

« *I limiti dello sviluppo* verrà probabilmente citato negli anni a venire come il punto di partenza di un profondo riesame dei valori che hanno retto le società occidentali in questi ultimi due secoli. In un certo senso questo studio promosso dal Club di Roma può venir paragonato al movimento degli enciclopedisti francesi che schiuse l'età moderna. »

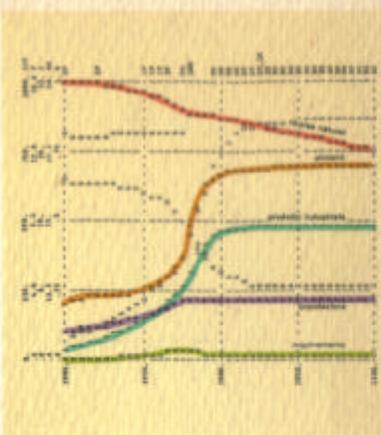
ADRIANO BUZZATI TRAVERSO
vice direttore generale dell'UNESCO per le Scienze

« ... più gravi ancora sono le questioni che si porranno a noi tutti e che si disegnano sempre più nettamente. Quando dico « noi » non penso solo all'Europa, ma all'umanità tutta intera. Questi problemi sono collegati con i seguenti fattori, che sono le grandi determinanti del futuro dell'umanità: l'evoluzione demografica del mondo; la produzione alimentare; l'industrializzazione; l'inquinamento; l'utilizzazione delle risorse naturali. Mi limito a questi punti perché essi rappresentano la base del rapporto del System Dynamics Group del Massachusetts Institute of Technology. »

SICCO MANSHØLT
presidente della Commissione Europea (CEE)

« Il futuro di tutti i paesi è diventato meno sicuro da quando una serie di ricerche condotte dal Massachusetts Institute of Technology hanno messo in luce la possibilità di un rapido deterioramento dell'ambiente e di un esaurimento altrettanto rapido delle riserve naturali. Tali conclusioni potrebbero porre in luce completamente diversa i problemi ... relativi allo sviluppo mondiale ... La Comunità Economica Europea dovrebbe tentare ... di accordare una larga priorità ai progetti di ricerca scientifica ispirati ai lavori avviati da Forrester e Meadows, del MIT, su suggerimento del Club di Roma. »

JAN TINBERGEN
Premio Nobel per le Scienze Economiche,
Istituto Superiore di Studi Economici di Rotterdam



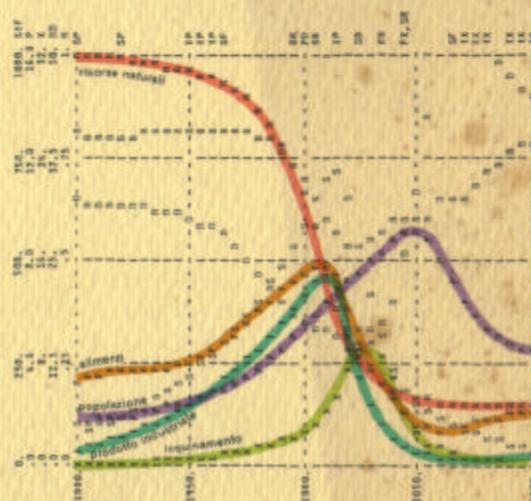
10467

Il CLUB DI ROMA è un gruppo internazionale di personalità del mondo scientifico, economico e industriale, individualmente preoccupati della crescente minaccia implicita nei molti e interdipendenti problemi che si prospettano per il genere umano. Si chiama Club di Roma perché la prima riunione del gruppo, nel 1968, avvenne nella sede dell'Accademia dei Lincei alla Farnesina. Per invito del Club di Roma, il System Dynamics Group del Massachusetts Institute of Technology (MIT) ha svolto una ricerca, le cui conclusioni sono espone in questo rapporto, per simulare in un modello matematico globale, con l'impiego di elaboratori elettronici, le tendenze e le interazioni di un certo numero di fattori dai quali dipende la sorte della società nel suo insieme: l'aumento della popolazione, la disponibilità di cibo, le riserve e i consumi di materie prime, lo sviluppo industriale, l'inquinamento. Lo studio del MIT si propone di definire chiaramente i limiti fisici e le costrizioni relativi alla moltiplicazione del genere umano e alla sua attività materiale sul nostro pianeta. Questa la ragione del titolo *I limiti dello sviluppo*, di cui è prevista la pubblicazione in sedici lingue.

L. 2000

DONELLA H. MEADOWS
DENNIS L. MEADOWS
JØRGEN RANDERS
WILLIAM W. BEHRENS III

prefazione di
AURELIO PECCEI



I LIMITI dello SVILUPPO

rapporto del System Dynamics Group
Massachusetts Institute of Technology (MIT)
per il progetto del Club di Roma
sui dilemmi dell'umanità

Biblioteca della EST
EDIZIONI SCIENTIFICHE E TECNICHE
MONDADORI



Biblioteca
della EST

I volumi della **BIBLIOTECA DELLA EST**
sono dedicati alle più recenti scoperte ed elaborazioni
che innovano campi tradizionali della ricerca
e ai nuovi temi interdisciplinari
che collegano specializzazioni e settori diversi.

Perciò la **BIBLIOTECA DELLA EST**
è dedicata a coloro che vogliono essere informati
sulle prospettive più originali
della scienza e della tecnica contemporanee
e a coloro che desiderano essere aggiornati,
in forma rigorosa ma anche pianamente accessibile,
sui nuovi sviluppi nei campi contigui o remoti
rispetto a quello della loro specifica preparazione
o attività professionale.

Ciascuna monografia
della **BIBLIOTECA DELLA EST**
è un'opera indipendente,
ma la collana è concepita con caratteristiche unitarie
che consentono di raggruppare i volumi
in serie omogenee e di svolgere
per ciascuna disciplina fondamentale
una rassegna graduale ed esauriente
di informazione e di aggiornamento.



Donella H. Meadows
Dennis L. Meadows
Jørgen Randers
William W. Behrens III

I LIMITI DELLO SVILUPPO

rapporto del System Dynamics Group
Massachusetts Institute of Technology (MIT)
per il progetto del Club di Roma
sui dilemmi dell'umanità

prefazione di Aurelio Peccei



EDIZIONI
SCIENTIFICHE
E TECNICHE
MONDADORI



Biblioteca
della EST

Direttore editoriale
EDGARDO MACORINI

Redattore
ROSSANA ROSSI

Traduzione ed edizione italiana a cura di
FILIPPO MACALUSO

Progetto grafico di
ENRICO GENOVESI

Impaginazione di
BRUNO PAGLIA

In copertina:

Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale tra il 1900 e il 2100 nell'ipotesi che tutte le variabili seguano l'andamento attuale.

Sul retro:

Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale tra il 1900 e il 2100 nell'ipotesi che tutte le variabili si stabilizzino a partire dal 1975.

Prima edizione in *S & T 72*: marzo 1972
Seconda edizione: giugno 1972

© 1972 by THE CLUB OF ROME, GINEVRA
© 1972 by ARNOLDO MONDADORI EDITORE, MILANO

Indice

PREFAZIONE <i>di Aurelio Peccei</i>	9
PREMESSA La condizione umana, 20. La problematica del mondo: sintomi e diagnosi, 22. Il progetto del MIT, 23.	17
I INTRODUZIONE Interessi umani, 27. Problemi e modelli, 29.	27
II CARATTERISTICHE DELLA CRESCITA ESPONENZIALE Matematica della crescita esponenziale, 33. Crescita della popolazione mondiale, 37. Sviluppo economico del mondo, 40.	33
III LIMITI DELLA CRESCITA ESPONENZIALE Alimenti, 46. Risorse naturali non rinnovabili, 53. Inquinamento, 62. Un mondo finito, 74.	45
IV LO SVILUPPO NEL SISTEMA MONDIALE Fondamenti del modello, 76. Struttura del modello, 78. Finalità del modello, 79. Struttura dell'anello di retroazione, 83. Ipotesi quantitative, 90. Utilità del modello del mondo, 101. Comportamento del modello del mondo, 103.	75
V LA TECNOLOGIA E I LIMITI DELLO SVILUPPO La tecnologia nel modello mondiale, 108. La tecnologia nel mondo reale, 119.	107
VI LO STATO DI EQUILIBRIO GLOBALE Lo sviluppo autocontrollato, 127. Lo stato di equilibrio, 137. Il passaggio dalla fase di sviluppo alla condizione di equilibrio globale, 144.	126
COMMENTO <i>del Comitato esecutivo del Club di Roma</i>	147
BIBLIOGRAFIA	157
FONTI DELLE ILLUSTRAZIONI	159

*Ad Aurelio Peccei
la cui profonda sollecitudine verso l'umanità
è stata per noi e per molti altri uno stimolo a meditare
sui problemi del mondo*

SYSTEM DYNAMICS GROUP
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT)

Direttore
Dennis L. MEADOWS

Membri

Alison A. ANDERSON, USA (inquinamenti)
Jay M. ANDERSON, USA (inquinamenti)
Ilyas BAYAR, Turchia (agricoltura)
William W. BEHRENS III, USA (risorse naturali)
Farhad HAKIMZADEH, Iran (popolazione)
Steffen HARBORDT, Rep. Fed. Ted. (tendenze sociopolitiche)
Judith A. MACHEN, USA (amministratozione)
Donella H. MEADOWS, USA (popolazione)
Peter MILLING, Rep. Fed. Ted. (capitali)
Nirmala S. MURTHY, India (popolazione)
Roger F. NAILL, USA (risorse naturali)
Jørgen RANDERS, Norvegia (inquinamenti)
Stephen SHANTZIS, USA (agricoltura)
John A. SEEGER, USA (amministratozione)
Marilyn WILLIAMS, USA (documentazione)
Erich K. O. ZAHN, Rep. Fed. Ted. (agricoltura)

PREFAZIONE

Il rapporto fatto dal Massachusetts Institute of Technology per conto del Club di Roma, che viene presentato in questo libro dopo essere stato anticipato nell'annuario *Scienza e Tecnica 72*, fu portato a conoscenza del pubblico per la prima volta nel marzo scorso durante una conferenza alla Smithsonian Institution di Washington a cui parteciparono circa duecento scienziati, umanisti, uomini politici e giornalisti.

La sua diffusione è stata poi rapidissima, come testimoniano le ripetute edizioni in lingua inglese negli Stati Uniti e Inghilterra, seguite da quella olandese, della quale sono state già vendute quasi duecentomila copie, e da quelle tedesca, francese e giapponese. Traduzioni in altre dieci lingue sono in corso di approntamento. Quindicimila esemplari del rapporto sono stati o verranno inviati in ogni parte del mondo a uomini di cultura e di azione che occupano posizioni chiave nei governi, nelle amministrazioni pubbliche, negli organismi internazionali, nell'industria, nei sindacati, nelle università, nei gruppi giovanili, nelle comunità scientifiche e intellettuali, nelle organizzazioni religiose, negli strumenti di comunicazione di massa, e le cui opinioni e decisioni hanno quindi importanza rilevante nella condotta degli affari umani.

Gli scopi essenziali di questa iniziativa verranno quindi probabil-

mente raggiunti. Si trattava di accendere per mezzo di questo rapporto un grande dibattito sui *Dilemmi dell'Umanità*, e di catalizzare in energie innovatrici la diffusa sensazione che, coll'avvento dell'era tecnologica, qualcosa di fondamentale deve essere modificato nelle nostre istituzioni e nei nostri comportamenti. In effetti, un vero e proprio movimento transnazionale si sta creando in questo senso. Migliaia di commenti, di critiche, di adesioni e di suggerimenti sono apparsi su giornali, riviste e pubblicazioni di ogni genere, o sono stati trasmessi dalla radio e dalla TV in un arco sempre più vasto di paesi; centinaia di conferenze sono state indette su questi argomenti; decine d'indagini e di studi sono stati intrapresi per approfondire, validare o correggere la ricerca originale del MIT. Da questo confuso travaglio emerge una più precisa presa di coscienza che urgono visioni e approcci radicalmente nuovi per affrontare la problematica intricata, sconcertante e senza precedenti che attanaglia l'intera società umana, senza grandi distinzioni per il grado di sviluppo o per l'ordinamento politico dei suoi vari componenti.

Mi auguro che la pubblicazione del libro in italiano contribuirà ad ampliare in senso temporale e in senso spaziale l'orizzonte dei nostri interessi, spostandoli dalle questioni immediate o locali — a cui troveremo pur sempre rimedio, per quanto difficili esse siano — per considerare anche quelle ben più complesse e importanti che concernono l'organizzazione della vita di quattro o cinque o sei o sette miliardi di abitanti sul nostro pianeta in condizioni ragionevoli di benessere, di giustizia e di equilibrio con la Natura.

La pubblicazione di questo libro coincide con un periodo di grandi manovre e di grandi incontri politici. Spesseggiano le riunioni che i capi delle nazioni maggiori hanno fra di loro o con i loro alleati e associati, a Washington, a Mosca, a Pechino, in Medio Oriente, a Tokyo e in Europa. Ma anche agli esperti più acuti non è dato di comprendere tra le circonlocuzioni diplomatiche e i peana propagandistici che cosa effettivamente vogliono i potenti della terra, al di là della difesa — a volte meschina e ottusa — di loro interessi immediati, o quanta parte di questa giostra internazionale ha scopi politici o ad-

dirittura partitici puramente interni, e quale significato o valore nel tempo possa avere questa sequela di contatti ad alto livello.

Anche la trama indispensabile ancorché debole che tessono gli organismi internazionali si sta infittendo. La Terza Conferenza delle Nazioni Unite sugli Scambi e lo Sviluppo, l'UNCTAD III, testé terminata a Santiago, ha sostanzialmente confermato che i paesi ricchi restano arroccati nelle loro cittadelle dell'affluenza ben decisi a difendere l'ordine mondiale attuale. Ma se tale ordine non cambierà, le prospettive degli altri paesi, più o meno poveri, e uniti solo nel firmare documenti patetici o velleitari, rimarranno oscure, e con esse l'avvenire del mondo, poiché tre quarti dell'umanità continueranno a restare emarginati. Vi è poi la Conferenza di Stoccolma sull'Uomo e il suo Ambiente, già turbata prima dell'inizio da fratture ideologiche, e a cui ricchi o poveri accorrono preoccupati soprattutto di conservare sovrani diritti in casa propria e di partecipare allo sfruttamento delle risorse 'libere' del mondo pagando un prezzo possibilmente inferiore a quello degli altri. Nel 1974 vi sarà un'altra conferenza, quella mondiale sulla popolazione, dove il più esplosivo fenomeno dei nostri tempi verrà misurato e analizzato probabilmente soprattutto come fattore di potere o elemento di negoziato fra vari gruppi di paesi.

