale è interrotta, si ottiene uno stato di stabilità temporanea. I livelli di popolazione e capitale in questo stato sono sufficientemente elevati da esaurire rapidamente le risorse, tuttavia, poiché non sono state assunte tecnologie di conservazione delle risorse. Man mano che la base delle risorse diminuisce, la produzione industriale diminuisce. Sebbene la base del capitale sia mantenuta allo stesso livello, l'efficienza del capitale diminuisce poiché più capitale deve essere dedicato all'ottenimento delle risorse che alla produzione di output utilizzabile.

Il risultato dell'arresto della crescita della popolazione nel 1975 e della crescita del capitale industriale nel 1985 senza altre modifiche è mostrato nella figura 45. (Il capitale è stato autorizzato

a crescere fino al 1985 per aumentare leggermente lo standard di vita materiale medio.) In questa serie
il grave superamento e il crollo della figura 44 vengono impediti. Popolazione e capitale raggiungono valori costanti a un livello relativamente alto di cibo, produzione industriale e servizi pro capite. Alla fine, tuttavia, la carenza di risorse riduce la produzione industriale e lo stato temporaneamente stabile degenera.

Quali ipotesi del modello ci daranno una combinazione di uno standard di vita dignitoso con una stabilità leggermente maggiore di quella ottenuta nella figura 45? Possiamo migliorare notevolmente il comportamento del modello combinando cambiamenti tecnologici con cambiamenti di valore che riducono le tendenze di crescita del sistema. Diverse combinazioni di tali politiche ci danno una serie di output informatici che rappresentano un sistema con valori ragionevolmente elevati di produzione industriale pro capite e con stabilità a lungo termine. Un esempio di tale output è mostrato nella figura 46.

Le politiche che hanno prodotto il comportamento mostrato nella figura 46 sono:

1. La popolazione viene stabilizzata fissando il tasso di natalità uguale al tasso di mortalità del 1975. Il capitale industriale può aumentare naturalmente fino al 1990, dopodiché anch'esso viene stabilizzato fissando il tasso di investimento uguale al tasso di ammortamento.

2. Per evitare una carenza di risorse non rinnovabili come quella mostrata nella figura 45, il consumo di risorse per unità di produzione industriale viene ridotto a un quarto del suo valore del 1970. (Questa e le cinque politiche successive vengono introdotte nel 1975.)

3. Per ridurre ulteriormente l'esaurimento delle risorse e l'inquinamento, le preferenze economiche della società si spostano maggiormente verso servizi quali istruzione e strutture sanitarie e meno verso beni materiali prodotti in fabbrica. (Questo cambiamento avviene tramite la relazione che fornisce servizi "indicati" o "desiderati" pro capite in funzione dell'aumento del reddito.)

4. La produzione di inquinamento per unità di produzione industriale e agricola è ridotta a un quarto del suo valore del 1970.

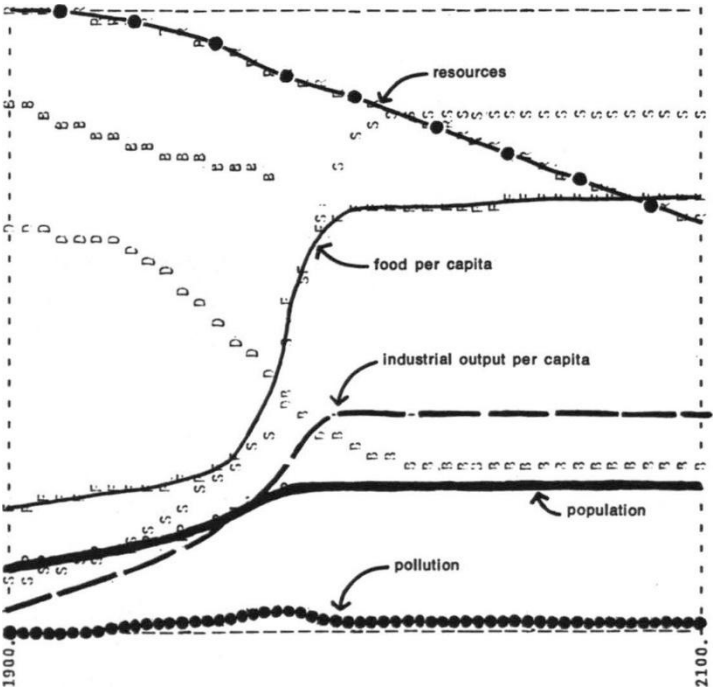
5. Poiché le politiche di cui sopra da sole determinerebbero un valore piuttosto basso del cibo pro capite, alcune persone sarebbero ancora malnutrite se le tradizionali disuguaglianze di distribuzione persistessero. Per evitare questa situazione, si attribuisce un valore elevato alla produzione di cibo sufficiente per tutte le persone. Il capitale viene quindi dirottato verso la produzione alimentare anche se tale investimento sarebbe considerato "antieconomico". (Questo cambiamento viene effettuato tramite la relazione "indicata" del cibo pro capite.)

6. Questa enfasi sull'agricoltura altamente capitalizzata, pur essendo necessaria per produrre cibo a sufficienza, porterebbe a una rapida erosione del suolo e all'impoverimento della fertilità del suolo, distruggendo la stabilità a lungo termine del settore agricolo. Pertanto, l'uso del capitale agricolo è stato alterato per rendere l'arricchimento e la conservazione del suolo un'alta priorità. Questa politica implica, ad esempio, l'uso del capitale per compostare i rifiuti organici urbani e restituirli alla terra (una pratica che riduce anche l'inquinamento).

7. Gli scarichi di capitale industriale per servizi più elevati e produzione alimentare e per il riciclaggio delle risorse e il controllo dell'inquinamento nelle sei condizioni di cui sopra porterebbero a un basso livello finale di stock di capitale industriale. Per contrastare questo effetto, la durata media del capitale industriale viene aumentata, il che implica una migliore progettazione per la durata e la riparazione e meno scarti a causa dell'obsolescenza. Questa politica tende anche a ridurre l'esaurimento delle risorse e l'inquinamento.

Nella figura 46 la popolazione mondiale stabile è solo leggermente più grande della popolazione odierna. C'è più del doppio del cibo pro capite rispetto al valore medio del 1970, e la durata media della vita mondiale è di quasi 70 anni. La media dell'industria -

Figura 46 MODELLO DEL MONDO STABILIZZATO 1



Le politiche tecnologiche vengono aggiunte alle politiche di regolazione della crescita della precedente serie per produrre uno stato di equilibrio sostenibile nel lontano futuro. Le politiche tecnologiche includono il riciclaggio delle risorse, dispositivi di controllo dell'inquinamento, una maggiore durata di tutte le forme di capitale e metodi per ripristinare il suolo eroso e sterile. I cambiamenti di valore includono una maggiore enfasi su cibo e servizi piuttosto che sulla produzione industriale. Come nella figura 45, le nascite sono impostate uguali alle morti e gli investimenti di capitale industriale uguali al deprezzamento del capitale. Il valore di equilibrio della produzione industriale pro capite è tre volte la media mondiale del 1970.

la produzione pro capite di prova è ben al di sopra del livello odierno e i servizi pro capite sono triplicati. Il reddito medio totale pro capite (produzione industriale, cibo e servizi combinati) è di circa $ 1.800. Questo valore è circa la metà dell'attuale reddito medio degli Stati Uniti, uguale all'attuale reddito medio europeo e tre volte l'attuale reddito medio

mondiale. Le risorse si stanno ancora gradualmente esaurendo, come devono essere in base a qualsiasi ipotesi realistica, ma il tasso di esaurimento è così lento che c'è tempo per la tecnologia e l'industria di adattarsi ai cambiamenti nella disponibilità delle risorse.

Le costanti numeriche che caratterizzano questo modello non sono le uniche che potrebbero produrre un sistema stabile. Altre persone o società potrebbero risolvere i vari compromessi in modo diverso, ponendo più o meno enfasi sui servizi o sul cibo o sull'inquinamento o sul reddito materiale. Questo esempio è incluso semplicemente come illustrazione dei livelli di popolazione e capitale che sono fisicamente mantenibili sulla terra, nelle ipotesi più ottimistiche. Il modello non può dirci come raggiungere questi livelli. Può solo indicare un insieme di obiettivi reciprocamente coerenti che sono raggiungibili.

Ora torniamo almeno nella direzione generale del mondo reale e abbandoniamo le nostre ipotesi più irrealistiche, ovvero che possiamo improvvisamente e assolutamente stabilizzare popolazione e capitale. Supponiamo di mantenere gli ultimi sei dei sette cambiamenti di politica che hanno prodotto la figura 46, ma sostituiamo la prima politica, a partire dal 1975, con la seguente:

1. La popolazione ha accesso a un controllo delle nascite efficace al 100%.

2. La dimensione media desiderata per una famiglia è di due bambini.

3. Il sistema economico si sforza di mantenere la produzione industriale media pro capite a circa il livello del 1975. La capacità industriale in eccesso viene impiegata per produrre beni di consumo piuttosto che aumentare il tasso di investimento di capitale industriale al di sopra del tasso di ammortamento.

Il comportamento del modello che risulta da questo cambiamento è mostrato nella figura 47. Ora i ritardi nel sistema consentono alla popolazione di crescere molto di più di quanto non abbia fatto nella figura 46. Di conseguenza , i beni materiali, il cibo e i servizi pro capite rimangono più bassi rispetto alle esecuzioni

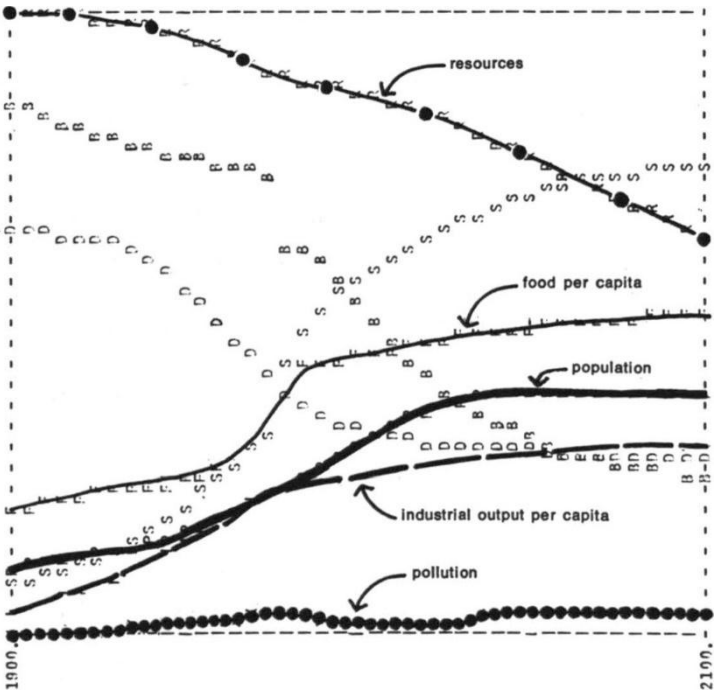
precedenti (ma comunque più alti di quanto non siano oggi nella media mondiale).