Nel frattempo si preparano le grandi trattative del 1973 per riassetare i rapporti monetari, commerciali e finanziari tra le nazioni sviluppate a economia di mercato, che vedranno protagonisti gli Stati Uniti, la Comunità Europea allargata e il Giappone. Questi problemi vennero accantonati per dare tempo che si facciano le elezioni americane e il vertice europeo, ma sono così delicati, difficili e intrecciati da far temere che, nonostante il rinvio, i tre grandi interlocutori, pressati da considerazioni interne, finiranno per trattarli con spirito mercantile, non con la chiara visione politica che da quanto essi decideranno dipenderà il corso degli eventi su pressoché tutti gli scacchieri mondiali, almeno per parecchi anni.

Da tutto ciò sorgono domande angosciate. Che cosa succede effettivamente in questo mondo piccolo, sempre più dominato da inter-

dipendenze che ne fanno un sistema globale integrato dove l'uomo, la società, la tecnologia e la Natura si condizionano reciprocamente mediante rapporti sempre più vincolanti? Riusciremo ad assorbire in tempo questi concetti di fondo? Che cosa stiamo preparando in questo decisivo decennio degli anni '70? Che relazione ha questo grande spiegamento di attività politiche internazionali con il perdurare di conflitti armati locali — finché resteranno tali in un'epoca di armi di sterminio di massa —, con i fermenti di sofferenza e d'insoddisfazione di una società in grave travaglio, con gli scoppi di violenza civile che costellano la cronaca di ogni popolo, con le manifestazioni indubbie di crisi economiche, psicologiche, morali, sociali, ecologiche a carattere endemico in grandi zone del nostro globo?

Alcuni sviluppi favorevoli si possono notare: dall'avvio alla riunificazione e dal rilancio dell'Europa all'accettazione dell'*Ostpolitik*, dal rientro della Cina nel sistema internazionale alla fine prossima della tragedia vietnamita (che però peserà a lungo sulla coscienza di ogni uomo civile), dalla firma di alcuni accordi marginali sul controllo degli armamenti nucleari e dalla prevista conferenza sulla sicurezza europea alla mentalità globalistica — non solo internazionale — che comincia timidamente ad affacciarsi in taluni organismi multinazionali. Sarebbe ingiusto e controproducente minimizzare questi sintomi, e ancor più scoraggiarne la manifestazione.

Però non dobbiamo illuderci. Senza una forte ventata di opinione pubblica mondiale, alimentata a sua volta dai segmenti più creativi della società — i giovani e l'«intelligenza» artistica, intellettuale, scientifica, manageriale — la classe politica continuerà in ogni paese a restare in ritardo sui tempi, prigioniera del corto termine e d'interessi settoriali o locali, e le istituzioni politiche, già attualmente sclerotiche, inadeguate e ciononpertanto tendenti a perpetuarsi, finiranno per soccombere. Ciò renderà inevitabile il momento rivoluzionario come unica soluzione per la trasformazione della società umana, affinché essa riprenda un assetto di equilibrio interno ed esterno atto ad assicurarne la sopravvivenza in base alle nuove realtà che gli uomini stessi hanno creato nel loro mondo.

Il dibattito aperto da questo rapporto, anche se utile a innescare questo movimento in forma razionale, ed evitare possibilmente il precipitare di una crisi senza sbocchi, non è che una fase di un processo che deve andare assai più in profondità. Il guasto infatti è profondo, alle radici medesime del nostro tipo di civiltà. Ricerche più avanzate, autocritiche genuine, meditazioni più penetranti saranno necessarie. Se avremo la forza morale per intraprenderle, non solo potremo sperare di correggere il corso degli eventi per evitare il peggio che già si profila per un non lontano futuro, ma potremo forse gettare le basi di una nuova grande avventura dell'uomo, la prima a dimensioni planetarie, quali le sue conoscenze e i suoi mezzi tecnico-scientifici oggidi non solo permettono, ma ormai impongono.

Roma, maggio 1972

AURELIO PECCEI

PREMESSA

Il Club di Roma, un gruppo di cittadini di tutti i paesi, individualmente preoccupati della crescente minaccia implicita nei molti e interdipendenti problemi che si prospettano per il genere umano, ha invitato il System Dynamics Group del Massachusetts Institute of Technology (MIT), nell'agosto 1970, a intraprendere uno studio sulle tendenze e le interazioni di un certo numero di fattori dai quali dipende la sorte della società nel suo insieme. Questa ricerca fa parte del progresso più vasto sulla condizione precaria dell'umanità, che il Club di Roma condurrà a termine nei prossimi anni, come contributo per una migliore valutazione delle diverse alternative per il futuro che si prospettano a tutti i popoli e a tutti i paesi in questo momento cruciale della storia umana. Lo studio del MIT, finanziato dalla Fondazione Volkswagen, ha come scopo di definire chiaramente i limiti fisici e le costrizioni relativi alla moltiplicazione del genere umano e alla sua attività materiale sul nostro pianeta. Da qui il titolo I limiti dello sviluppo: un rapporto per il progetto del Club di Roma sui dilemmi dell'umanità.

Il rapporto di questo gruppo di scienziati è ora disponibile, e siamo lieti di presentarlo al pubblico e agli uomini politici. Le sue conclusioni indicano che l'umanità non può continuare a proliferare a ritmo accelerato, considerando lo sviluppo materiale come scopo principale, senza scontrarsi con i limiti naturali del processo, di fronte ai quali essa può scegliere di imboccare nuove strade che le consentano di padroneggiare il futuro, o di accettare le conseguenze inevitabilmente più crudeli di uno sviluppo incontrollato. Il rapporto mette il materiale raccolto a disposizione di quanti già si preoccupano dell'attuale corso degli eventi e dei valori che lo determinano, e offre a coloro che hanno opinioni o informazioni diverse l'occasione di confutarne le asserzioni.

Siamo convinti che questo documento debba essere considerato con la maggiore attenzione possibile e sollecitiamo le discussioni critiche. E certo necessario approfondire la ricerca ed esaminare informazioni più attendibili, prima di gettare le basi per una decisione definitiva. Tuttavia anche a questo stadio della ricerca è evidente che sono necessari alcuni cambiamenti fondamentali nel sistema di principi che regolano la nostra vita e il nostro comportamento.

Esaminiamo brevemente quali sono le considerazioni che hanno portato il Club di Roma a commissionare questo progetto.

La condizione umana

Per millenni l'uomo ha lottato per sopravvivere e durante questo periodo la tecnologia, sebbene ai primordi, è stata per lui la motivazione principale. Il fuoco, la ruota, l'aratro, i rudimentali utensili di metallo, queste e altre tecniche hanno portato a un'agricoltura stabile, agli insediamenti urbani e alla nascita di tutta una serie di attività artigianali. La rivoluzione industriale costituì un punto critico di questo sviluppo e portò all'esplosione di quelle attività, rischi e ricchezze che segnano l'inizio del mondo che noi conosciamo ora nei cosiddetti paesi sviluppati. La scienza ha accelerato molto il processo scoprendo la natura della materia e le leggi fisiche che hanno aperto la via a un'intera gamma di industrie a carattere scientifico (meccaniche, chimiche ed elettriche) i cui prodotti sono oggi d'uso comune e formano la base dell'attuale società dei consumi e dei rifiuti che prevale in una parte della Terra. Allo stesso tempo la maggior parte dell'umanità, che vive nelle altre regioni, sebbene presa nel giro di questi cambiamenti, ne beneficia solo marginalmente.

Nel frattempo si è verificato un progresso spettacolare nella ricerca scientifica; le enormi spese sostenute in questo senso in tutti i paesi industrializzati forniscono un ricco e fiorente deposito di sapere donde sta certamente sorgendo un ancor più ampio sviluppo tecnologico con conseguenze, per il futuro della società, importanti ma indistintamente percepite. Dobbiamo riconoscere l'enorme successo della scienza e della tecnologia nel provocare un'ondata di prosperità e sviluppo economico, a un livello senza precedenti sul nostro pianeta, che ha aumentato e arricchito i nostri rifornimenti alimentari, allungato le nostre vite e portato salute e agi a milioni di persone. Alle passate generazioni questa sarebbe apparsa come l'età dell'oro.

Ma la scienza e la tecnologia, con tutti i loro meriti, sono state anche le principali cause della complessità della situazione moderna, dello straordinario aumento della popolazione di cui stiamo soffrendo, dell'in-

quinamento e degli altri spiacevoli effetti dell'industrializzazione. Non desideriamo certo tornare alla situazione di qualche secolo addietro, quando l'incremento della popolazione era controllato dalla fame e dalle malattie, ma non abbiamo ancora imparato a controllare il presente. E, mancando una chiara visione di come vogliamo il futuro, non sappiamo verso quale precisa direzione guidare l'enorme forza rappresentata dalla ricerca scientifica e tecnologica, una forza potenzialmente capace di dare sia progresso sia distruzione.

Proprio a questo punto, vicini alla felice conclusione della vecchia lotta dell'uomo contro la povertà, le malattie e la schiavitù del lavoro, serpeggiano la disillusione e il dubbio. Cominciamo a percepire che nella nostra società tecnologica ogni passo avanti rende l'uomo insieme più impotente e più forte, che ogni nuovo potere acquisito sulla natura sembra essere un potere sull'uomo stesso. La scienza e la tecnologia ci hanno portato sia l'incubo dell'incenerimento termonucleare, sia la ricchezza e la prosperità; l'aumento della popolazione e lo sviluppo delle città hanno portato nuovi e degradanti tipi di povertà e l'imprigionamento in uno squallido urbanesimo, spesso culturalmente sterile, rumoroso e degradante; l'elettricità e la forza motrice hanno diminuito la fatica del lavoro manuale, ma lo hanno spogliato della soddisfazione che dava; l'automobile dà libertà di movimenti, ma è diventata un feticcio e avvelena le città. Le conseguenze indesiderabili della tecnologia sono tutte troppo ovvie e costituiscono una minaccia che può divenire irreversibile per il nostro ambiente naturale; gli individui sono sempre più alienati dalla società e rifiutano l'autorità; le droghe, i crimini e la delinquenza sono in costante aumento, la fede diminuisce, non solo in quel senso religioso che ha sostenuto l'uomo per secoli, ma anche nella classe politica e nell'efficacia delle riforme sociali. Tutte queste difficoltà sembrano aumentare di giorno in giorno.

Di conseguenza, sebbene si ponga ancora l'accento sui vantaggi dell'aumento di produzione e di consumo, nei paesi più prosperi sta nascendo la sensazione che la vita stia perdendo in qualità, e vengono messe in discussione le basi di tutto il sistema. E ancora più preoccupante, allo stesso tempo, la situazione nei paesi meno sviluppati. Qui sono ancora più acuti i contrasti fra le speranze suscitate dalla tecnologia moderna e la piccola parte di quel progresso, altrove così prorompente, che queste popolazioni riescono a intravedere. Così, nella scia del progresso scientifico e tecnologico, sono nati intollerabili divari, psicologici, politici ed economici che contrappongono l' 'avere' e il 'non avere' esistenti nel mondo. Un ulteriore aggravarsi di questo stato di cose renderebbe inevitabile un'esplosione politica.

In questo periodo di rapidi cambiamenti, siamo arrivati ad accorgerci

che l'uomo è una creatura che capisce le sue origini, anche se indistintamente, e che ha qualche potere sul suo futuro, ma che manca di ogni concreto senso d'orientamento; la tecnologia ne ha aumentato ed esteso enormemente il potere materiale, ma sembra averne poco o nulla influenzato il modo di ragionare e il discernimento. L'evoluzione biologica, che impiega millenni per dar vita a nuove specie attraverso le mutazioni, non può più essere applicata alla situazione attuale dell'uomo, giunto a un punto in cui deve costruirsi una nuova via per l'evoluzione culturale.

La problematica del mondo: sintomi e diagnosi

In queste condizioni, l'uomo è ovunque messo di fronte a problemi stranamente difficili da impostare ed elusivi: il deterioramento dell'ambiente, la crisi delle istituzioni, la burocratizzazione, l'espansione incontrollata delle città, l'insicurezza del lavoro, l'alienazione della gioventù, il rifiuto del sistema di valori sociali da parte di un sempre maggior numero di persone, l'inflazione e ogni altro squilibrio monetario ed economico, per citarne solo alcuni. Questi problemi, apparentemente diversi, hanno tre caratteristiche in comune: hanno dimensioni o effetti su scala mondiale e si manifestano in tutti i paesi a certi livelli di sviluppo, indipendentemente dai sistemi politici e sociali vigenti; sono complessi e variano in funzione di molteplici elementi tecnici, sociali, economici e politici; interagiscono intensamente tra loro secondo modalità non ancora chiarite.

È questo intricato miscuglio di problemi che noi esprimiamo col termine 'la problematica'. L'intreccio delle relazioni è a un livello tanto fondamentale e tanto critiche esse sono diventate, che non è più possibile isolarle una per una dal groviglio della problematica e trattarle separatamente. Tentare di farlo vuol solo dire aumentare le difficoltà in altre e spesso inaspettate parti dell'insieme. Per la stessa ragione, nessun paese, neppure il più grande, può sperare di risolvere i suoi propri problemi se non si risolvono prima quelli che minacciano il sistema nel suo insieme. Ogni abituale metodo di analisi, ogni impostazione, qualsiasi politica e struttura di governo, risulta insufficiente per affrontare situazioni tanto complesse. Non sappiamo neppure quali saranno le conseguenze future o indirette delle 'soluzioni' da noi attualmente adottate. È dunque questo il 'dilemma dell'umanità', noi possiamo percepire i sintomi individuali del profondo malessere della società, anche se non siamo in grado di capire il significato delle relazioni fra la miriade dei suoi componenti o di diagnosticare le cause di fondo, anche se non siamo capaci di escogitare provvedimenti adatti.

Proprio queste considerazioni e la necessità di provvedimenti insoliti portarono il Club di Roma a iniziare il suo progetto. Il nostro interesse

è per il futuro dell'umanità, che tanto conosce, che tanto ha fatto, ma con così poca saggezza e senso di orientamento. Pensiamo che sia giunto il tempo in cui non si può più evitare di affrontare una situazione risultante ormai dal limite massimo degli effetti rapidamente addensatisi, in un unico periodo di straordinario ma disordinato sviluppo: demografico, tecnologico, scientifico ed economico.

Siamo convinti che la nostra attuale organizzazione sociale e politica, la nostra visione a breve termine, il modo frammentario di affrontare le cose e, soprattutto, il nostro attuale sistema di valori, siano inadatti alla problematica moderna, sempre più complessa e globale, o perfino a concepirne la vera natura. Profondi cambiamenti devono essere attuati per dare un nuovo indirizzo alla situazione mondiale prima che sia troppo tardi, ma essi non possono partire nella giusta direzione, se non capiamo come le nuove realtà da affrontare differiscano da quelle che l'uomo ha affrontato nei secoli e millenni passati e che diedero forma alla sua evoluzione biologica, psicologica e sociale, come esse siano state trasformate dall'intervento stesso dell'uomo e, soprattutto, come queste nuove realtà ibride, in parte naturali e in parte artificiali, che condizionano la vita sul nostro pianeta, operino realmente.

Il progetto del MIT

In ogni progresso scientifico il primo passo sta nell'individuare e formulare esattamente i problemi da affrontare. Il primo obiettivo, nell'impostazione del Club di Roma nei riguardi della problematica del mondo, fu dunque quello di sondarne a fondo la natura, le dimensioni, la dinamica. A questo scopo fu ricercato quale fosse il formalismo matematico adatto a trattare in modo completo ed equilibrato le molte variabili che devono essere tenute in conto per arrivare a una valutazione globale dell'attuale situazione mondiale. Dopo mesi di discussioni e di studi, è stato scelto un metodo specifico, quello della dinamica dei sistemi, sviluppato da J. W. Forrester del MIT. Questa tecnica, originariamente messa a punto per l'analisi di problemi industriali, è già stata applicata allo studio di numerosi altri sistemi complessi, come quelli che si riferiscono al progressivo superamento della struttura urbana, a questioni di medicina interna e a problemi sociali.

In vista delle nostre necessità, Forrester sviluppò un modello preliminare del mondo, che comprendeva alcune delle più importanti relazioni che collegano a livello fondamentale il complesso dei problemi critici, identificati in precedenza dal Club di Roma. Questa impostazione sembrava molto promettente per simulare l'interazione di alcune fra le principali variabili intrinseche del sistema che rappresenta la problemati-

ca del mondo. Su questa base la Fondazione Volkswagen diede l'appoggio finanziario e permise di riunire, sotto la guida di D. L. Meadows, un gruppo interdisciplinare di scienziati, di cui facevano parte D. H. Meadows (USA), I. Bayar (Turchia), W. W. Behrens III (USA), F. Hakimzadeh (Iran), P. Milling (Rep. Fed. Ted.), J. Randers (Norvegia), E. K. O. Zahn (Rep. Fed. Ted.) e altri.

La tecnica del System Dynamics Group ha il notevole vantaggio di consentire una rappresentazione, grafica o matematica, delle relazioni mondiali, in termini facilmente assimilabili da chiunque. Non è essenziale una raffinata padronanza degli strumenti matematici per capire, contribuire al lavoro o usare i risultati di questo studio sulla dinamica dei sistemi. Di conseguenza, gli studiosi di demografia, di economia, capi di stato e quanti altri fossero interessati alla problematica, dovrebbero essere in grado di valutare i risultati e applicarli senza difficoltà al loro proprio campo.

Il compito principale della ricerca del MIT era lo studio, nel contesto mondiale, dell'interdipendenza e delle interazioni di cinque fattori critici: l'aumento della popolazione, la produzione di alimenti, l'industrializzazione, l'esaurimento delle risorse naturali e l'inquinamento. Questo richiede la scelta di una serie di ipotesi sulle relazioni tra i singoli elementi sulla base dei dati relativi al mondo reale noti in quel momento. Fu richiesto anche il parere di molti esperti estranei al gruppo, soprattutto su aspetti specifici della struttura del modello e sulla attendibilità dei dati in esso introdotti. Ciò non ha potuto eliminare una certa dose di soggettivismo ehe, in ogni caso, crediamo non sia superiore a quella esistente nei modelli mentali che guidano normalmente le decisioni umane. Verrà tuttavia successivamente preparato un rapporto tecnico completo con particolareggiati elenchi di fonti e commenti sui dati immessi e le ipotesi adottate, con descrizioni delle tecniche usate e con informazioni sui tracciati subordinati, che costituiscono l'argomento di relazioni specializzate.

Nel presentare questo rapporto generale, che compendia le ricerche svolte e ne riassume i risultati, le conclusioni preliminari e le osservazioni che ha suggerito a coloro che hanno compiuto questa eccezionale fatica, desideriamo esprimere pubblicamente la nostra stima profonda a Meadows e ai suoi colleghi per il contributo dato alla comprensione delle nuove e difficili situazioni che tutti collettivamente dobbiamo fronteggiare in questo mondo che cambia.

gennaio 1972

ALEXANDER KING, SABURO OKITA, AURELIO PECCEI,
EDUARD PESTEL, HUGO THIEMANN, CARROLL WILSON

I LIMITI DELLO SVILUPPO

rapporto del System Dynamics Group
Massachusetts Institute of Technology (MIT)
per il progetto del Club di Roma
sui dilemmi dell'umanità

I

Introduzione

« Non vorrei sembrare troppo catastrofico, ma dalle informazioni di cui posso disporre come segretario generale si trae una sola conclusione: i paesi membri dell'ONU hanno a disposizione a malapena dieci anni per accantonare le proprie dispute e impegnarsi in un programma globale di arresto della corsa agli armamenti, di risanamento dell'ambiente, di controllo dell'esplosione demografica, orientando i propri sforzi verso la problematica dello sviluppo. In caso contrario, c'è da temere che i problemi menzionati avranno raggiunto, entro il prossimo decennio, dimensioni tali da porli al di fuori di ogni nostra capacità di controllo. »
(U Thant, 1969).

I temi indicati da U Thant – controllo degli armamenti, miglioramento dell'ambiente, controllo della popolazione, sviluppo economico – vengono spesso citati come i più importanti tra quelli che l'uomo si trova oggi a dovere affrontare: sono molti a credere che dalla rapidità e dall'efficacia con la quale si riuscirà a trovare le giuste risposte dipende il futuro della società umana e forse la sua stessa sopravvivenza. E tuttavia solo una frazione assai piccola della popolazione mondiale appare impegnata con la necessaria energia nell'analisi di tali problemi e nella ricerca delle soluzioni.

Interessi umani

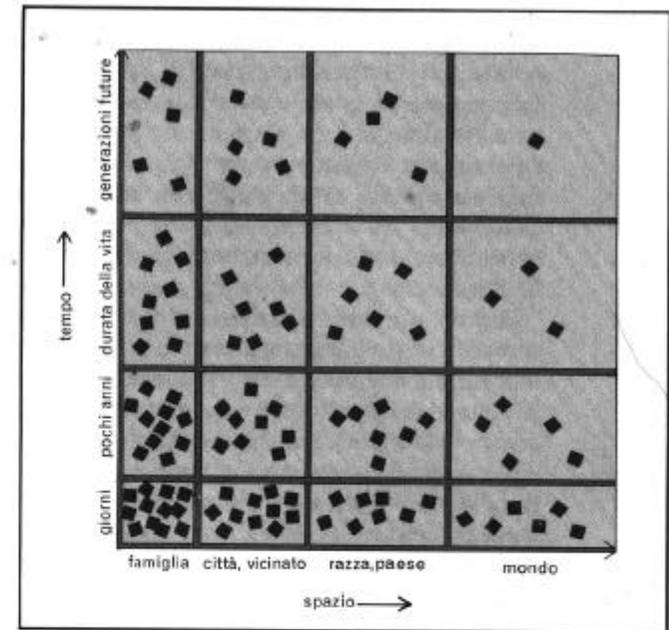
Ogni essere umano si trova quotidianamente di fronte problemi e difficoltà che ne impegnano l'attenzione e l'azione, a livelli differenti a seconda della sua particolare situazione: così, c'è chi è costretto a dedicare gran parte del proprio tempo alla ricerca del nutrimento per sé e per la propria famiglia, chi si sforza di estendere il proprio potere

o quello della nazione di cui fa parte, chi è afflitto dal timore di una guerra mondiale che sopravvenga nel corso della sua vita e chi si preoccupa della guerra che combatterà nel giro di una settimana contro la tribù vicina.

I differenti livelli degli interessi umani possono trovare un'efficace rappresentazione grafica in un diagramma spazio-tempo: ogni punto corrisponde a un essere umano, di cui individua l'ampiezza degli orizzonti di spazio e di tempo, abbracciati. La maggior parte degli uomini ha interessi e prospettive che si addensano nell'area in basso a sinistra: la vita materiale per questi uomini è difficile ed essi devono impegnare quasi completamente le proprie energie per il sostentamento della famiglia. Altri uomini hanno una problematica più ampia e gli stimoli da cui sono mossi abbracciano l'intera comunità di cui fanno parte; allo stesso tempo, le azioni che essi compiono si proiettano in un futuro non di giorni, ma di settimane o di anni. Gli interessi di ogni persona dipendono evidentemente dalla sua cultura, dalle sue esperienze passate, dall'urgenza dei problemi che lo affliggono. In generale, una persona deve essere riuscita a risolvere con successo i problemi relativi a un'area successiva più estesa: per questo accade che quanto più un problema si dilata nello spazio e nel tempo, tanto minore è il numero di persone attivamente impegnate nella soluzione di esso. D'altra parte può essere controproducente limitare il proprio punto di vista a un'area non sufficientemente ampia: accade sovente che una persona si adoperi con tutte le forze per la soluzione di un problema immediato, circoscritto, trovandosi alla fine sconfitta per causa di circostanze che muovono da un contesto più ampio. Un proprietario agricolo può curare con la massima dedizione le proprie piantagioni e poi vedersele distruggere da un conflitto internazionale; i provvedimenti di un'autorità locale possono essere rovesciati dalla politica del governo centrale; lo sviluppo economico di un paese può essere minacciato dall'insufficiente domanda dei suoi prodotti sul mercato mondiale. In realtà, si fa oggi strada la consapevolezza che la maggior parte degli obiettivi individuali e nazionali possono alla fine venire frustrati dalle tendenze di lungo termine di certi fattori globali quali quelli accennati nella denuncia di U Thant.

Ma le implicazioni di tali problemi globali sono effettivamente così preoccupanti da rendere urgente, anzi improcastinabile l'esigenza di affrontarli prima e al di sopra di tutte le questioni locali di breve scadenza? È vero, come indicato da U Thant, che rimangono a malapena dieci anni di tempo per adottare le necessarie misure di controllo? E quali metodi ha a disposizione l'umanità per la soluzione dei problemi globali, con quali costi e con quali risultati?

Queste sono le domande a cui abbiamo cercato di dare una risposta



Interessi dell'uomo inquadrati nello spazio e nel tempo. Ogni individuo si colloca in una certa posizione nel diagramma: la maggioranza tuttavia è interessata esclusivamente ai problemi della propria famiglia o degli amici in un futuro a breve termine. Altri guardano più avanti, o a un ambito più ampio rappresentato da una città o una nazione. Soltanto pochi hanno una prospettiva realmente globale, estesa ai vari e complessi problemi dell'intero mondo in un futuro non troppo vicino.

nella prima fase del 'Progetto sul dilemma dell'umanità' del Club di Roma: nel diagramma spazio-tempo, è nell'angolo in alto a destra che potrebbe essere situata la nostra posizione.

Problemi e modelli

Un modello si definisce, in generale, come l'insieme coordinato di un certo numero di ipotesi intorno a un sistema complesso, e in definitiva esprime il tentativo di comprendere alcuni aspetti della realtà estremamente varia che ci circonda, scegliendo e organizzando, mediante l'intuizione e le esperienze passate, un complesso di osservazioni generali applicabili al caso in esame. Un fattore fa ricorso a un modello mentale della propria terra, delle proprie risorse, delle prospettive di mercato e delle condizioni meteorologiche passate, per decidere quali coltivazioni adottare ogni anno; un topografo si serve di un modello

fisico (una mappa) per stendere il progetto di una strada; gli economisti adoperano modelli matematici per comprendere e valutare in anticipo i flussi dei traffici internazionali. A modelli mentali analoghi si rifanno tutti coloro i quali hanno il compito di prendere delle decisioni, a qualsiasi livello, per scegliere tra le varie politiche che concorrono a determinare l'assetto futuro del mondo. Questi modelli mentali sono necessariamente assai grossolani, in confronto con la realtà a cui si riferiscono: il cervello umano, per quanto acuto, non è in grado di abbracciare tutte le complesse interazioni simultanee che caratterizzano il mondo reale.