Non supponiamo che una qualsiasi delle politiche necessarie per raggiungere la stabilità del sistema nel modello possa o debba essere introdotta improvvisamente nel mondo entro il 1975. Una società che sceglie la stabilità come obiettivo deve certamente avvicinarsi a tale obiettivo gradualmente. È importante rendersi conto, tuttavia, che più a lungo si consente alla crescita esponenziale di continuare, minori sono le possibilità per lo stato di stabilità finale. La figura 48 mostra il risultato dell'attesa fino all'anno 2000 per istituire le stesse politiche che erano state istituite nel 1975 nella figura 47.

Nella figura 48 sia la popolazione che la produzione industriale pro capite raggiungono valori molto più alti rispetto alla figura 47. Di conseguenza, l'inquinamento aumenta a un livello più alto e le risorse vengono gravemente impoverite, nonostante le politiche di risparmio delle risorse finalmente indotte. Infatti, durante il ritardo di 25 anni (dal 1975 al 2000) nell'istituzione delle politiche di stabilizzazione, il consumo di risorse è circa uguale al consumo totale di 125 anni dal 1975 al 2100 della figura 47. intro-

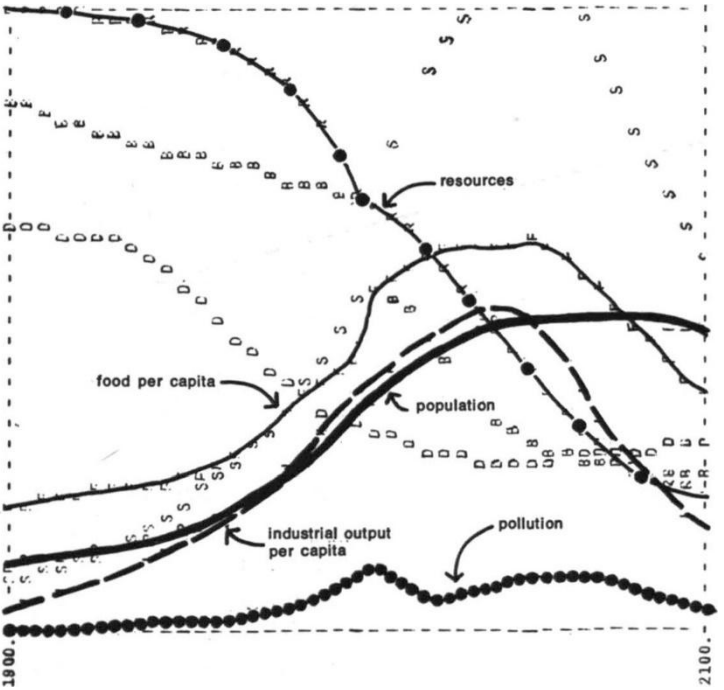
Molte persone penseranno che i cambiamenti che abbiamo introdotto nel modello per evitare il comportamento di crescita e collasso non siano solo impossibili, ma spiacevoli, pericolosi, persino disastrosi di per sé. Politiche come la riduzione del tasso di natalità e lo spostamento del capitale dalla produzione di beni materiali, con qualsiasi mezzo possano essere implementate, sembrano innaturali e inimmaginabili, perché, secondo l'esperienza della maggior parte delle persone, non sono state provate o nemmeno seriamente suggerite. In effetti, ci sono

Figura 47 MODELLO DEL MONDO STABILIZZATO 11



Se le rigide restrizioni alla crescita della precedente serie vengono rimosse e popolazione e capitale vengono regolati entro i ritardi naturali del sistema, il livello di equilibrio della popolazione è più alto e il livello di produzione industriale pro capite è più basso rispetto alla figura 46. Qui si suppone che un controllo delle nascite perfettamente efficace e una dimensione media desiderata della famiglia di due figli siano raggiunti entro il 1975. Il tasso di natalità si avvicina solo lentamente al tasso di mortalità a causa dei ritardi inerenti alla struttura per età della popolazione. Non avrebbe senso nemmeno discutere di tali cambiamenti fondamentali nel funzionamento della società moderna se ritenessimo che l'attuale modello di crescita senza restrizioni fosse sostenibile nel futuro. Tutte le prove a nostra disposizione, tuttavia, suggeriscono che delle tre alternative, crescita senza restrizioni, crescita auto-

Figura 48 MODELLO MONDIALE CON POLITICHE DI STABILIZZAZIONE INTRODOTTO NELL'ANNO 2000



Se tutte le politiche istituite nel 1975 nella figura precedente vengono ritardate fino all'anno 2000, lo stato di equilibrio non è più sostenibile. La popolazione e il capitale industriale raggiungono livelli sufficientemente elevati da creare carenze di cibo e risorse prima dell'anno 2100.

limitazione imposta alla crescita, o limitazione imposta dalla natura alla crescita: solo le ultime due sono realmente possibili .

Accettare i limiti imposti dalla natura alla crescita non richiede più sforzo che lasciare che le cose facciano il loro corso e aspettare di vedere cosa accadrà. Il risultato più probabile di quella decisione, come abbiamo cercato di dimostrare qui, sarà una diminuzione incontrollabile della popolazione e del capitale. Il vero significato di un simile crollo è difficile da immaginare perché potrebbe assumere così tante forme diverse. Potrebbe verificarsi in momenti diversi in diverse parti del mondo, o potrebbe essere mondiale. Potrebbe essere improvviso o graduale.

Se il limite raggiunto per primo fosse quello della produzione alimentare, i paesi non industrializzati subirebbero la maggiore diminuzione della popolazione. Se il primo limite fosse imposto dall'esaurimento delle risorse non rinnovabili, i paesi industrializzati sarebbero i più colpiti. Potrebbe essere che il crollo lascerebbe la terra con la sua capacità di carico per la vita animale e vegetale intatta, o potrebbe essere che la capacità di carico verrebbe ridotta o distrutta. Certamente, qualunque frazione della popolazione umana rimanesse alla fine del processo avrebbe ben poco con cui costruire una nuova società in qualsiasi forma possiamo ora immaginare.

Raggiungere una limitazione autoimposta alla crescita richiederebbe molto sforzo. Implicherebbe imparare a fare molte cose in modi nuovi. Metterebbe a dura prova l'ingegno, la flessibilità e l'autodisciplina della razza umana . Porre fine deliberatamente e in modo controllato alla crescita è una sfida tremenda, non facilmente affrontabile. Il risultato finale varrebbe lo sforzo? Cosa guadagnerebbe l'umanità da una tale transizione e cosa perderebbe? Consideriamo più in dettaglio come potrebbe essere un mondo di non crescita.

LO STATO DI EQUILIBRIO

Non siamo affatto i primi nella storia scritta dell'uomo a proporre una sorta di stato non in crescita per la società umana. Un certo numero di filosofi, economisti e biologi hanno discusso di tale stato e lo hanno chiamato con molti nomi diversi, con altrettanti significati diversi.*

> Abbiamo, dopo molte discussioni, deciso di chiamare lo stato di popolazione e capitale costanti, mostrato nelle figure 46 e 47, con il termine "equilibrio". Equilibrio significa uno stato di equilibrio o uguaglianza tra forze opposte. Nei termini dinamici del modello mondiale, le forze opposte sono quelle che causano l'aumento della popolazione e dello stock di capitale (elevata dimensione desiderata della famiglia, bassa efficacia del controllo delle nascite, alto tasso di investimento di capitale) e quelle che causano la diminuzione della popolazione e dello stock di capitale (mancanza di cibo, inquinamento, alto tasso di deprezzamento o obsolescenza). La parola "capitale"

dovrebbe essere intesa come capitale di servizi, industriale e agricolo combinati. Quindi la definizione più elementare dello stato di equilibrio globale è che popolazione e capitale sono essenzialmente stabili, con le forze che tendono ad aumentarli o diminuirli in un equilibrio attentamente controllato.

C'è molto spazio per la variazione all'interno di questa definizione. Abbiamo solo specificato che gli stock di capitale e popolazione rimangono costanti, ma potrebbero teoricamente essere costanti

---

*

Vedi, ad esempio:

Platone, Leggi, 350 a.C.

Aristotele, Politica, 322 a.C.

Thomas Robert Malthus, Saggio sul principio della popolazione, 1798. John Stuart Mill, Principi di economia politica, 1857.

Harrison Brown, La sfida del futuro dell'uomo (New York: Viking Press, 1954).

Kenneth E. Boulding, "L'economia della futura astronave Terra", in Environmental Quality in a Growing Economy, a cura di H. Jarrett (Baltimore, Md.: Johns Hopkins Press, 1966).

EJ Mishan, I costi della crescita economica (New York: Frederick A. Praeger, 1967).

Herman E. Daly, "Verso un'economia a stato stazionario", in The Patient Ecth, a cura di J. Harte e Robert Socolow (New York: Holt, Rinehart e Winston, 1971).

a un livello alto o basso, oppure uno potrebbe essere alto e l'altro basso. Un serbatoio d'acqua può essere mantenuto a un dato livello con un rapido afflusso e deflusso d'acqua o con un lento gocciolamento dentro e fuori. Se il flusso è veloce, la goccia media d'acqua trascorrerà meno tempo nel serbatoio rispetto a un flusso lento. Allo stesso modo, una popolazione stabile di qualsiasi dimensione può essere ottenuta con tassi di natalità e mortalità elevati e uguali (vita media breve) o bassi tassi di natalità e mortalità uguali (vita media lunga). Uno stock di capitale può essere mantenuto con alti tassi di investimento e ammortamento o bassi tassi di investimento e ammortamento. Qualsiasi combinazione di queste possibilità rientrerebbe nella nostra definizione di base di equilibrio globale.

Quali criteri possono essere utilizzati per scegliere tra le numerose opzioni disponibili nello stato di equilibrio? Le interazioni dinamiche nel sistema mondiale indicano che la prima decisione che deve essere presa riguarda il tempo. Per quanto tempo dovrebbe esistere lo stato di equilibrio? Se la società è interessata solo a un intervallo di tempo di 6 mesi o un anno, il modello mondiale indica che quasi ogni livello di popolazione e capitale potrebbe essere mantenuto. Se l'orizzonte temporale viene esteso a 20 o 50 anni, le opzioni si riducono notevolmente, poiché i tassi e i livelli devono essere adeguati per garantire che il tasso di investimento di capitale non sia limitato dalla disponibilità di risorse durante tale intervallo di tempo, o che il tasso di mortalità non sia influenzato in modo incontrollabile dall'inquinamento o dalla carenza di cibo. Più a lungo una società preferisce mantenere lo stato di equilibrio, più bassi devono essere i tassi e i livelli.

Al limite, ovviamente, nessun livello di popolazione o capitale può essere mantenuto per sempre, ma quel limite è molto lontano nel tempo se le risorse sono gestite saggiamente e se c'è un orizzonte temporale sufficientemente lungo nella pianificazione. Prendiamo come orizzonte temporale ragionevole la durata di vita prevista di un bambino nato nel
mondo di domani: 70 anni se vengono forniti cibo e cure mediche adeguati. Poiché la maggior parte delle persone trascorre gran parte del proprio tempo ed energia a crescere i figli, potrebbero scegliere come obiettivo minimo che la società lasciata a quei bambini possa essere mantenuta per l'intero arco della loro vita.

Se l'orizzonte temporale della società è lungo quanto 70 anni, i livelli di popolazione e capitale ammissibili potrebbero non essere troppo diversi da quelli esistenti oggi, come indicato dalla corsa di equilibrio nella figura 47 (che è, ovviamente, solo una delle diverse possibilità). I tassi sarebbero considerevolmente diversi da quelli odierni, tuttavia. Qualsiasi società preferirebbe senza dubbio che il tasso di mortalità fosse basso piuttosto che alto, poiché una vita lunga e sana sembra essere un desiderio umano universale. Per mantenere l'equilibrio con una lunga aspettativa di vita, anche il tasso di natalità deve essere basso. Sarebbe anche meglio se i tassi di investimento di capitale e di ammortamento

fossero bassi, perché più sono bassi , minore sarà l'esaurimento delle risorse e l'inquinamento. Mantenere l'esaurimento e l'inquinamento al minimo potrebbe aumentare la dimensione massima della popolazione e dei livelli di capitale o aumentare la durata del periodo in cui lo stato di equilibrio potrebbe essere mantenuto, a seconda dell'obiettivo preferito dalla società nel suo complesso .

Scegliendo un orizzonte temporale abbastanza lungo per la sua esistenza e una lunga vita media come obiettivo desiderabile, siamo ora arrivati a un set minimo di requisiti per lo stato di equilibrio globale. Essi sono:

I. L'impianto di capitale e la popolazione sono di dimensioni costanti. Il tasso di natalità è uguale al tasso di mortalità e il tasso di investimento di capitale è uguale al tasso di ammortamento.

2. Tutti i tassi di input e output (nascite, decessi, investimenti e ammortamenti) sono mantenuti al minimo.

3. I livelli di capitale e popolazione e il rapporto tra i due sono stabiliti in base ai valori della società . Possono essere deliberatamente rivisti e lentamente adattati man mano che l'avanzamento della tecnologia crea nuove opzioni.

Un equilibrio definito in questo modo non significa stagnazione. All'interno delle prime due linee guida di cui sopra, le aziende potrebbero espandersi o fallire, le popolazioni locali potrebbero aumentare o diminuire, il reddito potrebbe essere distribuito più o meno equamente. Il progresso tecnologico consentirebbe ai servizi forniti da uno stock costante di capitale di aumentare lentamente. All'interno della terza linea guida, qualsiasi paese potrebbe modificare il suo tenore di vita medio alterando l'equilibrio tra la sua popolazione e il suo capitale. Inoltre, una società potrebbe adattarsi a fattori interni o esterni mutevoli aumentando o diminuendo la popolazione o gli stock di capitale, o entrambi, lentamente e in modo controllato, con un obiettivo prestabilito in mente. I tre punti di cui sopra definiscono un equilibrio dinamico, che non ha bisogno e probabilmente non "congelerebbe" il mondo nella configurazione popolazione-capitale che capita di esistere al momento

attuale. L'obiettivo nell'accettare le tre affermazioni di cui sopra è creare libertà per la società, non imporre una camicia di forza.

Come sarebbe la vita in un simile stato di equilibrio? L'innovazione verrebbe soffocata? La società sarebbe intrappolata nei modelli di disuguaglianza e ingiustizia che vediamo nel mondo di oggi? La discussione di queste domande deve procedere sulla base di modelli mentali, perché non esiste un modello formale delle condizioni sociali nello stato di equilibrio. Nessuno può prevedere che tipo di istituzioni l'umanità potrebbe sviluppare in queste nuove condizioni. Non c'è, naturalmente, alcuna garanzia che la nuova società sarebbe molto migliore o anche molto diversa da quella che esiste oggi. Sembra possibile, tuttavia, che una società liberata dalla lotta con i molti problemi causati dalla crescita possa avere più energia e ingegnosità disponibili per risolvere altri problemi. Infatti, crediamo, come illustreremo di seguito, che l'evoluzione di una società che favorisce l'innovazione e lo sviluppo tecnologico, una società basata sull'uguaglianza e sulla giustizia, abbia molte più probabilità di evolversi in uno stato di equilibrio globale rispetto allo stato di crescita che stiamo vivendo oggi.

CRESCITA NELLO STATO DI EQUILIBRIO Nel 1857

John Stuart Mill scrisse:

Non è quasi necessario osservare che una condizione stazionaria di capitale e popolazione non implica alcuno stato stazionario di miglioramento umano. Ci sarebbe più spazio che mai per tutti i tipi di cultura mentale e progresso morale e sociale; più spazio per migliorare l'Arte di Vivere e maggiori probabilità che venga migliorata. [49]

Popolazione e capitale sono le uniche quantità che devono essere costanti nello stato di equilibrio. Qualsiasi attività umana che non richieda un grande flusso di risorse insostituibili o non produca un grave degrado ambientale potrebbe continuare a crescere indefinitamente. In particolare, quelle attività che molte persone elencherebbero come le attività più desiderabili e soddisfacenti dell'uomo (istruzione, arte, musica, religione, ricerca scientifica di base, atletica e interazioni sociali) potrebbero prosperare.

Tutte le attività sopra elencate dipendono fortemente da due fattori. In primo luogo, dipendono dalla disponibilità di una certa produzione in

surplus dopo che sono stati soddisfatti i bisogni umani fondamentali di cibo e riparo. In secondo luogo, richiedono tempo libero. In qualsiasi stato di equilibrio, i livelli relativi di capitale e popolazione potrebbero essere regolati per assicurare che i bisogni materiali umani siano soddisfatti a qualsiasi livello desiderato. Poiché la quantità di produzione materiale sarebbe essenzialmente fissa, ogni miglioramento nei metodi di produzione potrebbe comportare un aumento del tempo libero per la popolazione, tempo libero che potrebbe essere dedicato a qualsiasi attività che sia relativamente non consumistica e non inquinante, come quelle sopra elencate. Pertanto, questa infelice situazione descritta da Bertrand Russell potrebbe essere evitata:

> Supponiamo che, in un dato momento, un certo numero di persone sia impegnato nella fabbricazione di spilli. Ne producono tanti quanti il mondo ne ha bisogno, lavorando (diciamo) otto ore al giorno. Qualcuno inventa un'invenzione con cui lo stesso numero di uomini può produrre il doppio degli spilli di prima. Ma il mondo non ha bisogno del doppio degli spilli. Gli spilli sono già così economici che difficilmente se ne compreranno altri a un prezzo inferiore. In un mondo ragionevole, tutti coloro che sono coinvolti nella fabbricazione di spilli lavoreranno quattro ore invece di otto, e tutto il resto andrebbe avanti come prima. Ma nel mondo reale questo sarebbe considerato demoralizzante. Gli uomini lavorano ancora otto ore, ci sono troppi spilli, alcuni datori di lavoro falliscono e metà degli uomini precedentemente coinvolti nella fabbricazione di spilli vengono licenziati. Alla fine, c'è tanto tempo libero quanto nell'altro piano, ma metà degli uomini è totalmente inattiva mentre l'altra metà è ancora oberata di lavoro. In questo modo si assicura che l'inevitabile tempo libero causerà miseria ovunque invece di essere una fonte universale di felicità. Si può immaginare qualcosa di più folle? 50

Ma i miglioramenti tecnologici che consentono la produzione di spilli o di qualsiasi altra cosa in modo più efficiente sarebbero imminenti in un mondo in cui tutti i bisogni materiali di base sono soddisfatti e non è consentita una produzione aggiuntiva? L'uomo deve essere spinto dalle difficoltà e dall'incentivo della crescita materiale a escogitare modi migliori per fare le cose?

Le prove storiche indicherebbero che pochissime invenzioni chiave sono state fatte da uomini che hanno dovuto spendere tutte le loro energie per superare le pressioni immediate della sopravvivenza. L'energia atomica è stata scoperta nei laboratori della scienza di base da individui

ignari di qualsiasi minaccia di esaurimento dei combustibili fossili. I primi esperimenti genetici, che hanno portato cento anni dopo a colture agricole ad alta resa, hanno avuto luogo nella pace di un monastero europeo. Le pressanti necessità umane possono aver costretto l'applicazione di queste scoperte di base a problemi pratici, ma solo la libertà dalla necessità ha prodotto la conoscenza necessaria per le applicazioni pratiche .