Anche noi abbiamo fatto ricorso a un modello: si tratta di un modello formale, scritto, che rappresenta un primo tentativo di affinare i nostri modelli mentali dei problemi mondiali a lunga scadenza, combinando le numerose conoscenze che già esistono (in documenti scritti o nella mente dell'uomo) con i nuovi strumenti per l'elaborazione dell'informazione che il progresso ha reso disponibili — un metodo scientifico, l'analisi dei sistemi, e il moderno calcolatore elettronico. Il nostro modello è stato messo a punto specificatamente per analizzare le cinque linee di tendenza più importanti del sistema mondiale: industrializzazione crescente, rapida crescita della popolazione, sottoalimentazione diffusa, depauperamento delle risorse naturali, deterioramento dell'ambiente. Si tratta di linee di tendenza molteplici e interconnesse, il cui avanzamento si misura in decine o centinaia di anni, non in mesi o pochi anni. Il modello ci servirà appunto per cercare di comprendere le cause di tali tendenze, i legami reciproci e le implicazioni da qui a cento anni. Come ogni altro modello, anche quello da noi realizzato è imperfetto, incompleto ed estremamente semplificato; ma sebbene consapevoli di tali carenze, noi riteniamo che esso rappresenti il più utile modello attualmente disponibile per analizzare quei problemi che si collocano nelle fasce più esterne del diagramma spazio-tempo. Per quanto ne sappiamo, è l'unico modello formale esistente che sia effettivamente globale per gli scopi che si propone, che prende in esame un arco di tempo più esteso di 30 anni e che tien conto di alcune importanti variabili — popolazione, inquinamento, produzione di alimenti — non separatamente, ma nella dinamica dei rapporti reciproci, così come avviene nella realtà.

Rispetto ai modelli mentali, il modello formale presenta due importanti vantaggi: innanzitutto, il fatto di mettere le ipotesi per iscritto in forma chiara e precisa rende più facile a ognuno esaminarle e criticarle; in secondo luogo, una volta che queste ipotesi siano state considerate minuziosamente, discusse e riconosciute coerenti con le conoscenze attualmente disponibili, le conseguenze comunque complesse

di tali ipotesi sul comportamento del futuro del sistema mondiale possono essere determinate senza errore mediante l'impiego del calcolatore. Questi vantaggi rendono tale modello unico tra tutti quelli finora realizzati; ovviamente, ciò non vuol dire che esso possa ritenersi compiutamente definito, e sarà necessario continuare a modificarlo, ad ampliarlo, a correggerlo man mano che si preciseranno le nostre conoscenze sui fenomeni che vi sono rappresentati. Il modello, in altre parole, è ancora nella fase preliminare; e tuttavia noi riteniamo che sia importante pubblicarlo adesso, insieme con i risultati ottenuti. Infatti, quotidianamente, in ogni parte del mondo, vengono prese delle decisioni destinate a esercitare un'influenza duratura per i prossimi decenni, sulle condizioni materiali, economiche e sociali del sistema mondiale; tali decisioni non possono aspettare modelli perfetti o la comprensione più approfondita, e in ogni caso verranno adottate sulla base di qualche modello, mentale o formale. A nostro avviso il modello qui descritto è già sufficientemente sviluppato per poter riuscire in qualche modo utile a tutti coloro che hanno il compito di prendere delle decisioni. Va aggiunto che dalle osservazioni compiute, sembra di poter già dedurre certe leggi fondamentali nel comportamento del sistema mondiale, sicché gli autori non ritengono che ulteriori approfondimenti o parziali modifiche potranno togliere validità alle conclusioni generali ricavabili oggi.

Non rientra fra gli scopi di questo scritto diffondersi nella trattazione particolareggiata di tutti i dati scientifici e di tutte le relazioni matematiche che sono state utilizzate per l'elaborazione del modello: in questa sede, sulla base di una breve descrizione di esso, si vuole piuttosto esporre i risultati in forma sintetica, escludendo i dati tecnici. Non si vuole cioè mettere in risalto le relazioni matematiche o le complicazioni di calcolo incontrate, bensì le indicazioni che dal modello scaturiscono. Il calcolatore è stato un utile strumento per la comprensione delle cause e delle conseguenze di quelle linee di tendenza sempre più accentuata che caratterizzano il mondo moderno, ma non occorre alcuna dimestichezza con i calcolatori per comprendere o discutere le conclusioni del rapporto. Le questioni sollevate oltrepassano i confini del campo proprio di un documento puramente scientifico e richiedono di essere dibattute da una comunità ben più ampia di quella dei soli uomini di scienza. Il nostro scopo è proprio quello di aprire il dibattito.

Possiamo anticipare le conclusioni che emergono fino a questo punto del nostro lavoro. Non siamo però i primi a fare affermazioni del genere, giacché a conclusioni simili sono pervenuti già da diversi decenni tutti coloro che si sono messi a considerare il mondo nel suo complesso secondo una prospettiva di lunga scadenza (nonostante ciò, la grande maggioranza delle autorità politiche di tutti i paesi sembra indirizzata

a perseguire obiettivi che appaiono in contrasto con queste indicazioni).

1) Nell'ipotesi che l'attuale linea di sviluppo continui inalterata nei cinque settori fondamentali (popolazione, industrializzazione, inquinamento, produzione di alimenti, consumo delle risorse naturali) l'umanità è destinata a raggiungere i limiti naturali dello sviluppo entro i prossimi cento anni. Il risultato più probabile sarà un improvviso, incontrollabile declino del livello di popolazione e del sistema industriale.

2) È possibile modificare questa linea di sviluppo e determinare una condizione di stabilità ecologica ed economica in grado di protrarsi nel futuro. La condizione di equilibrio globale potrebbe essere definita in modo tale che venissero soddisfatti i bisogni materiali degli abitanti della Terra e che ognuno avesse le stesse opportunità di realizzare compiutamente il proprio potenziale umano.

3) Se l'umanità opterà per questa seconda alternativa, invece che per la prima, le probabilità di successo saranno tanto maggiori quanto più presto essa comincerà a operare in tale direzione.

Queste conclusioni si proiettano in un futuro tanto remoto e sollevano tante questioni che noi ci sentiamo sovraccaricati dalla enorme mole di studio e di lavoro ancora da fare.

È nostra speranza, tuttavia, che questo rapporto possa destare l'interesse di altre persone, nei vari paesi del mondo e nei vari campi di studio, che dalla lettura di esso vengano spinte ad ampliare l'orizzonte dei propri interessi e si uniscano a noi nel lavoro di comprensione e di preparazione della fase di passaggio dallo sviluppo all'equilibrio globale.

II

Caratteristiche della crescita esponenziale

Tutti e cinque gli elementi principali del sistema mondiale, popolazione, produzione di alimenti, industrializzazione, inquinamento e sfruttamento delle risorse naturali, crescono esponenzialmente con il tempo. Questo andamento si ritrova in quasi tutti i settori dell'attività umana, dalla espansione delle città al consumo di fertilizzanti (FIGG. 1, 2).

Dal momento che questo capitolo tratta delle cause e delle conseguenze della crescita esponenziale, verranno premesse alcune nozioni introduttive sulle caratteristiche di tale andamento, necessarie per comprendere il processo di crescita di tipo esponenziale che caratterizza i due elementi fondamentali del sistema mondiale: popolazione e capitale industriale.

Matematica della crescita esponenziale

La maggior parte delle persone è abituata a considerare ogni processo di accrescimento come lineare. Si dice che una grandezza cresce linearmente quando a intervalli di tempo uguali corrispondono incrementi uguali: così, è lineare la crescita di un bambino la cui statura aumenta di 2,5 cm ogni anno, o l'incremento dei risparmi di un mendicante che ogni anno ripone 10 dollari sotto il materasso (FIG. 3, linea inferiore). L'entità dell'incremento annuo non è influenzata né dalle dimensioni del bambino né dall'ammontare della somma già messa da parte.

Si dice invece che una grandezza cresce esponenzialmente allorché a intervalli di tempo uguali corrispondono incrementi pari a una frazione costante del totale. Una colonia di cellule di lievito di cui ognuna si suddivide in due ogni 10 min presenta un tipico processo di crescita esponenziale: da una cellula originaria dopo 10 min se ne formano

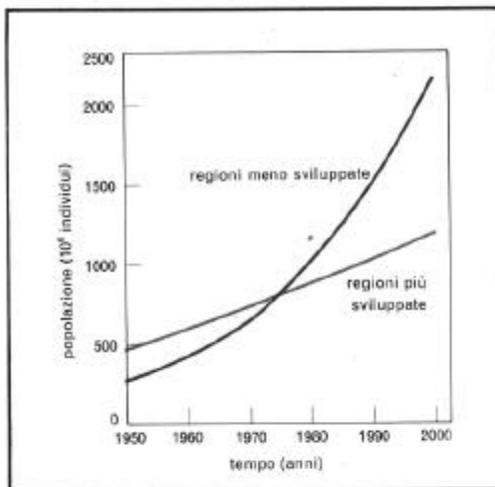


Fig.1 Andamento di crescita della popolazione urbana nel mondo. La popolazione urbana è destinata a crescere in modo esponenziale nelle regioni meno sviluppate e in modo pressoché lineare nelle regioni più sviluppate. Attualmente, la popolazione delle città nelle regioni meno sviluppate presenta un tempo di raddoppiamento pari a 15 anni.

due (incremento del 100%); dopo altri 10 min ve ne saranno quattro, poi otto, poi sedici, ecc.

Se il mendicante dell'esempio precedente preleva 100 dollari dal nascondiglio dentro il materasso e li investe al tasso di interesse del 7% (in modo cioè che la somma totale si accresca del 7% all'anno), la somma investita crescerà assai più rapidamente (FIG. 3, curva superiore) che se fosse stata lasciata sotto il materasso, dove si sarebbe accresciuta linearmente. La differenza è dovuta al fatto che la quantità che si aggiunge in intervalli di tempo uguali non è sempre la stessa, ma va crescendo col crescere del quantitativo totale.

I processi di crescita esponenziale sono assai comuni in campo finanziario, in biologia e in molti altri settori; ma sebbene così comune, l'andamento esponenziale può fare scaturire risultati sorprendenti, che hanno sempre affascinato l'uomo.

Un indovinello francese per l'infanzia può illustrare una caratteristica della crescita esponenziale, l'estrema rapidità con la quale porta ad approssimarsi a un valore prefissato. Supponete di avere un laghetto nel quale cresce una ninfea che ogni giorno raddoppia le proprie dimensioni: se potesse svilupparsi liberamente, la ninfea coprirebbe completamente il laghetto in trenta giorni, soffocando tutte le altre forme di vita presenti nell'acqua. Se si decide di tagliare la ninfea allorché è arrivata a coprire metà dello specchio d'acqua, in quale giorno bisognerà farlo? (La risposta è al 29° giorno: vi è quindi un solo giorno di tempo per salvare il laghetto.)

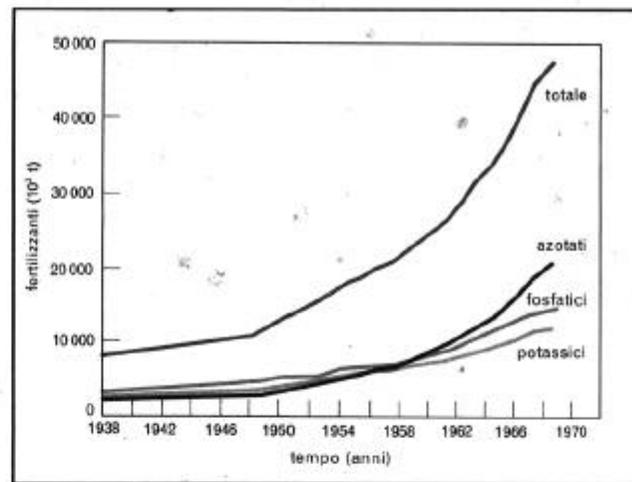


Fig.2 Consumo di fertilizzanti nel mondo, con esclusione dell'URSS e della Cina. Tale consumo risulta quintuplicato dalla fine della seconda guerra mondiale e aumenta esponenzialmente con un tempo di raddoppiamento di circa 10 anni. Nel diagramma sono anche riportate le curve relative a tre tipi di fertilizzanti: azotati, fosfatici, potassici.

È utile esprimere la crescita esponenziale in termini di tempo di raddoppiamento: il tempo di raddoppiamento è il tempo occorrente perché la grandezza in esame raddoppi il proprio valore (incremento del 100%). Nel caso della ninfea dell'esempio appena visto, il tempo di raddoppiamento è pari a un giorno; per una somma di denaro che viene depositata in banca all'interesse del 7% annuo, tale tempo è pari a dieci anni.

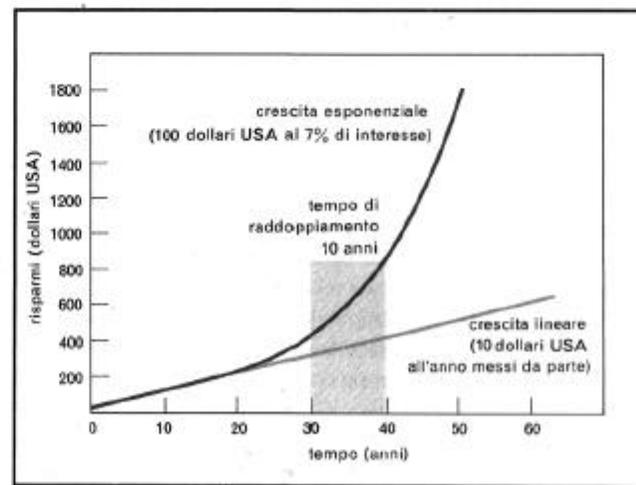


Fig.3 Confronto fra processi di crescita esponenziale o lineare di una somma di denaro depositata in banca o solo accantonata.

Tra il tasso di interesse, o il tasso di crescita, e il tempo occorrente perché una quantità raddoppi le proprie dimensioni, esiste una semplice relazione matematica: come si può vedere dalla TAB. I, il tempo di raddoppiamento, in anni, è approssimativamente pari a 70 diviso per il valore del tasso di crescita.

La crescita esponenziale è un processo dinamico, il che vuol dire

**TAB. I - RELAZIONE
RA TASSO DI CRESCITA E TEMPO DI RADDOPPIAMENTO**

Tasso di crescita (% annuo)	Tempo di raddoppiamento (anni)	Tasso di crescita (% annuo)	Tempo di raddoppiamento (anni)
0,1	700	4	17,5
0,5	140	5	14
1	70	7	10
2	35	10	7

che in esso figurano degli elementi soggetti a cambiare nel tempo. Nei sistemi più semplici (come quelli degli esempi visti) è relativamente semplice comprendere le cause della crescita esponenziale e valutarne l'andamento futuro. Quando però in un sistema compaiono diverse quantità crescenti, legate l'una all'altra in maniera complessa, l'analisi delle cause della crescita e del comportamento futuro del sistema comporta molte difficoltà. È la crescita della popolazione a generare l'industrializzazione, o è vero il contrario? Ed è solo uno di questi due fattori responsabile dell'inquinamento, o vi contribuiscono entrambi? Se qualcuno di tali elementi cresce più lentamente o più rapidamente, quali saranno le eventuali ripercussioni nei confronti del tasso di crescita degli altri elementi?