Il progresso tecnologico sarebbe necessario e gradito nello stato di equilibrio. Alcuni esempi ovvi dei tipi di scoperte pratiche che migliorerebbero il funzionamento di una società in stato stazionario includono:

- nuovi metodi di raccolta dei rifiuti, per ridurre l'inquinamento e rendere il materiale scartato disponibile per il riciclaggio;
- tecniche di riciclaggio più efficienti, per ridurre i tassi di esaurimento delle risorse;
- una migliore progettazione del prodotto per aumentarne la durata di vita e facilitarne la riparazione, in modo da ridurre al minimo il tasso di ammortamento del capitale;
- sfruttamento dell'energia solare incidente, la fonte energetica meno inquinante;
- metodi di controllo naturale dei parassiti, basati su una comprensione più completa delle interrelazioni ecologiche;
- progressi medici che ridurrebbero il tasso di mortalità;
- progressi contraccettivi che faciliterebbero l'eguaglianza del tasso di natalità con il tasso di mortalità in calo.

Quanto all'incentivo che incoraggerebbe gli uomini a produrre tali progressi tecnologici, quale incentivo migliore potrebbe esserci della consapevolezza che una nuova idea si tradurrebbe in un visibile miglioramento della qualità della vita? Storicamente, la lunga storia di nuove invenzioni dell'umanità ha portato all'affollamento, al deterioramento dell'ambiente e a una maggiore disuguaglianza sociale, perché una maggiore produttività è stata assorbita dalla crescita della

popolazione e del capitale. Non c'è motivo per cui una maggiore produttività non possa tradursi in uno standard di vita più elevato o in più tempo libero o in un ambiente più piacevole per tutti, se questi obiettivi sostituiscono la crescita come valore primario della società.

UGUAGLIANZA NELLO STATO DI EQUILIBRIO

Uno dei miti più comunemente accettati nella nostra società attuale è la promessa che una continuazione dei nostri attuali modelli di crescita porterà all'uguaglianza umana. Abbiamo dimostrato in varie parti di questo libro che gli attuali modelli di crescita della popolazione e del capitale stanno in realtà aumentando il divario tra ricchi e poveri su base mondiale e che il risultato finale di un continuo tentativo di crescita secondo l'attuale modello sarà un crollo disastroso.

Il più grande impedimento possibile a una distribuzione più equa delle risorse mondiali è la crescita della popolazione. Sembra essere un'osservazione universale, deplorevole ma comprensibile, che, man mano che aumenta il numero di persone su cui deve essere distribuita una risorsa fissa, l'uguaglianza della distribuzione diminuisce. La condivisione equa diventa un suicidio sociale se la quantità media disponibile per persona non è sufficiente a mantenere la vita. Gli studi della FAO sulla distribuzione alimentare hanno effettivamente documentato questa osservazione generale.

L'analisi delle curve di distribuzione mostra che quando le scorte alimentari di un gruppo diminuiscono, le disuguaglianze nell'assunzione si accentuano, mentre il numero di famiglie denutrite aumenta più che in proporzione alla deviazione dalla media. Inoltre, il deficit di assunzione alimentare cresce con le dimensioni delle famiglie, così che le famiglie numerose, e i loro figli in particolare, sono statisticamente le più soggette a denutrizione. [51]

In uno stato di equilibrio a lungo termine, i livelli relativi di popolazione e capitale, e le loro relazioni con vincoli fissi come terra, acqua dolce e risorse minerali, dovrebbero essere impostati in modo che ci sia abbastanza cibo e produzione materiale per mantenere tutti (almeno) a un livello di sussistenza. Una barriera alla distribuzione equa verrebbe così rimossa. Inoltre, l'altra barriera efficace all'uguaglianza , la promessa di crescita, non potrebbe più essere mantenuta, come ha sottolineato il dott. Herman E. Daly:

Per diverse ragioni, la questione importante dello stato stazionario sarà la distribuzione, non la produzione. Il problema delle quote relative non può più essere evitato con appelli alla crescita. L'argomento secondo cui tutti dovrebbero essere felici finché aumenta la loro quota assoluta di ricchezza, indipendentemente dalla loro quota relativa, non sarà più disponibile. Lo stato stazionario richiederebbe meno risorse ambientali, ma richieste molto maggiori alle nostre risorse morali.52

Naturalmente, non c'è alcuna garanzia che le risorse morali dell'umanità sarebbero sufficienti a risolvere il problema della distribuzione del reddito, anche in uno stato di equilibrio. Tuttavia, c'è ancora meno garanzia che tali problemi sociali saranno risolti nell'attuale stato di crescita, che sta mettendo a dura prova sia le risorse morali che quelle fisiche della popolazione mondiale.

L'immagine dello stato di equilibrio che abbiamo qui disegnato è idealizzata, per certo. Potrebbe essere impossibile da ottenere nella forma qui descritta, e potrebbe non essere la forma che la maggior parte delle persone sulla terra sceglierebbe. L'unico scopo nel descriverla è quello di sottolineare che l'equilibrio globale non significa necessariamente la fine del progresso o dello sviluppo umano. Le possibilità all'interno di uno stato di equilibrio sono pressoché infinite.

Uno stato di equilibrio non sarebbe privo di pressioni, poiché nessuna società può esserlo. L'equilibrio richiederebbe di barattare certe libertà umane, come la produzione di un numero illimitato di bambini o il consumo incontrollato di quantità di risorse, per altre libertà, come il sollievo dall'inquinamento e dall'affollamento e dalla minaccia del collasso del sistema mondiale. È possibile che possano sorgere anche nuove libertà: istruzione universale e illimitata, tempo libero per creatività e inventiva e, cosa più importante di tutte, la libertà dalla fame e dalla povertà di cui gode oggi una frazione così piccola della popolazione mondiale.

LA TRANSIZIONE DALLA CRESCITA ALL'EQUILIBRIO GLOBALE

Possiamo dire molto poco a questo punto sui passi pratici, quotidiani, che potrebbero essere intrapresi per raggiungere uno stato desiderabile e sostenibile di equilibrio globale. Né il modello mondiale né i nostri pensieri sono stati sviluppati in modo sufficientemente dettagliato per

comprendere tutte le implicazioni della transizione dalla crescita all'equilibrio. Prima che una qualsiasi parte della società mondiale si imbarchi deliberatamente in una tale transizione, devono esserci molte più discussioni, analisi più approfondite e molte nuove idee fornite da molte persone diverse. Se abbiamo stimolato ogni lettore di questo libro a iniziare a riflettere su come tale transizione potrebbe essere realizzata, abbiamo raggiunto il nostro obiettivo immediato.

Certamente sono necessarie molte più informazioni per gestire la transizione verso l'equilibrio globale. Nel processo di setacciatura dei dati mondiali e di incorporazione in un modello organizzato, ci siamo resi conto della grande necessità di più fatti, di numeri che siano scientificamente misurabili ma che non siano ancora stati misurati. Le carenze più evidenti nelle attuali conoscenze si verificano nel settore dell'inquinamento del modello. Quanto tempo impiega un dato inquinante a viaggiare dal suo punto di rilascio al suo punto di ingresso nel corpo umano? Il tempo richiesto per l'elaborazione di un qualsiasi inquinante in forma innocua dipendono dal livello di inquinante? Diversi inquinanti che agiscono insieme hanno un effetto sinergico sulla salute umana? Quali sono gli effetti a lungo termine di dosaggi bassi sugli esseri umani e altri organismi? C'è anche bisogno di maggiori informazioni sui tassi di erosione del suolo e sullo spreco di terreni in condizioni di pratiche agricole moderne intensificate.

Dal nostro punto di vista di analisti di sistemi, naturalmente, raccomanderemmo che la ricerca di fatti non sia casuale, ma governata da un'enfasi notevolmente aumentata sulla definizione della struttura del sistema. Il comportamento di tutti i sistemi sociali complicati è determinato principalmente dalla rete di relazioni fisiche, biologiche, psicologiche ed economiche che lega insieme qualsiasi popolazione umana, il suo ambiente naturale e le sue attività economiche. Finché le strutture sottostanti dei nostri sistemi socioeconomici non saranno analizzate a fondo, non potranno essere gestite in modo efficace, proprio come un'automobile non può essere mantenuta in buone condizioni di funzionamento senza una conoscenza di come le sue numerose parti si influenzano a vicenda. Studi sulla struttura del sistema possono rivelare

che l'introduzione in un sistema di un semplice meccanismo di feedback stabilizzante risolverà molte difficoltà. Ci sono già stati interessanti suggerimenti in tal senso, ad esempio, che i costi totali dell'inquinamento e dell'esaurimento delle risorse siano inclusi nel prezzo di un prodotto, o che ogni utente di acqua di fiume sia tenuto a posizionare il suo tubo di aspirazione a valle del suo tubo di scarico.

L'ultima, più elusiva e più importante informazione di cui abbiamo bisogno riguarda i valori umani. Non appena una società riconosce che non può massimizzare tutto per tutti, deve iniziare a fare delle scelte. Dovrebbero esserci più persone o più ricchezza, più natura selvaggia o più automobili, più cibo per i poveri o più servizi per i ricchi? Stabilire le risposte sociali a domande come queste e tradurre quelle risposte in politica è l'essenza del processo politico. Eppure poche persone in qualsiasi società si rendono conto che tali scelte vengono fatte ogni giorno, e tanto meno si chiedono quali sarebbero le proprie scelte . La società dell'equilibrio dovrà soppesare i compromessi generati da una terra finita non solo tenendo conto dei valori umani attuali, ma anche tenendo conto delle generazioni future. Per fare ciò, la società avrà bisogno di mezzi migliori di quelli esistenti oggi per chiarire le alternative realistiche disponibili, per stabilire obiettivi sociali e per raggiungere le alternative più coerenti con quegli obiettivi. Ma la cosa più importante di tutte è che gli obiettivi a lungo termine devono essere specificati e quelli a breve termine resi coerenti con essi.

Sebbene sottolineiamo la necessità di ulteriori studi e discussioni su queste difficili questioni, concludiamo con una nota di urgenza. Ci auguriamo che uno studio e un dibattito intensivi procedano simultaneamente a un programma d'azione in corso. I dettagli non sono ancora specificati, ma la direzione generale dell'azione è ovvia. Si sa già abbastanza per analizzare molte politiche proposte in termini delle loro tendenze a promuovere o regolare la crescita. Numerose nazioni hanno adattato o stanno prendendo in considerazione programmi per stabilizzare le loro popolazioni. Alcune aree localizzate stanno anche cercando di ridurre i loro tassi di crescita economica. [53] Questi sforzi sono deboli al momento , ma potrebbero essere rafforzati molto rapidamente se l'obiettivo dell'equilibrio fosse riconosciuto come desiderabile e importante da una parte considerevole della società umana.

Abbiamo ripetutamente sottolineato l'importanza dei ritardi naturali nel sistema popolazione-capitale del mondo. Questi ritardi significano, ad esempio, che se il tasso di natalità del Messico diminuisse gradualmente dal suo valore attuale a un valore di sostituzione esatto entro l'anno 2000, la popolazione del paese
continuare a crescere fino all'anno 20Ø. Durante quel periodo la popolazione passerebbe da 50 milioni a 130 milioni. [54] Se la popolazione degli Stati Uniti avesse due figli per famiglia a partire da ora e se non ci fosse immigrazione netta, la popolazione continuerebbe comunque a crescere fino all'anno 2037 e passerebbe da 200 milioni a 266 milioni. [55] Se la popolazione mondiale nel suo complesso raggiungesse una famiglia di dimensioni di sostituzione entro l'anno 2000 (quando la popolazione sarebbe di 5,8 miliardi), i ritardi causati dalla struttura per età si tradurrebbero in un livellamento finale della popolazione a 8,2 miliardi [56] (supponendo che il tasso di mortalità non aumenti prima di allora, un'ipotesi improbabile, secondo i risultati del nostro modello).

Non intraprendere alcuna azione per risolvere questi problemi equivale a intraprendere un'azione forte. Ogni giorno di continua crescita esponenziale porta il sistema mondiale più vicino ai limiti ultimi di tale crescita. Una decisione di non fare nulla è una decisione di aumentare il rischio di collasso. Non possiamo dire con certezza per quanto tempo ancora l'umanità può rimandare l'avvio del controllo deliberato della sua crescita prima di aver perso la possibilità di controllo. Sospettiamo sulla base delle attuali conoscenze dei vincoli fisici del pianeta che la fase di crescita non possa continuare per altri cento anni. Di nuovo, a causa dei ritardi nel sistema, se la società globale aspetta che tali vincoli siano inequivocabilmente evidenti, avrà aspettato troppo a lungo.

Se c'è motivo di profonda preoccupazione, c'è anche motivo di speranza. Limitare deliberatamente la crescita sarebbe difficile, ma non impossibile. La strada da percorrere è chiara e i passi necessari, sebbene siano nuovi per la società umana, sono ampiamente alla portata delle capacità umane. L'uomo possiede, per un breve momento della sua storia, la più potente combinazione di conoscenza, strumenti,

e risorse che il mondo abbia mai conosciuto. Ha tutto ciò che è fisicamente necessario per creare una forma totalmente nuova di società umana , una che sarebbe costruita per durare per generazioni. I due ingredienti mancanti sono un obiettivo realistico a lungo termine che possa guidare l'umanità verso la società in equilibrio e la volontà umana di raggiungere tale obiettivo. Senza tale obiettivo e un impegno verso di esso, le preoccupazioni a breve termine genereranno la crescita esponenziale che spinge il sistema mondiale verso i limiti della terra e il collasso finale. Con tale obiettivo e tale impegno, l'umanità sarebbe pronta ora per iniziare una transizione controllata e ordinata dalla crescita all'equilibrio globale.

COMMENTO

Nell'invitare il team del MIT a intraprendere questa indagine, avevamo in mente due obiettivi immediati. Uno era quello di acquisire intuizioni sui limiti del nostro sistema mondiale e sui vincoli che impone ai numeri e alle attività umane. Oggigiorno, più che mai, l'uomo tende a una crescita continua, spesso accelerata, della popolazione, dell'occupazione del territorio, della produzione, del consumo, dei rifiuti, ecc., dando per scontato che il suo ambiente consentirà tale espansione, che altri gruppi cederanno o che la scienza e la tecnologia rimuoveranno gli ostacoli. Volevamo esplorare il grado in cui questo atteggiamento verso la crescita è compatibile con le dimensioni del nostro pianeta finito e con i bisogni fondamentali della nostra società mondiale emergente, dalla riduzione delle tensioni sociali e politiche al miglioramento della qualità della vita per tutti.

Un secondo obiettivo era quello di aiutare a identificare e studiare gli elementi dominanti e le loro interazioni che influenzano il comportamento a lungo termine dei sistemi mondiali. Riteniamo che tale conoscenza non possa essere raccolta concentrandosi sui sistemi nazionali e sulle analisi di breve periodo, come avviene attualmente. Il progetto non era inteso come un pezzo di futurologia. Era inteso come, ed è, un'analisi delle tendenze attuali, della loro influenza reciproca e dei loro possibili esiti. Il nostro obiettivo era quello di fornire avvertimenti di potenziali crisi mondiali se

si permettesse a queste tendenze di continuare, e quindi offrire un'opportunità per apportare cambiamenti nei nostri sistemi politici, economici e sociali per garantire che queste crisi non si verifichino.

Il rapporto ha servito bene a questi scopi. Rappresenta un passo coraggioso verso un'analisi completa e integrata della situazione mondiale, un approccio che ora richiederà anni per essere perfezionato, approfondito ed esteso. Tuttavia, questo rapporto è solo un primo passo. I limiti alla crescita che esamina sono solo i limiti fisici più elevati noti imposti dalla finitezza del sistema mondiale. In realtà, questi limiti sono ulteriormente ridotti da vincoli politici, sociali e istituzionali, da una distribuzione iniqua della popolazione e delle risorse e dalla nostra incapacità di gestire sistemi molto grandi e intricati.

Ma il rapporto ha anche altri scopi. Avanza suggerimenti provvisori per il futuro stato del mondo e apre nuove prospettive per un continuo sforzo intellettuale e pratico per dare forma a quel futuro.

Abbiamo presentato i risultati di questo rapporto in due incontri internazionali. Entrambi si sono tenuti nell'estate del 1971, uno a Mosca e l'altro a Rio de Janeiro. Sebbene siano state sollevate molte domande e critiche, non vi è stato alcun disaccordo sostanziale con le prospettive descritte in questo rapporto. Una bozza preliminare del rapporto è stata inoltre sottoposta a circa quaranta individui, la maggior parte dei quali membri del Club di Roma, per i loro commenti. Potrebbe essere interessante menzionare alcuni dei principali punti di critica:

1. Poiché i modelli possono ospitare solo un numero limitato di variabili, le interazioni studiate sono solo parziali. È stato sottolineato che in un modello globale come quello utilizzato in questo studio anche il grado di aggregazione è necessariamente elevato. Tuttavia, è stato generalmente riconosciuto che, con un semplice modello del mondo, è possibile esaminare l'effetto di un cambiamento nelle ipotesi di base o simulare l'effetto di un cambiamento nella politica per vedere come tali cambiamenti influenzano il comportamento del sistema nel tempo. Una sperimentazione simile nel mondo reale sarebbe lunga, costosa e in molti casi impossibile.

2. È stato suggerito che non è stato dato sufficiente peso alle possibilità di progressi scientifici e tecnologici nella risoluzione di certi problemi, come lo sviluppo di metodi contraccettivi infallibili, la produzione di proteine da combustibili fossili, la generazione o lo sfruttamento di energia virtualmente illimitata (inclusa l'energia solare priva di inquinamento) e il suo successivo utilizzo per sintetizzare cibo dall'aria e dall'acqua e per estrarre minerali dalle rocce. Si è convenuto, tuttavia, che tali sviluppi sarebbero probabilmente arrivati troppo tardi per evitare un disastro demografico o ambientale. In ogni caso, probabilmente avrebbero solo ritardato piuttosto che evitato la crisi, perché la problematica consiste in questioni che richiedono più di soluzioni tecniche.

3. Altri ritenevano che la possibilità di scoprire scorte di materie prime in aree ancora insufficientemente esplorate fosse molto maggiore di quanto ipotizzato dal modello. Ma, ancora una volta, tali scoperte avrebbero solo posticipato la carenza anziché eliminarla. Tuttavia, bisogna riconoscere che l'estensione della disponibilità delle risorse di diversi decenni potrebbe dare all'uomo il tempo di trovare rimedi. 4. Alcuni consideravano il modello troppo "tecnocratico", osservando che non includeva fattori sociali critici, come gli effetti dell'adozione di diversi sistemi di valori. Il presidente dell'incontro di Mosca ha riassunto questo punto quando ha detto: "L'uomo non è un semplice dispositivo biocibernetico". Questa critica è prontamente ammessa. Il modello attuale considera l'uomo solo nel suo sistema materiale perché elementi sociali validi semplicemente non potevano essere ideati e introdotti in questo primo sforzo. Tuttavia, nonostante l'orientamento materiale del modello, le conclusioni dello studio indicano la necessità di un cambiamento fondamentale nei valori della società.

Nel complesso, la maggioranza di coloro che hanno letto questo rapporto ha concordato con la sua posizione. Inoltre , è chiaro che, se le argomentazioni presentate nel rapporto (anche dopo aver tenuto conto di critiche giustificate) sono considerate valide in linea di principio, la loro importanza difficilmente può essere sopravvalutata.

Molti revisori hanno condiviso la nostra convinzione che il significato essenziale del progetto risieda nel suo concetto globale, poiché è attraverso la conoscenza dei totali che acquisiamo la comprensione dei componenti, e non viceversa. Il rapporto presenta in forma semplice le alternative che si presentano non a una nazione o a un popolo, ma a tutte le nazioni e a tutti i popoli , costringendo così il lettore ad alzare lo sguardo alle dimensioni del problema mondiale. Uno svantaggio di questo approccio è ovviamente che, data l'eterogeneità della società mondiale, delle strutture politiche nazionali e dei livelli di sviluppo, le conclusioni dello studio, sebbene valide per il nostro pianeta nel suo insieme, non si applicano in dettaglio a nessun paese o regione in particolare.