Queste domande sono attualmente oggetto di dibattiti in molte parti del mondo, ma solo una migliore comprensione del sistema che fa un complesso unico di tutti questi importanti elementi può consentire di trovare le risposte. Dei cinque elementi del sistema mondiale menzionati in precedenza, è particolarmente interessante considerare innanzitutto la crescita della popolazione e dell'industrializzazione, poiché molte politiche di sviluppo si pongono l'obiettivo di stimolare la seconda più che la prima.

Anticipando alcune nozioni che verranno meglio esposte più avanti,

possiamo dire che ogni quantità che cresca esponenzialmente può essere inclusa in un anello di retroazione positivo - indicato talvolta nel linguaggio comune come circolo vizioso. Un esempio è fornito dalla ben nota spirale prezzi-salari: un aumento dei salari provoca un aumento dei prezzi, che provoca la richiesta di salari più alti, e così via. Si tratta cioè di una catena di relazioni causa-effetto che si richiude su sé stessa, in modo tale che l'aumento di uno qualsiasi degli elementi compresi nell'anello mette in moto una serie di modificazioni il cui risultato finale è un ulteriore incremento dell'elemento di partenza.

Tornando a considerare l'esempio dei 100 dollari depositati in banca, l'interesse per il primo anno è pari al 7% di 100 dollari ossia 7 dollari che aggiunti al conto danno un totale di 107 dollari. L'anno successivo l'interesse è pari al 7% di 107 dollari, ossia 7,49 dollari e il nuovo totale sarà di 114,49 dollari. L'anno ancora successivo l'interesse ammonterà a più di 8 dollari. Quanto maggiore è la somma di denaro depositata nel conto, tanto più denaro verrà aggiunto ogni anno come interesse; ma quanto più se ne aggiunge, tanto più ve ne sarà nel conto l'anno successivo, e quindi ancora di più se ne aggiungerà come interesse. Ripetendo il processo più e più volte (ovvero continuando a percorrere l'anello) il denaro accumulato nel conto cresce esponenzialmente. Il conto aumenta con un ritmo che è determinato dal tasso di interesse, nel nostro caso costante e pari al 7% (esso definisce il cosiddetto guadagno d'anello).

Crescita della popolazione mondiale

In FIG. 4 è illustrata la crescita esponenziale della popolazione mondiale a partire dall'anno 1650. Nell'anno 1970 la popolazione mondiale ammontava a 3,6 miliardi di individui, con un tasso di accrescimento pari al 2,1% annuo, che corrisponde a un tempo di raddoppiamento di 33 anni. In realtà non solo la popolazione è cresciuta esponenzialmente, ma anche il tasso di crescita è aumentato, per cui potremmo dire che la crescita della popolazione è risultata iperesponenziale.

Consideriamo il processo di crescita: se la fecondità media è costante, quanto più numerosa la popolazione tanto più numerosi i nuovi nati ogni anno, e quindi tanto più alto il livello di popolazione dell'anno successivo. Dopo un certo tempo, anche questi nuovi nati metteranno al mondo dei figli, spingendo ancora più in alto il livello di popolazione. La crescita si mantiene costante finché rimane costante la fecondità media. Se poi supponiamo che oltre ai figli maschi, ogni donna metta al mondo mediamente due figlie femmine, ciascuna delle quali a sua volta partorirà altre due figlie femmine, la popolazione raddoppia

ogni generazione. Ne consegue che il tasso di crescita dipenderà tanto dalla fecondità media quanto dall'entità del ritardo tra due generazioni successive. Naturalmente, non è detto che la fecondità si mantenga costante: vedremo più avanti alcuni dei numerosi fattori che intervengono a modificarne il valore.

La crescita della popolazione è governata anche da un anello di retroazione negativa, cioè tale che una modificazione di un elemento si propaga lungo l'anello fino a ripercuotersi sull'elemento di partenza con un'influenza operante in senso contrario rispetto alla modificazione iniziale. Un anello negativo tende allora a regolare la crescita mantenendo un sistema in una condizione di stabilità. Si può fare riferimento al funzionamento di un termostato: se la temperatura si abbassa, esso fa intervenire il sistema di riscaldamento, e quindi provoca un innalzamento della temperatura; allorché la temperatura raggiunge il limite prefissato, il termostato esclude il sistema di riscaldamento e la temperatura comincia a riabbassarsi.

L'anello di retroazione negativo che controlla la popolazione si basa sulla mortalità media, che riflette le generali condizioni sanitarie della popolazione. Il numero annuo di decessi è pari al prodotto del valore della popolazione totale per quello della mortalità media (questa

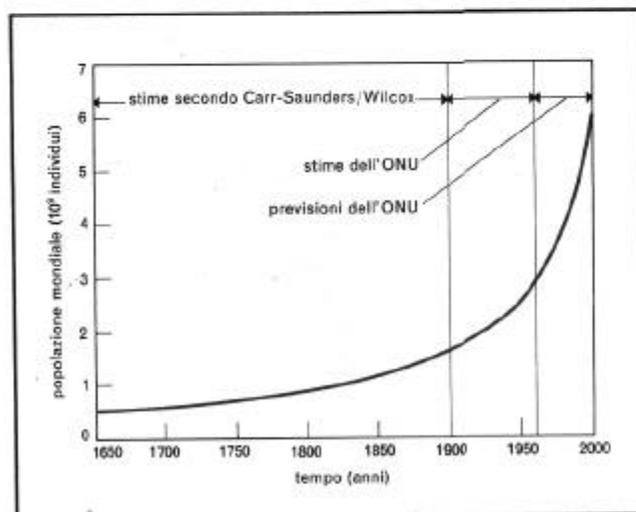


Fig.4 Andamento della popolazione mondiale dall'anno 1650 a oggi. La popolazione è andata crescendo esponenzialmente, con un tasso di crescita sempre più alto, e nel 1970 era già leggermente superiore al valore indicato dalla curva, tracciata sulla base di previsioni fatte nel 1958. Ora il tasso di crescita ammonta a circa il 2,1%.

ultima si potrebbe intendere come la probabilità media di decesso, a qualsiasi età). Un aumento del livello di popolazione, ferma restando la mortalità media, si traduce in un aumento dei decessi ogni anno. Rimarranno allora meno abitanti, e quindi vi saranno meno decessi l'anno successivo. Supposto un valore medio di mortalità pari al 5% annuo, su una popolazione di 10 000 abitanti vi saranno 500 decessi in un certo anno. Trascurando per il momento le nascite, l'anno successivo vi sarebbero 9500 abitanti, e quindi 475 decessi; l'anno ancora successivo i decessi sarebbero il 5% di una popolazione di 9025 abitanti,

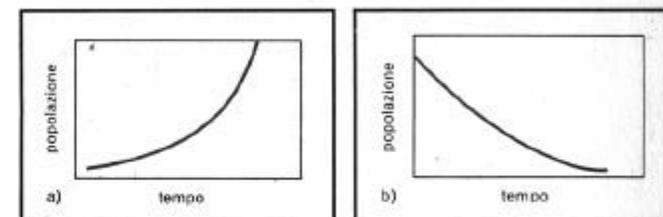


Fig.5 Esempi di andamento della popolazione: in a) la curva rappresenta un accrescimento esponenziale, in b) la curva rappresenta una diminuzione esponenziale.

cioè 452. Il ritardo in questo caso proviene dal fatto che il tasso di mortalità è funzione dell'età media della popolazione; anche in questo caso la mortalità, anche a una certa età, non è necessariamente costante.

Se non vi fossero morti, la popolazione crescerebbe esponenzialmente; reciprocamente, in assenza di nuove nascite, il livello di popolazione diminuirebbe con andamento esponenziale (FIG. 5).

Nella realtà, l'effettivo andamento della popolazione si complica perché si verificano contemporaneamente nascite e morti, mentre natalità e mortalità non rimangono costanti. Prima dell'avvento della rivoluzione industriale, questi due indici erano relativamente alti e piuttosto variabili: il numero annuo di nascite era di poco superiore al numero di morti, e la popolazione cresceva sì esponenzialmente, ma a ritmo assai lento e irregolare. Nel 1650 la durata media della vita, nella maggior parte dei paesi del mondo, era pari a circa 30 anni. A partire da quella data, i progressi compiuti in diversi campi cominciarono a influenzare il processo di crescita della popolazione, soprattutto modificando il valore degli indici di mortalità. Con il diffondersi della medicina moderna, delle pratiche igienico-sanitarie, delle nuove tecniche di produzione e distribuzione degli alimenti, l'indice di mortalità è precipitato a valori bassissimi in tutti i paesi, tanto che attualmente la durata media preve-

dibile della vita è pari a circa 53 anni, ed è destinata a crescere ancora.

A livello mondiale, mediamente, il guadagno lungo l'anello di retroazione positivo (nascite) è diminuito soltanto di poco, mentre il guadagno lungo l'anello di retroazione negativo (decessi) va diminuendo sensibilmente; prevale quindi l'effetto del primo, e ciò si traduce nella crescita iperesponenziale illustrata in FIG. 4.

L'argomento popolazione verrà ripreso nei capitoli successivi; per il momento possiamo solo concludere che, a causa dei ritardi presenti negli anelli da cui risulta determinato il livello della popolazione, con particolare riferimento all'anello positivo delle nascite, non vi è alcuna possibilità di ridurre la crescita della popolazione prima dell'anno 2000, anche nell'ipotesi più ottimistica di una drastica riduzione dell'indice di natalità. La maggior parte dei futuri genitori dell'anno 2000 è già venuta al mondo e, a meno di un brusco ma poco verosimile aumento della mortalità, possiamo prevedere che fra 30 anni 7 miliardi di individui popoleranno la Terra. Tra 60 anni, poi, se continuerà a decrescere la mortalità e rimarranno prive di effetto tutte le misure volte a ridurre le nascite, la popolazione della terra sarà il quadruplo di quella attuale.

Sviluppo economico del mondo

La produzione industriale mostra una crescita anche più rapida di quella della popolazione: il diagramma di FIG. 6 mostra l'espansione

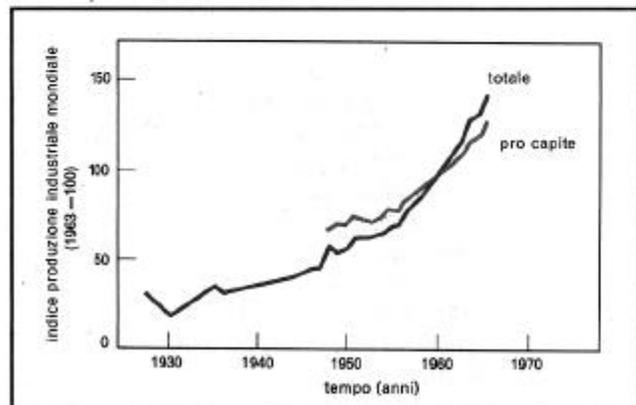


Fig.6 Crescita della produzione industriale mondiale, con andamento esponenziale. Il tasso medio di crescita della produzione totale nel periodo 1963-68 è stato del 7%; nello stesso periodo, a causa del maggior incremento della popolazione, il tasso medio di crescita della produzione mondiale pro capite è stato soltanto del 5%.

della produzione industriale mondiale a partire dal 1930, assumendo come valore di riferimento quello relativo all'anno 1963. Il tasso di sviluppo nel periodo 1963-68 è stato mediamente pari al 7%, o al 5% considerando il prodotto pro capite. Da un certo ammontare di capitale industriale, sotto forma di stabilimenti, macchine, mezzi di trasporto, ecc., si può ricavare ogni anno un certo quantitativo di prodotti lavorati. Naturalmente, la produzione ottenuta dipende anche da lavoro, materie prime e altri fattori in entrata; in questo scritto, tuttavia, si ammette che tutti questi elementi siano disponibili in quantità sufficiente, per cui soltanto dal capitale derivano eventuali limitazioni alla produzione. Buona parte della produzione è rappresentata ogni anno da beni di consumo - vestiti, automobili, case - che quindi si sottraggono dal sistema industriale; ma un'altra frazione è costituita da beni d'investimento - telai, acciaierie, macchine utensili - che vanno a incrementare lo stock di capitale. In questo modo si origina un anello a retroazione positiva, giacché più capitale implica maggiore produzione, quindi maggiori investimenti che si traducono in un aumento futuro di capitale. Il ritardo in questo caso è rappresentato dal tempo occorrente a fabbricare un 'pezzo' di capitale produttivo; talvolta, come nel caso delle raffinerie o dei grossi impianti di produzione di energia, il ritardo può essere dell'ordine di diversi anni.

La scorta di capitale non ha durata illimitata, giacché man mano che il capitale si logora o giunge all'obsolescenza, viene messo fuori uso; quanto più grande è l'ammontare di capitale, tanto più elevato è il quantitativo che mediamente viene eliminato ogni anno, e quindi tanto più basso l'ammontare disponibile per l'anno successivo, secondo un anello di retroazione negativa esattamente analogo a quello popolazione-mortalità. Anche in questo caso l'indice di investimento è quello che esercita un'influenza predominante, per cui il capitale industriale mondiale cresce esponenzialmente.