È vero che in pratica gli eventi si verificano nel mondo sporadicamente in punti di stress, non generalmente o simultaneamente in tutto il pianeta. Quindi, anche se le conseguenze previste dal modello fossero, attraverso l'inerzia umana e le difficoltà politiche, lasciate verificarsi, esse senza dubbio apparirebbero prima in una serie di crisi e disastri locali.

Ma probabilmente non è meno vero che queste crisi avrebbero ripercussioni in tutto il mondo e che molte nazioni e persone, adottando misure correttive affrettate o ritirandosi nell'isolazionismo e tentando l'autosufficienza, non farebbero altro che aggravare le condizioni operative nel sistema nel suo complesso . L'interdipendenza delle varie componenti del sistema mondiale renderebbe alla fine tali misure inutili. La guerra, la pestilenza, la carestia di materie prime delle economie industriali o un decadimento economico generalizzato porterebbero a una disintegrazione sociale contagiosa.

Infine, il rapporto è stato considerato particolarmente prezioso perché sottolinea la natura esponenziale della crescita umana all'interno di un sistema chiuso, un concetto raramente menzionato o apprezzato nella politica pratica nonostante le sue immense implicazioni per il futuro del nostro pianeta finito. Il progetto del MIT fornisce una spiegazione ragionata e sistematica di tendenze di cui le persone sono solo vagamente consapevoli.

Le conclusioni pessimistiche del rapporto sono state e senza dubbio continueranno a essere oggetto di dibattito. Molti crederanno che, ad

esempio, nella crescita della popolazione, la natura intraprenderà azioni correttive e i tassi di natalità diminuiranno prima che la catastrofe minacci. Altri potrebbero semplicemente pensare che le tendenze identificate nello studio siano al di fuori del controllo umano; queste persone aspetteranno che "qualcosa salti fuori". Altri ancora spereranno che piccole correzioni nelle attuali politiche porteranno a un graduale e soddisfacente riaggiustamento e forse all'equilibrio. E molti altri sono inclini a riporre la loro fiducia nella tecnologia, con la sua presunta cornucopia di soluzioni miracolose.

Accogliamo con favore e incoraggiamo questo dibattito. È importante, a nostro avviso, accertare la vera portata della crisi che sta affrontando l'umanità e i livelli di gravità che è probabile che raggiunga nei prossimi decenni.

Dalla risposta alla bozza del rapporto che abbiamo distribuito, Credo che questo libro porterà un numero sempre maggiore di persone in tutto il mondo a chiedersi seriamente se lo slancio della crescita attuale non possa superare la capacità di carico di questo pianeta e a considerare le agghiaccianti alternative che tale superamento comporterebbe per noi stessi, per i nostri figli e per i nostri nipoti.

Come valutiamo noi, sponsor di questo progetto, il rapporto? Non possiamo parlare in modo definitivo per tutti i nostri colleghi del Club di Roma, perché ci sono differenze di interesse, enfasi e giudizio tra loro. Ma, nonostante la natura preliminare del rapporto, i limiti di alcuni dei suoi dati e la complessità intrinseca del sistema mondiale che cerca di descrivere, siamo convinti dell'importanza delle sue conclusioni principali. Crediamo che contenga un messaggio di significato molto più profondo di un semplice confronto di dimensioni, un messaggio rilevante per tutti gli aspetti dell'attuale situazione umana.

Sebbene qui possiamo esprimere solo le nostre opinioni preliminari, riconoscendo che esse necessitano ancora di molta riflessione e di un certo ordinamento, siamo d'accordo sui seguenti punti:

1. Siamo convinti che la consapevolezza dei limiti quantitativi dell'ambiente mondiale e delle tragiche conseguenze di un superamento sia essenziale per l'avvio di nuove forme di pensiero che condurranno a una revisione fondamentale del comportamento umano e, di conseguenza, dell'intero tessuto della società odierna.

Soltanto ora, avendo cominciato a comprendere qualcosa delle interazioni tra crescita demografica e crescita economica, e avendo raggiunto livelli senza precedenti in entrambe, l'uomo è costretto a tener conto delle dimensioni limitate di
il suo pianeta e i limiti della sua presenza e attività su di esso. Per la prima volta, è diventato fondamentale indagare sul costo della crescita materiale senza restrizioni e considerare alternative alla sua continuazione.

2. Siamo inoltre convinti che la pressione demografica nel mondo abbia già raggiunto un livello così elevato, e sia inoltre distribuita in modo così ineguale, che questo da solo deve costringere l'umanità a ricercare uno stato di equilibrio sul nostro pianeta.

Esistono ancora aree sottopopolate; ma, considerando il mondo nel suo complesso, il punto critico nella crescita della popolazione si sta avvicinando, se non è già stato raggiunto. Non esiste ovviamente un livello di popolazione ottimale a lungo termine; piuttosto, esiste una serie di equilibri tra livelli di popolazione, standard sociali e materiali, libertà personale e altri elementi che costituiscono la qualità della vita. Data la riserva finita e in diminuzione di risorse non rinnovabili e lo spazio finito del nostro globo, il principio deve essere generalmente accettato che un numero crescente di persone alla fine implicherà uno standard di vita inferiore e una problematica più complessa. D'altro canto, nessun valore umano fondamentale sarebbe messo in pericolo da un livellamento della crescita demografica.

3. Riconosciamo che l'equilibrio mondiale può diventare realtà solo se la sorte dei cosiddetti paesi in via di sviluppo viene sostanzialmente migliorata, sia in termini assoluti che relativamente alle nazioni

economicamente sviluppate, e affermiamo che questo miglioramento può essere raggiunto solo attraverso una strategia globale.

In assenza di uno sforzo mondiale, i divari e le disuguaglianze già esplosive di oggi continueranno a crescere. Il risultato non può che essere un disastro, sia per l'egoismo dei singoli paesi che continuano ad agire puramente nel loro interesse, sia per una lotta di potere tra nazioni in via di sviluppo e sviluppate. Il sistema mondiale semplicemente non è abbastanza ampio né abbastanza generoso da ospitare ancora a lungo un comportamento così egocentrico e conflittuale da parte dei suoi abitanti. Più ci avviciniamo ai limiti materiali del pianeta, più difficile sarà affrontare questo problema.

4. Affermiamo che la questione globale dello sviluppo è, tuttavia, così strettamente interconnessa con altre questioni globali che è necessario elaborare una strategia complessiva per affrontare tutti i problemi principali, compresi in particolare quelli del rapporto dell'uomo con il suo ambiente.

Con la popolazione mondiale che raddoppia in poco più di 30 anni e diminuisce, la società avrà difficoltà a soddisfare le esigenze e le aspettative di così tante persone in un periodo così breve. È probabile che cercheremo di soddisfare queste richieste sfruttando eccessivamente il nostro ambiente naturale e compromettendo ulteriormente la capacità di sostenere la vita della Terra. Quindi, da entrambe le parti dell'equazione uomo-ambiente, la situazione tenderà a peggiorare pericolosamente. Non possiamo aspettarci che le soluzioni tecnologiche da sole ci tirino fuori da questo circolo vizioso. La strategia per affrontare le due questioni chiave dello sviluppo e dell'ambiente deve essere concepita come una strategia congiunta.

5. Riconosciamo che la complessa problematica mondiale è in larga misura composta da elementi che non possono essere espressi in termini misurabili. Tuttavia, crediamo che l'approccio prevalentemente quantitativo utilizzato in questo rapporto sia uno strumento indispensabile per comprendere il funzionamento della

problematica. E speriamo che tale conoscenza possa portare a una padronanza dei suoi elementi.

Sebbene tutte le principali questioni mondiali siano fondamentalmente collegate, non è stato ancora scoperto alcun metodo per affrontare il tutto in modo efficace. L'approccio che abbiamo adottato può essere estremamente utile nel riformulare il nostro pensiero sull'intera situazione umana. Ci consente di definire gli equilibri che devono esistere all'interno della società umana e tra la società umana e il suo habitat, e di percepire le conseguenze che possono derivare quando tali equilibri vengono interrotti.

6. Siamo unanimemente convinti che il compito primario che l'umanità deve affrontare è quello di porre rimedio in modo rapido e radicale all'attuale situazione mondiale squilibrata e pericolosamente in deterioramento.

La nostra situazione attuale è così complessa e riflette così tanto le molteplici attività dell'uomo, tuttavia, che nessuna combinazione di misure e dispositivi puramente tecnici, economici o legali può apportare un miglioramento sostanziale. Sono necessari approcci completamente nuovi per reindirizzare la società verso obiettivi di equilibrio piuttosto che di crescita. Tale riorganizzazione comporterà uno sforzo supremo di comprensione, immaginazione e determinazione politica e morale. Crediamo che lo sforzo sia fattibile e speriamo che questa pubblicazione contribuisca a mobilitare le forze per renderlo possibile.

7. Questo sforzo supremo è una sfida per la nostra generazione. Non può essere trasmesso alla prossima. Lo sforzo deve essere intrapreso risolutamente e senza indugio, e un significativo riorientamento deve essere raggiunto durante questo decennio.

Sebbene lo sforzo possa inizialmente concentrarsi sulle implicazioni della crescita, in particolare della crescita demografica, la totalità della problematica mondiale dovrà presto essere affrontata. Crediamo infatti che

la necessità diventerà rapidamente evidente per l'innovazione sociale per adattarsi al cambiamento tecnico, per una riforma radicale delle istituzioni e dei processi politici a tutti i livelli, incluso il più alto, quello della politica mondiale . Siamo fiduciosi che la nostra generazione accetterà questa sfida se comprendiamo le tragiche conseguenze che l'inazione può portare.

8. Non abbiamo dubbi che se l'umanità vuole intraprendere un nuovo corso, saranno necessarie misure internazionali concertate e una pianificazione congiunta a lungo termine su una scala e una portata senza precedenti.

Un tale sforzo richiede uno sforzo congiunto da parte di tutti i popoli, qualunque sia la loro cultura, il loro sistema economico o il loro livello di sviluppo. Ma la responsabilità principale deve ricadere sulle nazioni più sviluppate, non perché abbiano più visione o umanità, ma perché, avendo propagato la sindrome della crescita, sono ancora alla fonte del progresso che la sostiene. Man mano che si sviluppano maggiori intuizioni sulle condizioni e sul funzionamento del sistema mondiale, queste nazioni arriveranno a realizzare che, in un mondo che ha fondamentalmente bisogno di stabilità, i loro alti livelli di sviluppo possono essere giustificati o tollerati solo se servono non come trampolini di lancio per raggiungere livelli ancora più alti, ma come aree di sosta da cui organizzare una distribuzione più equa della ricchezza e del reddito in tutto il mondo.

9. Sosteniamo inequivocabilmente la tesi secondo cui un freno imposto alle spirali di crescita demografica ed economica mondiale non deve portare al congelamento dello status quo dello sviluppo economico delle nazioni del mondo.

Se una tale proposta fosse avanzata dalle nazioni ricche, verrebbe considerata un atto finale di neocolonialismo. Il raggiungimento di uno stato armonioso di equilibrio economico, sociale ed ecologico globale deve essere un'impresa comune basata su convinzioni comuni, con benefici per tutti. La massima leadership sarà richiesta ai paesi economicamente sviluppati, perché il primo passo verso tale obiettivo sarebbe per loro incoraggiare una decelerazione nella crescita della propria produzione

materiale e, allo stesso tempo, assistere le nazioni in via di sviluppo nei loro sforzi per far progredire le loro economie più rapidamente.

10. Affermiamo infine che qualsiasi tentativo deliberato di raggiungere uno stato di equilibrio razionale e duraturo mediante misure pianificate, piuttosto che tramite il caso o una catastrofe, deve in ultima analisi essere fondato su un cambiamento fondamentale di valori e obiettivi a livello individuale, nazionale e mondiale.

Questo cambiamento è forse già nell'aria, seppur debolmente. Ma la nostra tradizione, istruzione, attività attuali e interessi renderanno la trasformazione lenta e combattuta. Solo una reale comprensione della condizione umana in questo punto di svolta della storia può fornire una motivazione sufficiente affinché le persone accettino i sacrifici individuali e i cambiamenti nelle strutture di potere politico ed economico richiesti per raggiungere uno stato di equilibrio.

Resta naturalmente la questione se la situazione mondiale sia effettivamente così seria come questo libro e i nostri commenti indicherebbero. Crediamo fermamente che gli avvertimenti contenuti in questo libro siano ampiamente giustificati e che gli obiettivi e le azioni della nostra civiltà attuale possano solo aggravare i problemi di domani. Ma saremmo solo troppo felici se le nostre valutazioni provvisorie dovessero rivelarsi troppo cupe.

In ogni caso, la nostra posizione è di grande preoccupazione, ma non di disperazione. Il rapporto descrive un'alternativa alla crescita incontrollata e disastrosa e propone alcune riflessioni sui cambiamenti politici che potrebbero produrre un equilibrio stabile per l'umanità. Il rapporto indica che potrebbe essere alla nostra portata fornire a popolazioni ragionevolmente grandi una buona vita materiale, oltre a opportunità di sviluppo individuale e sociale illimitato. Siamo sostanzialmente d'accordo con questa visione, sebbene siamo abbastanza realisti da non lasciarci trasportare da speculazioni puramente scientifiche o etiche.

Il concetto di una società in uno stato stabile di equilibrio economico ed ecologico può sembrare facile da afferrare, sebbene la realtà sia così lontana dalla nostra esperienza da richiedere una rivoluzione copernicana della mente. Tradurre l'idea in azione, tuttavia, è un compito pieno di difficoltà e complessità schiaccianti. Possiamo parlare seriamente di dove iniziare solo quando il messaggio di The Limits to Growth e il suo senso di estrema urgenza saranno accettati da un ampio corpo di opinione scientifica, politica e popolare in molti paesi. La transizione in ogni caso sarà probabilmente dolorosa e richiederà estreme richieste all'ingegno e alla determinazione umana. Come abbiamo detto, solo la convinzione che non ci sia altra via per la sopravvivenza può liberare le forze morali, intellettuali e creative necessarie per avviare questa impresa umana senza precedenti.

Ma desideriamo sottolineare la sfida piuttosto che la difficoltà di tracciare la strada verso una società statale stabile. Crediamo che un numero inaspettatamente grande di uomini e donne di tutte le età e condizioni risponderà prontamente alla sfida e sarà desideroso di discutere non se ma come possiamo creare questo nuovo futuro.

Il Club di Roma intende supportare tale attività in molti modi. La ricerca sostanziale iniziata al MIT sulle dinamiche mondiali sarà continuata sia al MIT sia attraverso studi condotti in Europa, Canada, America Latina, Unione Sovietica e Giappone. E, poiché l'illuminazione intellettuale è priva di effetto se non è anche politica, il Club di Roma incoraggerà anche la creazione di un forum mondiale in cui statisti,
I decisori politici e gli scienziati possono discutere i pericoli e le speranze per il futuro sistema globale senza i vincoli delle negoziazioni intergovernative formali.

L'ultimo pensiero che desideriamo offrire è che l'uomo deve esplorare se stesso, i suoi obiettivi e valori, tanto quanto il mondo che cerca di cambiare. La dedizione a entrambi i compiti deve essere infinita. Il nocciolo della questione non è solo se la specie umana sopravviverà, ma ancora di più se può sopravvivere senza cadere in uno stato di esistenza senza valore.

Il Comitato Esecutivo del Club di Roma
ALESSANDRO RE
SABURO OKITA AURELIO PECCEI
EDUARDO PESTEL
HUGO THIEMANN
CARROLL WILSON

APPENDICE: Studi correlati

Articoli correlati al MIT System Dynamics Group—Club of
Di seguito sono elencati i Rome Project on the Predicament of Mankind . La maggior parte di questi documenti è disponibile in un volume, TOWARD GLOBAL EQUILIBRIUM: COLLECTED PAPERS, Dennis L. Meadows, curatore. Pubblicato da Wright-Allen Press, Inc., 238 Main Street, Cambridge, Massachusetts 02142.

ANDERSON, ALISON e ANDERSON, JAY M. "Simulazione di sistema per testare la politica ambientale III: il flusso di mercurio attraverso l'ambiente". Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

ANDERSON, JAY M. "Simulazione di sistema per testare la politica ambientale Il: l'eutrofizzazione dei laghi". Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

BEHRENS, WILLIAM w. 111. "The Dynamics of Natural Resource Utilization." Articolo presentato alla Summer Computer Simulation Conference del 1971, luglio 1971, Boston, Massachusetts, sponsorizzato dal Board of Simulation Conferences, Denver, Colorado.

BEHRENS, WILLIAM W. 111 e MEADOWS, DENNIS L. "I determinanti della disponibilità delle risorse a lungo termine". Articolo presentato al convegno annuale dell'American Association for the Advancement of Science, gennaio 1971, Philadelphia, Pennsylvania.

CHOUCRI, NAZLI; LAIRD, MICHAEL; e MEADOWS, DENNIS L. "Scarsità di risorse e politica estera: un modello di simulazione del conflitto internazionale". Articolo presentato al convegno annuale dell'American Association for the Advancement of Science, gennaio 1971, Philadelphia, Pennsylvania.

FORRESTER, JAY w. "Natura controintuitiva dei sistemi sociali." Technology Review 73 (1971): 5

FORRESTER, JAY con Dinamiche mondiali. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1971.

HARBORDT, STEFFEN c. "Collegamento dei fattori socio-politici al modello mondiale". Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Teqhnology, 1971.

MEADOWS, DONELLA H. "La dinamica della crescita della popolazione nel villaggio agricolo tradizionale". Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

MEADOWS, DONELLA H. "Testimonianza davanti al Comitato per l'istruzione della Corte suprema e generale del Massachusetts per conto del disegno di legge 3787." Ripubblicato come "Reckoning with Recklessness," Ecology Today, gennaio 1972, pag. 11.

MEADOWS, DENNIS L. La dinamica dei cicli di produzione delle merci. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1970.

MEADOWS, DENNIS L. "MIT—Progetto del Club di Roma sulla situazione critica dell'umanità". Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

MEADOWS, DENNIS L. "Alcuni requisiti di un programma ambientale di successo". Udienze del sottocomitato sull'inquinamento dell'aria e dell'acqua del comitato del Senato sui lavori pubblici, parte I, 3 maggio 1971. Washington, DC: Government Printing Office, 1971.

APPENDICE

MILLING, PETER. "Una semplice analisi dello spostamento e dell'assorbimento del lavoro in un'economia a due settori". Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

NAILL, ROGER F. "Il ciclo di vita della scoperta di una risorsa finita: uno studio di caso sul gas naturale degli Stati Uniti". Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

RANDERS, JØRGEN. "The Dynamics of Solid Waste Generation." Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

RANDERS, JØRGEN e MEADOWS, DONELLA H. "La capacità di carico del nostro ambiente globale: uno sguardo alle alternative etiche". In Western Man and Envzronmental Ethics, a cura di Ian Barbour. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1972.

RANDERS, JØRGEN e MEADOWS, DENNIS L. "Simulazione di sistema per testare la politica ambientale I: uno studio campione del movimento del DDT nell'ambiente". Ciclostilato. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

SHANTZIS, STEPHEN B. e BEHRENS, WILLIAM W. 111. "Meccanismi di controllo della popolazione in una società agricola primitiva". Ciclostilato . Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, 1971.

NOTE

1. AM Carr-Saunders, Popolazione mondiale: crescita passata e tendenze presenti (Oxford: Clarendon Press, 1936), p. 42.

2. Agenzia statunitense per lo sviluppo internazionale, Population Program Assistance (Washington, DC: Government Printing Offce, 1970), p. 172.

3. Scheda dati sulla popolazione mondiale 1968 (Washington, DC: Population Reference Bureau, 1968).

4. Lester R. Brown, Semi del cambiamento (New York: Praeger Publishers, 1970), p. 135.

5. Comitato consultivo scientifico del Presidente sulla fornitura alimentare mondiale, The World Food Problem (Washington, DC: Government Printing 06ce, 1967) 2:5.