Dal momento che la produzione industriale fa registrare un incremento medio del 7% annuo, mentre la popolazione cresce solo del 2% all'anno, con una semplice estrapolazione si dovrebbe poter concludere che il tenore di vita degli uomini è destinato a raddoppiare nei prossimi 14 anni, e quindi la presenza degli anelli positivi di retroazione dovrebbe essere valutata favorevolmente. Senonché questa conclusione implica spesso che la crescente produzione industriale mondiale si distribuisca equamente tra tutti gli abitanti della Terra; basta confrontare i valori del tasso di sviluppo economico pro capite dei diversi paesi per rendersi conto dell'inconsistenza di tale assunto (FIG. 7). Lo sviluppo industriale mondiale a cui fa riferimento la FIG. 6 è in realtà prevalentemente circoscritto ai paesi già industrializzati, in cui è relativamente basso il tasso

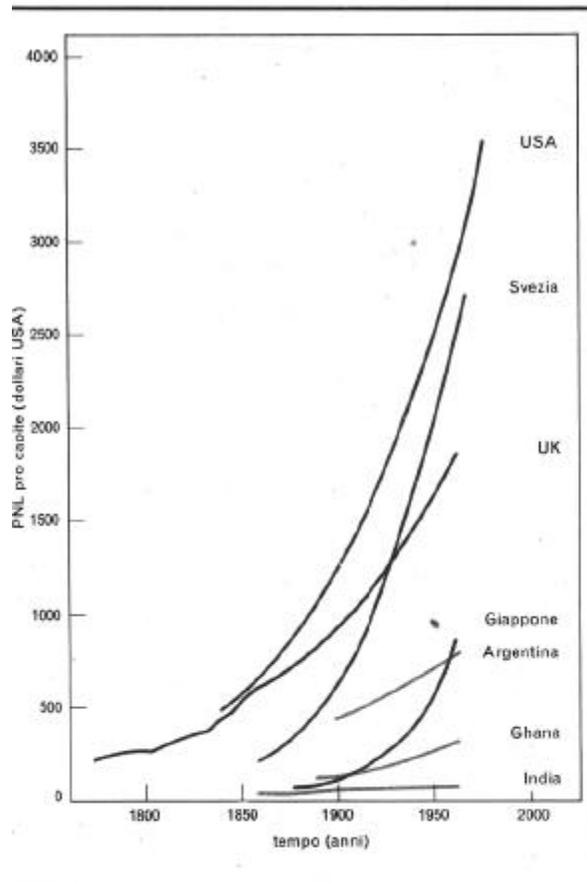


Fig.7 Curve di sviluppo economico di alcuni paesi. Si rileva la differenza fra gli indici di sviluppo dei paesi altamente industrializzati (USA, Svezia, UK, Giappone) e quelli dei paesi meno sviluppati (India, Ghana, Argentina) per effetto della quale il distacco fra i due gruppi anziché diminuire si va sempre più accentuando.

di crescita della popolazione. Consideriamo la TAB. II, in cui sono elencati i valori degli indici di sviluppo economico e di crescita della popolazione nei 10 paesi più popolosi del mondo (in cui risiede il 64% degli abitanti della Terra): il confronto dei dati rende immediatamente chiaro il senso del detto: « Il ricco si fa sempre più ricco, mentre il povero fa figli ».

Non sembra probabile che lo sviluppo continui con il ritmo indicato dalla tabella fino alla fine di questo secolo, giacché nei prossimi 30 anni certamente molti fattori cambieranno; ad esempio, la fine della guerra civile in Nigeria dovrebbe determinare in questo paese un sensibile incremento del tasso di sviluppo, mentre in Pakistan il processo di

TAB. II - CRESCITA DELLA POPOLAZIONE E DEL PRODOTTO NAZIONALE LORDO NEI 10 PAESI PIÙ POPOLOSI DELLA TERRA¹

Paese	Popolazione ²		PNL pro capite ²	
	(milioni di individui)	tasso di accrescimento medio annuale per il periodo 1961-68 (% annuo)	(dollari USA)	tasso di incremento medio annuale per il periodo 1961-68 (% annuo)
Cina	730	1,5	90	0,3
India	524	2,5	100	1,0
URSS	238	1,3	1100	5,8
USA	201	1,4	3980	3,4
Pakistan	123	2,6	100	3,1
Indonesia	113	2,4	100	0,8
Giappone	101	1,0	1190	9,9
Brasile	88	3,0	250	1,6
Nigeria	63	2,4	70	-0,3
Rep. Fed. Ted.	60	1,0	1970	3,4

¹ International Bank for Reconstruction and Development, *World bank atlas*, Washington, D. C. (1970). ² Valori relativi al 1968.

crescita economica è stato già compromesso dall'inizio di una guerra intestina. In assenza di profondi sconvolgimenti sociali, però, è più verosimile che gli indici di sviluppo si mantengano pressoché costanti, dato che sono il prodotto di un sistema economico e sociale complesso, sostanzialmente stabile e quindi suscettibile di modificazioni lente, piuttosto che rapide.

Supponendo allora che gli indici relativi di sviluppo economico e di

TAB. III - VALORI DEL PRODOTTO NAZIONALE LORDO PRO CAPITE NEI 10 PAESI PIÙ POPOLOSI NELL'ANNO 2000

Paese	PNL pro capite nell'anno 2000, per estrapolazione (dollari USA) ¹	Paese	PNL pro capite nell'anno 2000, per estrapolazione (dollari USA) ¹
Cina	100	Indonesia	130
India	140	Giappone	23 200
URSS	6 330	Brasile	440
USA	11 000	Nigeria	60
Pakistan	250	Rep. Fed. Ted.	5 850

¹ Senza tenere conto dell'inflazione, in dollari 1968.

crescita della popolazione, nei 10 paesi elencati in TAB. II, restino costanti, per estrapolazione ricaviamo i valori del prodotto nazionale lordo (PNL) pro capite nell'anno 2000 (TAB. III).

Questi valori, in realtà, quasi sicuramente non verranno raggiunti: essi non hanno il significato di una previsione, ma stanno più semplicemente a indicare la direzione nella quale ci porta il sistema mondiale, così come è attualmente strutturato. Essi mostrano che il processo di sviluppo economico si svolge oggi in modo tale da accentuare in valore assoluto il distacco tra paesi ricchi e paesi poveri.

La maggior parte delle persone respinge, e con ragione, estrapolazioni come quella illustrata in TAB. III, data l'inattendibilità dei risultati. Nel far questo, però, si respinge contemporaneamente l'ipotesi di fondo, cioè che non interverrà alcuna modificazione nel sistema. Se non si raggiungeranno i valori calcolati per estrapolazione in TAB. III, sarà perché qualcosa sarà intervenuto ad alterare l'equilibrio tra gli anelli positivi e negativi che governano la crescita della popolazione e l'espansione del capitale nei vari paesi. Nel postulare una situazione futura comunque differente da quella indicata dall'extrapolazione, bisogna specificare quale dei fattori principali – fecondità, mortalità, tasso d'investimento o di deprezzamento del capitale – si pensa che possa cambiare, quando e in che misura. Sono queste le domande a cui vuole rispondere il modello, e non su scala nazionale ma a livello globale. L'analisi inizia da quei sistemi che forniscono la base materiale alla crescita della popolazione e allo sviluppo economico, giacché occorre prima di tutto determinare se la crescita illustrata in TAB. III può fisicamente mantenersi, se la Terra può sostenere una popolazione più numerosa di quella attuale, a quale livello di benessere materiale e per quanto tempo.

III

Limiti della crescita esponenziale

Gli elementi necessari a sostenere la crescita della popolazione e lo sviluppo economico del mondo possono essere, a un primo esame, divisi in due categorie principali. La prima comprende i fattori materiali, che costituiscono la base di ogni attività fisiologica o industriale – alimenti, materie prime, combustibili fossili e nucleari, quei sistemi di una valutazione quantitativa, di cui è opportuno fare una stima giacché in definitiva è proprio la disponibilità di terra coltivabile, di acqua, di metalli, di foreste, a condizionare ogni possibile tipo di sviluppo futuro sulla Terra.

La seconda categoria comprende quelli che possiamo definire fattori sociali: pace e stabilità, istruzione e occupazione, un progresso tecnologico costante non sono meno necessari, al nostro sviluppo, dei fattori naturali. Si tratta però di elementi che non si prestano a stime numeriche o a previsioni, per cui non entrano a fare parte del modello del mondo e non vengono considerati in questo rapporto, a parte l'accento relativo alle conseguenze sociali che può comportare per il tempo futuro il problema della disponibilità e della distribuzione delle ricchezze del nostro pianeta.

Riconosciuto quindi che alimenti, risorse naturali e un ambiente non contaminato sono condizioni necessarie ma non sufficienti per lo sviluppo, e supponendo che le condizioni sociali siano le più favorevoli, occorre esaminare le possibilità di sviluppo alla luce della disponibilità dei vari fattori materiali.

Il risultato che scaturisce da tale esame può fornirci qualche indicazione per una valutazione dei limiti superiori della crescita della popolazione e dell'espansione del capitale, ma non è in grado di assicurarci che in realtà il processo di sviluppo perverrà al raggiungimento di essi.

Alimenti

« In Africa, nello Zambia, 260 bambini su 1000 muoiono prima di avere compiuto un anno; in India e in Pakistan il rapporto è di 140 su 1000, in Columbia 82 su 1000. Ancora più elevata è la percentuale di quelli che muoiono prima dell'età scolare, e molti ancora ne muoiono durante i primi anni di scuola. » « In quelli tra i paesi poveri in cui viene compilato un certificato di morte anche per i bambini deceduti in età prescolare, la causa è generalmente attribuita a morbillo, polmonite, dissenteria o qualche altra malattia; in realtà, è più giusto dire che tutti questi bambini sono vittime della sottoalimentazione. »*

Anche se non esistono dati precisi sul numero di individui sottoalimentati, si può farlo ascendere al 50 + 60% della popolazione dei paesi meno sviluppati, quindi pari a circa un terzo della popolazione mondiale. Secondo le stime della FAO, nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo la popolazione non dispone del fabbisogno minimo di calorie e ha una dieta particolarmente carente di proteine (FIG. 8). Inoltre, mentre la produzione agricola totale va crescendo in tutto il mondo, nei paesi non industrializzati la produzione pro capite riesce a stento a mantenersi costante a un livello assolutamente insufficiente (FIG. 9). Sarebbero già stati raggiunti i limiti della produzione di alimenti?

Per la produzione di alimenti, l'elemento che occorre prima di ogni altro è la terra. La superficie di terra coltivabile di tutto il globo ha un valore massimo di 3,2 miliardi di ettari (ovvero 7,86 miliardi di acri), di cui viene sfruttata attualmente solo la metà: la metà rimanente, infatti, richiederebbe enormi investimenti di capitale in opere di preparazione, irrigazione, fertilizzazione, per essere resa produttiva. I dati più recenti sul dissodamento delle terre vergini indicano un costo minimo di 215 dollari e un massimo di 5275 dollari per ettaro; mediamente, facendo riferimento a regioni non popolate, si può ritenere tale costo pari a 1150 dollari per ettaro. È opinione degli esperti della FAO che l'impresa non sia economicamente conveniente, anche tenendo conto della grave carenza di alimenti che affligge buona parte dell'umanità. « Nell'Asia meridionale... in alcune regioni dell'Asia orientale, nel Vicino Oriente e nell'Africa settentrionale, in certe zone dell'America Latina e dell'Africa... non vi è quasi ragione di espandere la superficie coltivabile. Anzi, nelle regioni più aride, si renderà necessario riportare a pascolo quelle terre che hanno un'importanza marginale o submarginale per la coltivazione. Nella maggior parte dell'America Latina e dell'Africa a

* Brown L. R., *Seeds of change*, New York (1970).

LIMITI DELLA CRESCITA ESPONENZIALE

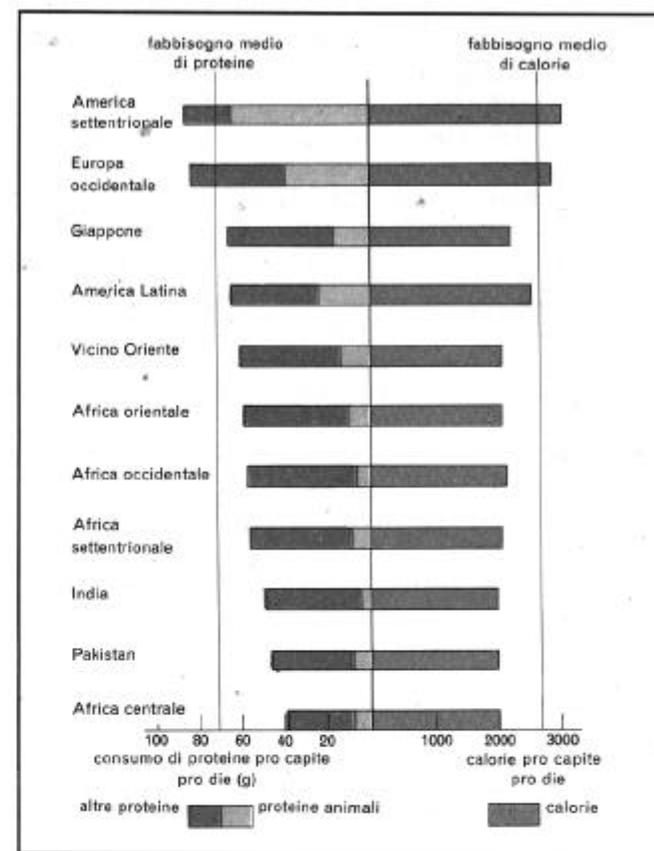


Fig.8 Situazione alimentare nelle diverse regioni del mondo. Il fabbisogno indicato di calorie e proteine è quello medio degli abitanti dell'America settentrionale, nell'ipotesi che anche nelle altre regioni, se il livello nutritivo pro capite consentisse il raggiungimento del peso corporeo potenziale, il fabbisogno medio sarebbe lo stesso.

sud del Sahara vi sarebbero ancora buone possibilità di estendere le coltivazioni ma il costo prevedibile è tale da rendere in molti casi più vantaggioso intensificare lo sfruttamento delle terre già coltivate. »*

Supponiamo comunque che vengano effettuati gli investimenti necessari a rendere produttive tutte le terre coltivabili, in modo da aumentare al massimo la produzione di alimenti. La curva inferiore nella FIG. 10

* FAO, *Provisional indicative world plan for agricultural development*, Roma (1970).

mostra come il fabbisogno di terra cresca al crescere della popolazione (la curva è tracciata nell'ipotesi che bastino 0,4 ettari per garantire il sostentamento di un individuo: volendo arrivare al livello nutritivo medio degli USA, occorrono 0,9 ettari per persona). Il tratto più marcato corrisponde all'effettiva crescita della popolazione dal 1650 al 1970, il tratto successivo è ricavato prevedendo un indice di accrescimento della popolazione pari al 2,1% annuo. La curva superiore, relativa all'ammontare di terra coltivabile, ha andamento decrescente