6. Comitato consultivo scientifico del Presidente sulla fornitura alimentare mondiale, The World Food Problem, 2:423.

7. Comitato consultivo scientifico del Presidente sulla fornitura alimentare mondiale, The World Food Problem, 2:460-69.

8. Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, Piano indicativo mondiale provvisorio per lo sviluppo agricolo (Roma: Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, 1970) 1:41.

9. Dati tratti da un sondaggio dell'Economic Research Service, riportati da Rodney J. Arkley in "Urbanization of Agricultural Land in California", riassunti graficamente (Berkeley, California: University of California, 1970).

10. Paul R. Ehrlich e Anne H. Ehrlich, Popolazione, risorse, ambiente (San Francisco, California: WH Freeman and Company, 1970), p. 72.

ll. L'impatto dell'uomo sull'ambiente globale, Rapporto sullo studio dei problemi ambientali critici (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1970), p. 118.

12. Primo rapporto annuale del Consiglio sulla qualità ambientale (YVashington, DC: Government Printing Office, 1970), p. 158.

13. US Bureau of Mines, Mineral Facts and Problems, 1970 (Washington, DC: Government Printing Offce, 1970), p. 247.

14. Dati sul mercurio da US Bureau of Mines, Minerals Yearbook (Washington, DC: Government Printing Office, 1967) 1(2):724 e US Bureau of Mines, Commodity Data Summary (Washington, DC: Government Printing Office, gennaio 1971), p. 90. Dati sul piombo da Metal Statistics (Somerset, NJ: American Metal Market Company, 1970), p. 215.

15. G. Evelyn Hutchinson, "La biosfera", Scientific American, settembre 1970, p. 53.

16. Chauncey Starr, "Energia e potere", Scientific American, settembre 1971, p. 42.

17. Dipartimento per gli Affari Economici e Sociali delle Nazioni Unite, Statistical Yearbook 1969 (New York: Nazioni Unite, 1970), p. 40.

18. Bert Bolin, "Il ciclo del carbonio", Scientific American, settembre 1970, p. 131.

19. Inadvertent Climate Modification, Report of the Study of Man's Impact on Climate (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1971), p. 234. 20. John R. Clark, "Thermal Pollution and Aquatic Life", Scientific American, marzo 1969, p. 18.

21. Modificazione inavvertita del clima , pp. 151—54.

22. John P. Holdren, "Inquinamento termico globale", in Global Ecology, a cura di John P. Holdren e Paul R. Ehrlich (New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1971), p. 85.

23. Baltimore Gas and Electric Company, "Analisi preliminare della sicurezza Rapporto", citato in EP Ranford et al., "Statement of Concern", Environment, settembre 1969, pag. 22.

24. RA Wallace, W. Fulkerson, WD Shults e WS Lyons, Il mercurio nell'ambiente (Oak Ridge, Tenn.: Oak Ridge tory, 1971).Labora-

25. L'impatto dell'uomo sull'ambiente globale, p. 131.

26. CC Patterson e JD Salvia, "Il piombo nell'ambiente moderno", Scientist and Citizen, aprile 1968, p. 66.

27. Secondo rapporto annuale del Consiglio sulla qualità ambientale (Washington, DC: Government Printing Offce, 1971), pp. 110-11. 28. Edward J. Kormandy, Concepts of Ecology (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hali, 1969), pp. 95-97.

29. Secondo rapporto annuale del Consiglio sulla qualità ambientale,

pagina 105.

30. Calcolato dal PIL pro capite medio mediante le relazioni mostrate in HB Chenery e L. Taylor, "Development Patterns: Among Countries and Over Time", Review of Economics and Statistics 50 (1969): 391.

31. Calcolato dai dati sul consumo di metalli ed energia nel Dipartimento per gli affari economici e sociali delle Nazioni Unite, Annuario statistico 1969.

32. JJ Spengler, " Values and Fertility Analysis," Demography 3 (1966): 109.

33. Lester B. Lave e Eugene P. Seskin, "Inquinamento atmosferico e salute umana", Science 169 (1970): 723.

34. Secondo rapporto annuale del Consiglio sulla qualità ambientale, pp. 105—6.

35. Frank W. Notestein, "Crescita zero della popolazione: che cos'è?" Family Planning Perspectives 2 (giugno 1970): 20.

36. Donald J. Bogue, Principi di demografia (New York: John Wiley and Sons, 1969), p. 828.

37. R. Buckminster Fuller, Strategia di progettazione completa, Inventario delle risorse mondiali, Fase II (Carbondale, Ill.: University of Illinois, 1967), p. 48.

38. Thomas S. Lovering, "Risorse minerarie dalla terra", in Committee on Resources and Man, Resources and Man (San Francisco, California: WH Freeman and Company, 1969), p. 122—23.

39. Secondo rapporto annuale del Consiglio sulla qualità ambientale,

pagina 118.

40. Garrett Hardin, "The Cybernetics of Competition: A Biologist's View of Society", Perspectives in Biology and Medicine 7 (autunno

1963): 58, ristampato in Paul Shepard e Daniel McKinley, a cura di, The Subversive Science (Boston: Houghton Miffn, 1969), p. 275.

41. SR Sen, Modernizing Indian Agriculture vol. 1, Comitato di esperti sulla valutazione e la valutazione (New I)dhi : Ministero dell'alimentazione, dell'agricoltura, dello sviluppo della comunità e delle cooperative, 1969).

42. Per un'eccellente sintesi di questo problema, vedere Robert d'A. Shaw, Jobs and Agricultural Development, (Ylashington, DC: Overseas Development Council, 1970).

43. Richard Critchfield, "È proprio una rivoluzione", Alicia Patterson
Documento del fondo (New York: Alicia Patterson Fund, 1971).

44. Robert d'A. Shaw, Lavoro e sviluppo agricolo, p. 44.

45. Lester R. Brown, Semi del cambiamento, p. 112.

46. US Bureau of the Census, censimento della popolazione e delle abitazioni del 1970, tendenze demografiche generali delle aree metropolitane, 1960-70 (Washington, DC: Government Printing Office, 1971).

47. Garrett Hardin, "La tragedia dei beni comuni", Science 162 (1968): 1243.

48. Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, Lo stato dell'alimentazione e dell'agricoltura (Roma: Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, 1970),

49. John Stuart Mill, Principles of Political Economy, in The Collected Works of John Stuart Mill,

a cura di VW Bladen e JM Robson (Toronto: University of Toronto Press, 1965), p. 754.

50. Bertrand Russell, Elogio dell'ozio e altri saggi (Londra: Allen and Unwin, 1935), pp. 16—17.

51. Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, Piano indicativo mondiale provvisorio per lo sviluppo agricolo 2: 490.

52. Herman E. Daly, "Verso un'economia a stato stazionario", in The Patient Earth, a cura di John Harte e Robert Socolow (New York: Holt, Rinehart e Winston, 1971), pp. 236-37.

53. Vedi, ad esempio, "Fellow Americans Keep Out!" Forbes, 15 giugno 1971, p. 22, e The Ecologist, gennaio 1972.

54. J. Bourgeois-Pichat e Si-Ahmed Taleb, "Un tasso di crescita zero per i paesi in via di sviluppo nell'anno 2000: sogno o realtà? " Popolazione 25 (settembre / ottobre 1970): 957.

55. Commissione sulla crescita della popolazione e il futuro americano, rapporto provvisorio al Presidente e al Congresso (Washington, DC: Government Printing Offce, 1971).

56. Bernard Berelson, The Population Council Annual Report, 1970 (New York: The Population Council, 1970), p. 19.

". . . probabilmente uno dei documenti più importanti della nostra epoca." ANTHONY LEWIS, sul New York Times.

Il messaggio di questo libro è urgente e serio: le risorse interconnesse della Terra, ovvero il sistema naturale globale in cui tutti viviamo, probabilmente non saranno in grado di sostenere gli attuali tassi di crescita economica e demografica ben oltre l'anno 2100, se mai saranno così lunghi, anche con tecnologie avanzate.

Nell'estate del 1970, un team internazionale di ricercatori del Massachusetts Institute of Technology ha iniziato uno studio sulle implicazioni della continua crescita mondiale. Hanno esaminato i cinque fattori di base che determinano e, nelle loro interazioni, in ultima analisi limitano la crescita su questo pianeta: aumento della popolazione, produzione agricola, esaurimento delle risorse non rinnovabili, produzione industriale e generazione di inquinamento. Il team del MIT ha inserito i dati su questi cinque fattori in un modello informatico globale e ha quindi testato il comportamento del modello in base a diverse serie di ipotesi per determinare modelli alternativi per il futuro dell'umanità. THE LIMITS TO GROWTH è il rapporto non tecnico delle loro scoperte.

Il libro contiene anche un messaggio di speranza: l'uomo può creare una società in cui può vivere indefinitamente sulla Terra se impone dei limiti a se stesso e alla sua produzione di beni materiali per raggiungere uno stato di equilibrio globale con popolazione e produzione in un equilibrio attentamente selezionato.

"L'attività più importante sulla terra, letteralmente, è l'attività di pianificazione planetaria. Questo libro è uno sforzo pionieristico in quella direzione. Ha

qualcosa di valore da dire a chiunque comprenda le precarie realtà dell'habitat umano." NORMAN COUSINS, curatore e autore

"Se questo libro non fa impazzire chiunque riesca a leggere senza muovere le labbra, allora la Terra è kaput."
ROBERT C. TOWNSEND, autore di Up the Organization ed ex presidente e amministratore delegato di Avis Rent A Car Corporation

"Questo libro solleva questioni di vita o di morte che l'umanità si trova ad affrontare mentre lotta per raggiungere una società prospera ed equa."
VERNON E. JORDAN, JR., direttore esecutivo, National Urban League

"I Meadows e il team del MIT hanno reso un grande servizio nel costruire un modello preliminare del mondo in cui tutti i presupposti e i parametri sono espliciti e quindi aperti a critiche e modifica. Coloro che si oppongono alle caratteristiche del modello sono sfidati a contribuire a migliorarlo; coloro che non amano le caratteristiche del sistema che simula potrebbero prendere in considerazione di lavorare per i cambiamenti nel mondo reale."
PAUL EHRLICH, professore di biologia presso
Università di Stanford