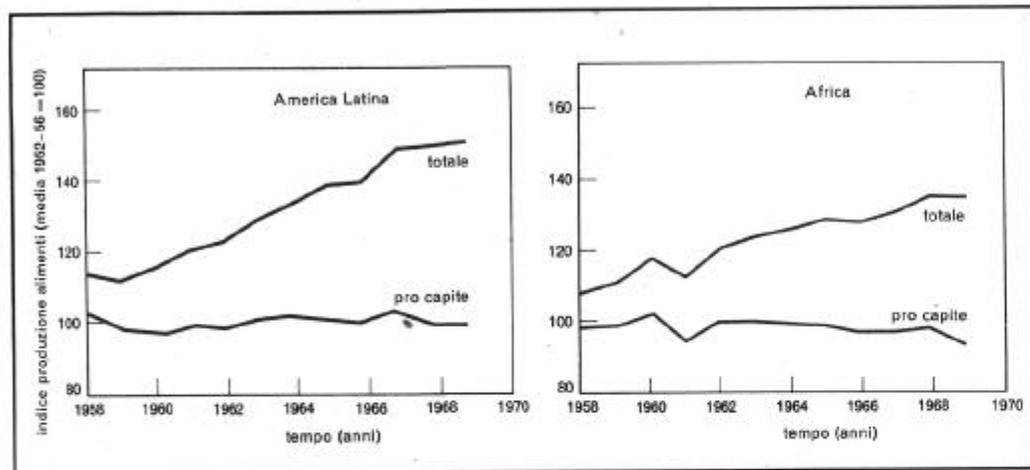
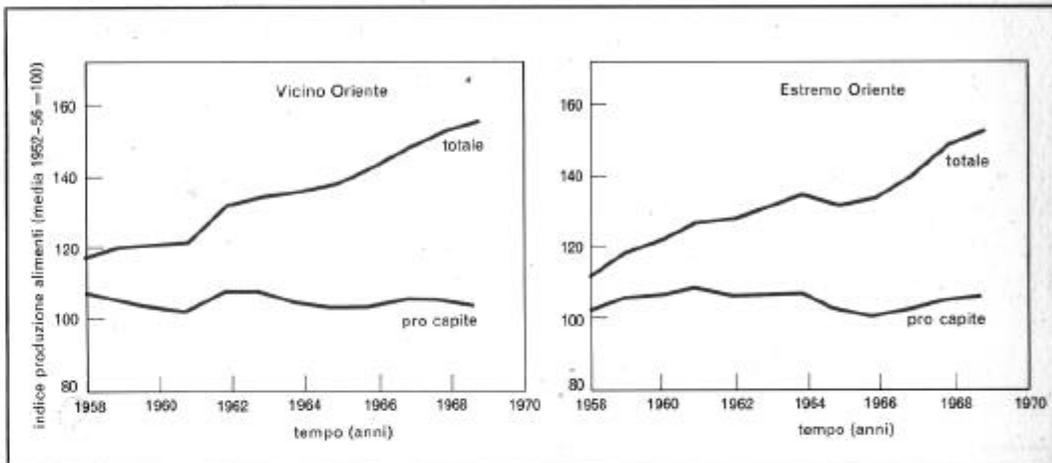


Fig.9 Andamento della produzione di alimenti in quattro regioni non industrializzate del mondo, negli ultimi anni. Le curve più significative sono quelle della produzione di alimenti pro capite.

poiché ogni individuo impegna una certa superficie (qui si è assunto il valore di 0,08 ettari) per l'abitazione, gli allacciamenti, lo smaltimento dei rifiuti e i servizi vari, in tal modo sottraendo terra alla coltivazione. Il punto d'intersezione delle due curve è detto punto di crisi: esso infatti individua il momento a partire dal quale la disponibilità di terra risulta inferiore al fabbisogno. Dal diagramma si vede allora che anche nella ipotesi, estremamente ottimistica, di coltivare tutte le aree disponibili, ancora prima dell'anno 2000 l'umanità si troverà di fronte a una drammatica carenza di terra. Inoltre il grafico mette in evidenza alcune caratteristiche della crescita esponenziale in uno spazio limitato. Si vede innanzitutto come si possa passare in pochi anni da una situazione di sovrabbondanza a una di grande scarsità: la specie umana ha potuto disporre di terre coltivabili a volontà per tutta la sua storia, e adesso,

nel giro di trent'anni - tanti quanti ne occorrono perché il numero di abitanti della Terra raddoppi - deve imparare a fronteggiarne la mancanza. È ancora più significativo notare come il ripido impennarsi della curva esponenziale renda irrilevante l'esatta definizione in termini numerici delle ipotesi sui limiti naturali della Terra.

Possiamo supporre che città, strade e servizi vari non impegnino alcuna frazione della superficie coltivabile, e che quindi la disponibilità di terra rimanga costante (linea orizzontale): il punto d'intersezione si



Poiché la produzione totale di alimenti è cresciuta pressoché con lo stesso tasso della popolazione, la produzione di alimenti pro capite si è mantenuta su valori che si calcolano pressoché costanti.

sposta in avanti di soli 10 anni. Ovvero, possiamo immaginare che grazie a enormi investimenti in trattori, fertilizzanti, sistemi di irrigazione e a nuovi progressi delle tecniche agricole, si riesca a raddoppiare o addirittura a quadruplicare la produttività della terra; l'effetto di tali miglioramenti è mostrato dalle curve corrispondenti: ogni raddoppio della produttività fa guadagnare meno del tempo di raddoppio della popolazione, circa 30 anni.

Nella realtà, è prevedibile che la crisi non sopraggiungerà all'improvviso, ma sarà preceduta da una serie di segni premonitori: i prezzi delle derrate alimentari a un certo punto cominceranno ad aumentare, in misura tale che parte della popolazione mondiale sarà ridotta alla fame, mentre in molte regioni sarà giocoforza ridurre la superficie coltivata e adottare di conseguenza diete con un valore nutritivo più basso.

Questi sintomi cominciano già a manifestarsi in molte parti del mondo. Per quanto attualmente solo metà della terra indicata in FIG. 10 venga coltivata, 10 o 20 milioni di morti all'anno possono essere attribuiti direttamente o indirettamente alla sottoalimentazione. Non v'è dubbio che molte di queste morti vanno attribuite a insufficienze sociali piuttosto che ai limiti materiali della terra; e tuttavia esiste chiaramente un legame tra questi due tipi di limitazioni, nel settore della produzione di alimenti. Se della buona terra fertile potesse ancora essere facilmente raggiunta e coltivata, nessuna barriera economica impedirebbe di fornire cibo a chi ne ha bisogno, e non vi sarebbe alcuna difficile scelta di carattere sociale da fare. Senonché la metà più fertile della superficie potenzialmente coltivabile è proprio quella che già adesso viene coltivata, e intraprendere lo sfruttamento di terra vergine è così costoso che la società lo ha giudicato antieconomico. Questo è un esempio di problema sociale aggravato da un limite fisico.

Ma anche se la società decidesse di affrontare i costi occorrenti per iniziare la coltivazione di nuove terre o per aumentare la produttività delle terre già coltivate, la FIG. 10 mostra con quale rapidità l'aumento della popolazione porterebbe a un nuovo punto di crisi. Inoltre, ogni successivo punto di crisi richiederebbe costi sempre crescenti per essere superato. Ogni successivo raddoppiamento del raccolto sarebbe più costoso dell'ultimo che l'ha preceduto, secondo una legge ben nota

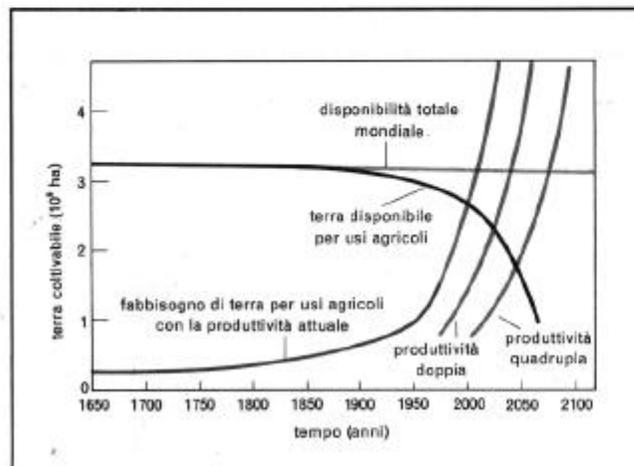


Fig.10 Fabbisogno e disponibilità di terra per uso agricolo. Dopo il 1970 il tratto di curva in colore chiaro riflette la crescita prevista della popolazione al tasso attuale. La disponibilità di terra arabile diminuisce per via di impieghi urbani e industriali.

agli economisti che potremmo chiamare legge dei costi crescenti. L'esempio più significativo è fornito dall'esame dei costi affrontati in passato. Nel periodo 1951-66, per ottenere un aumento della produzione agricola mondiale del 34% si è dovuta aumentare la spesa annua per trattori del 63%, quella per fertilizzanti azotati del 146%, quella per insetticidi del 300%; un ulteriore 34% di incremento della produzione agricola richiederebbe prodotti chimici e capitali in misura anche maggiore.

Non si può dire esattamente a quante persone la Terra possa dare nutrimento, giacché la risposta dipende dalle scelte che la società opera tra le molte alternative possibili. C'è un legame diretto tra lo scegliere di produrre più alimenti piuttosto che altri beni e servizi, necessari o voluttuari; e la domanda per questi altri beni e servizi cresce col crescere della popolazione, per cui l'esigenza di una scelta si fa sempre più manifesta e sempre più difficile da soddisfare. Ma anche supponendo che la produzione di generi alimentari divenisse l'obiettivo principale, in breve tempo la crescita della popolazione e la legge dei costi crescenti provocherebbero una situazione tale per cui tutte le risorse della Terra dovrebbero essere impegnate per produrre alimenti, senza ulteriori possibilità di espansione.

Finora si è considerato solo uno dei fattori che possono limitare la produzione di alimenti, giacché per mancanza di spazio non possiamo esaminare in dettaglio tutti gli altri. Subito dopo la terra coltivabile, comunque, l'elemento più importante per la produzione di alimenti è l'acqua. Esiste un limite superiore al processo di sottrazione di acqua dolce dalla terra, e la curva della domanda mostra anche in questo caso un andamento esponenziale crescente, mentre la disponibilità media rimane costante. In alcune regioni del mondo, questo limite verrà raggiunto assai prima di quello relativo alla terra.

È anche possibile evitare o estendere questi limiti mediante progressi tecnici che consentano di rimuovere la dipendenza dalla terra (ad esempio mediante produzione di alimenti sintetici) o di creare nuove fonti di acqua dolce (mediante dissalazione dell'acqua di mare). Bisogna però tener presente che nessuna tecnologia si sviluppa da sé, o senza implicare dei costi. Fabbriche e materie prime per la produzione di cibi sintetici, impianti ad energia per il trattamento dell'acqua marina traggono tutti origine, in definitiva, dal mondo fisico.

La crescita esponenziale nella domanda di alimenti scaturisce direttamente dall'anello di retroazione positivo che determina l'attuale crescita della popolazione.

La disponibilità di alimenti prevedibile per il futuro è legata alla terra, all'acqua e al capitale agricolo, che a sua volta dipende dall'altro importante anello di retroazione positivo che collega investimenti e capitale.

TAB. IV - DISTRIBUZIONE E CONSUMO

Materia prima	Riserve conosciute ¹	Indice statico (anni) ²	Previsto tasso di incremento del consumo (% annuo) ¹			Indice esponenziale (anni) ³	Indice esponenziale con riferimento a riserve quintuplicate (anni) ⁴
			max	medio	min.		
alluminio	1,06 × 10 ⁹ t ⁷	100	7,7	6,4	5,1	31	55
cromo	7,75 × 10 ⁸ t	420	3,3	2,6	2,0	95	154
carbone	4,5 × 10 ¹² t	2300	5,3	4,1	3,0 ⁸	111	150
cobalto	2,2 × 10 ⁶ t	110	2,0	1,5	1,0	60	148
rame	280 × 10 ⁶ t	36	5,8	4,6	3,4	21	48
oro	11 × 10 ⁹ kg	11	4,8	4,1	3,4 ⁹	9	29
ferro	9 × 10 ¹⁰ t	240	2,3	1,8	1,3	93	173
piombo	82,5 × 10 ⁶ t	26	2,4	2,0	1,7	21	64
manganese	7,25 × 10 ⁸ t	97	3,5	2,9	2,4	46	94
mercurio	3,34 × 10 ⁹ bombole ¹⁰	13	3,1	2,6	2,2	13	41
molibdeno	4,9 × 10 ⁸ t	79	5,0	4,5	4,0	34	65
gas naturale	32,3 × 10 ¹² m ³	38	5,5	4,7	3,9	22	49

Lo sfruttamento di terre vergini, la coltivazione dei mari, il crescente consumo di fertilizzanti e insetticidi richiederanno un aumento dello stock di capitale devoluto alla produzione di alimenti; ma la crescita dello stock di capitale è legata non tanto alle materie prime rinnovabili (acqua, terra) quanto a quelle non rinnovabili, per le quali occorre quindi valutare la disponibilità e l'eventuale esistenza di limiti sulla terra.

DEI PRINCIPALI MINERALI NEL MONDO

(segue)

Paesi con le riserve più abbondanti (% del totale mondiale) ¹	Principali produttori (% del totale mondiale) ²	Principali consumatori (% del totale mondiale) ³	Consumo degli USA (% del totale mondiale) ⁴
Australia (33) Guinea (20) Giamaica (10)	Giamaica (19) Surinam (12)	USA (42) URSS (12)	42
Rep. Sud Africa (75)	URSS (30) Turchia (10)		19
USA (32) URSS-Cina (53)	URSS (20) USA (13)		44
Rep. Congo (31) Zambia (16)	Rep. Congo (51)		32
USA (28) Cile (19)	USA (20) URSS (15) Zambia (13)	USA (33) URSS (13) Giappone (11)	33
Rep. Sud Africa (40)	Rep. Sud Africa (77) Canada (6)		26
URSS (33) America merid. (18) Canada (14)	URSS (25) USA (14)	USA (28) URSS (24) Rep. Fed. Ted. (7)	28
USA (39)	URSS (13) Australia (13) Canada (11)	USA (25) URSS (13) Rep. Fed. Ted. (11)	25
Rep. Sud Africa (38) URSS (25)	URSS (34) Brasile (13) Rep. Sud Africa (13)		14
Spagna (30) Italia (21)	Spagna (22) Italia (21) URSS (18)		24
USA (58) URSS (20)	USA (64) Canada (14)		40
USA (25) URSS (13)	USA (58) URSS (18)		63

Risorse naturali non rinnovabili

« Nonostante l'aumento dei prezzi provocato da una disponibilità decrescente, già adesso la domanda di platino, oro, piombo e zinco è superiore all'offerta. Argento, uranio e stagno cominceranno a scarseggiare nel giro dei prossimi cento anni, se il consumo continuerà a

seguito) TAB. IV - DISTRIBUZIONE E CONSUMO DEI

Materia prima	Riserve conosciute ¹	Indice statico (anni) ²	Previsto tasso di incremento del consumo (% annuo) ³			Indice esponenziale (anni) ⁴	Indice esponenziale con riferimento a riserve quintuplicate (anni) ⁵
			max	medio	min.		
nichel	66,5 × 10 ⁶ t	150	4,0	3,4	2,8	53	96
petrolio	455 × 10 ⁶ barili	31	4,9	3,9	2,9	20	50
gruppo platino ⁶	13,3 × 10 ⁶ kg	130	4,5	3,8	3,1	47	85
argento	170 × 10 ⁶ kg	16	4,0	2,7	1,5	13	42
stagno	4,36 × 10 ⁶ t	17	2,3	1,1	0	15	61
tungsteno	1,32 × 10 ⁶ t	40	2,9	2,5	2,1	28	72
zinco	112 × 10 ⁶ t	23	3,3	2,9	2,5	18	50

¹ Fonte: *Mineral facts and problems, 1970*, US Bureau of Mines, Government Printing Office (1970).
² L'indice statico si definisce come il numero di anni di durata prevedibile delle riserve accertate, in base all'attuale indice di consumo: viene calcolato dividendo il valore delle riserve accertate, ricavato dalla seconda colonna, per il valore del consumo annuo mondiale. Fonte: *Mineral facts and problems, 1970*, US Bureau of Mines, Government Printing Office (1970).
³ L'indice esponenziale si definisce come il numero di anni di durata prevedibile delle riserve accertate, in base a un indice di consumo esponenzialmente crescente; viene calcolato con la formula:

$$\text{indice esponenziale} = \frac{\ln [(r \cdot s) + 1]}{r}$$

dove: r = tasso medio di incremento del consumo (dalla quarta colonna), s = indice statico (dalla terza colonna).
⁴ L'indice esponenziale, con riferimento a riserve quintuplicate, si definisce come il numero di

PRINCIPALI MINERALI NEL MONDO

Paesi con le riserve più abbondanti (% del totale mondiale) ¹	Principali produttori (% del totale mondiale) ²	Principali consumatori (% del totale mondiale) ³	Consumo degli USA (% del totale mondiale) ⁴
Cuba (25) Nuova Caledonia (22) URSS (14) Canada (14)	Canada (42) Nuova Caledonia (28) URSS (16)		38
Arabia Saudita (17) Kuwait (15)	USA (23) URSS (16)	USA (33) URSS (12) Giappone (6)	33
Rep. Sud Africa (47) URSS (47)	URSS (59)		31
paesi comunisti (36) USA (24)	Canada (20) Messico (17) Perù (16)	USA (26) Rep. Fed. Ted. (11)	26
Thailandia (33) Malaysia (14)	Malaysia (41) Bolivia (16) Thailandia (13)	USA (24) Giappone (14)	24
Cina (73)	Cina (25) URSS (19) USA (14)		22
USA (27) Canada (20)	Canada (23) URSS (11) USA (8)	USA (26) Giappone (13) URSS (11)	26

anni di durata prevedibile di un ammontare di riserve cinque volte maggiore di quello attuale, in base a un indice di consumo esponenzialmente crescente; viene calcolato con la stessa formula sopra riportata, ponendo $5s$ al posto di s .
⁵ Fonte: *Statistical yearbook 1969*, United Nations, New York (1970).
⁶ Fonte: *Yearbook of the American Bureau of Metal Statistics 1970*, Maple Press Co., York, Pa. (1970); *World petroleum report*, Mona Palmer Publishing Co., Inc. (1968); *The world market for iron ore*, United Nations, New York (1968); *Mineral facts and problems, 1970*, US Bureau of Mines, Government Printing Office (1970).
⁷ Bauxite espressa in alluminio equivalente.
⁸ Previsioni contingenti del Bureau of Mines, basate sull'ipotesi che il carbone verrà impiegato per la sintesi di gas e combustibili liquidi.
⁹ Il dato include le stime del Bureau of Mines relative alla domanda di oro per tesaurizzazione.
¹⁰ Ogni bombola corrisponde a 34,5 kg di mercurio.
¹¹ Platino, osmio, rodio, iridio, palladio, rutenio. Altre fonti: Flawn P. T., *Mineral resources*, Rand McNally Co. (1966); American Metal Market Co., *Metal statistics*, Somerset, N. J. (1970); US Bureau of Mines, *Commodity data summary*, gennaio (1971).

espandersi al tasso del 6% annuo, e per molti altri minerali si avrà un esaurimento delle riserve prima dell'anno 2050... »

« I recenti, spettacolari ritrovamenti non devono farci dimenticare che sono ormai molto poche le zone in cui si può andare alla ricerca di nuovi giacimenti di minerali; anzi numerosi geologi dubitano che queste ricerche possano avere qualche successo. Sembra poco saggio

fare assegnamento a lunga scadenza sulla scoperta di nuovi, abbondanti depositi di materie prime. »*

In TAB. IV sono elencati alcuni tra i principali minerali e combustibili

* *First annual report of the Council on environmental quality*, Government Printing Office, Washington, D. C. (1970).

che hanno importanza vitale per il moderno sistema industriale: nella terza colonna sono riportati i corrispondenti valori dell'«indice statico» delle riserve, che esprime in anni la durata prevedibile delle riserve attualmente conosciute, al tasso di consumo attuale.

L'indice statico viene normalmente adoperato per esprimere la futura disponibilità di risorse; ma la definizione di esso sottende una serie di ipotesi, di cui la più importante è che il tasso di consumo si mantenga costante. I dati della quarta colonna mostrano però che il tasso di consumo mondiale cresce esponenzialmente per tutte le materie prime. Per molte di queste esso va crescendo anche più rapidamente della popolazione, il che vuol dire che aumentano ogni anno tanto la popolazione che consuma delle risorse, quanto il consumo medio per abitante. In altre parole, la curva esponenziale che rappresenta la crescita del consumo di risorse naturali è spinta verso l'alto sia dall'anello di retroazione positiva che determina la crescita della popolazione sia da quello che determina l'espansione del capitale. La FIG. 11, analoga alla FIG. 10, mostra l'effetto di una domanda esponenzialmente crescente su un ammontare fisso di risorse non rinnovabili. Il diagramma fa riferimento al cromo, scelto per il fatto che il suo indice statico ha uno dei valori più alti tra quelli elencati in TAB. IV, ma se ne potrebbe tracciare uno simile per ognuno dei minerali che figurano nella tabella.

Le riserve mondiali accertate di cromo ammontano in totale a circa 775 milioni di tonnellate: attualmente vengono estratti circa 1,85 milioni di tonnellate all'anno. Se si suppone che il consumo rimanga costante anche in futuro, l'indice statico risulta pari a 420 anni: ciò corrisponde all'andamento lineare del processo di impoverimento delle riserve, rappresentato nella figura. In realtà, il consumo mondiale del cromo aumenta in ragione del 2,6% all'anno e la figura mostra che mantenendo questo ritmo le riserve giungeranno ad esaurirsi non in 420, ma in 95 anni!

Supponendo che la scoperta di nuovi giacimenti consenta di quintuplicare le attuali riserve, o che a partire dal 1970 sia possibile rimettere in circolazione tutto il cromo già usato (100% di riutilizzazione), nel giro di 154 o di 235 anni rispettivamente la domanda supererebbe ancora l'offerta.

La FIG. 11 ci mostra come, in condizioni di crescita esponenziale del consumo, l'indice statico delle riserve fornisca una misura errata della disponibilità di una materia prima. Possiamo definire un indice esponenziale, che esprime la durata prevedibile delle riserve sulla base di un tasso di incremento del consumo pari a quello attuale. I valori di tale indice esponenziale sono elencati nella quinta colonna di TAB. IV. Ovvero, possiamo definire un indice esponenziale con riferimento a ri-

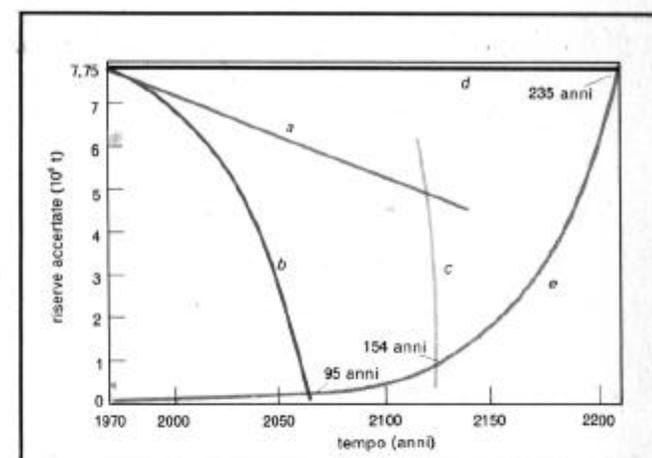


Fig.11 Disponibilità e fabbisogno di cromo. La durata delle riserve dipende dall'andamento del consumo futuro. Le curve a, b indicano la durata delle riserve attuali per un consumo crescente, rispettivamente con legge lineare ed esponenziale al tasso presente. La curva c indica la durata di riserve cinque volte le attuali per un consumo esponenzialmente crescente. La curva d prevede una totale riutilizzazione del cromo, dal 1970. La curva e rappresenta l'indice di consumo in t/anno.

serve quintuplicate (sesta colonna). Per l'alluminio, ad esempio, il periodo di disponibilità delle riserve passa allora da 100 anni, indice statico, a 31 anni o a 55 rispettivamente.

Per il rame, si passa da 36 anni, secondo l'indice statico, a 21 anni, secondo l'indice esponenziale, o a 48, secondo l'indice esponenziale con riserve quintuplicate.

È chiaro quindi che gli attuali indici di consumo, esponenzialmente crescenti, fanno sensibilmente contrarre l'intervallo di tempo per il quale un diffuso sviluppo economico può fare assegnamento su tali materie prime.

In realtà, l'effettiva disponibilità di risorse naturali per i prossimi decenni sarà determinata da un insieme di fattori assai più complesso di quanto non esprimano questi semplici indici. Il problema è stato studiato in maniera più approfondita con un modello dettagliato in cui sono stati presi in considerazione i costi di produzione, i diversi gradi di purezza dei minerali, eventuali nuove tecniche estrattive, la elasticità della domanda al consumo, la sostituzione di alcune materie prime con altre. Le conclusioni generali verranno illustrate più avanti; per maggiori particolari, si consultino le pubblicazioni sull'argomento.

In FIG. 12 sono riportate le curve, ricavate mediante il calcolatore,

relative alla disponibilità di una materia prima il cui indice statico nel 1970 è pari a 420 anni: ad esempio il cromo. In ascisse figura il tempo, in anni; in ordinate si leggono: l'ammontare delle riserve rimanenti - indicato come 'risorse naturali' - il quantitativo consumato ogni anno - 'indice di consumo' - il costo unitario di estrazione - 'costo reale' - i progressi delle tecnologie estrattive e di lavorazione - simbolo T - e la frazione che è stata rimpiazzata nell'uso da un'altra materia prima - simbolo F -. All'inizio, il consumo annuale di cromo cresce esponenzialmente, per cui si ha un rapido impoverimento delle riserve; il prezzo però rimane costante poiché i progressi della tecnica consentono di fare ricorso a minerali sempre più poveri. A un certo punto, comunque, al crescere della domanda, tali progressi non sono più sufficienti a compensare i costi crescenti di localizzazione dei giacimenti, di estrazione, lavorazione e distribuzione, e i prezzi cominciano a salire, dapprima lentamente, poi sempre più rapidamente. Diventa necessario sostituire il cromo con altre materie ogniqualevolta ciò sia possibile, e comunque dosarne il consumo con grande cautela. Dopo 125 anni, le riserve di cromo sono ridotte al 5% del valore iniziale e il costo del minerale raggiunge valori proibitivi, mentre è praticamente nulla l'attività di estrazione da nuove miniere. In base a queste valutazioni, sicuramente più realistiche, la durata probabile delle riserve di cromo sarebbe pari a 125 anni, quindi considerevolmente inferiore alla durata espressa dall'indice statico (420 anni), anche se leggermente superiore al valore calcolato nell'ipotesi di una crescita esponenziale del consumo (95 anni). L'andamento dell'indice di consumo nel modello dinamico non è costante né crescente con continuità, ma del tipo a campana.

Possiamo supporre (FIG. 13) che nel 1970 la scoperta di nuovi giacimenti consenta di raddoppiare le riserve di cromo, per cui l'indice statico passa da 420 a 840 anni. Gli esperimenti di simulazione condotti mediante il calcolatore ci dicono però che in questo caso i costi si mantengono bassi per un periodo appena un po' più lungo: 145 anni invece di 125, con un guadagno di soli 20 anni.

La crosta terrestre contiene abbondanti quantitativi di quelle materie prime che l'uomo ha imparato a estrarre e trasformare; ma per quanto abbondanti, le riserve non sono certamente inesauribili. Al ritmo di consumo attuale, prevedibilmente destinato a crescere, la grande maggioranza delle materie prime non rinnovabili di impiego più comune raggiungerà costi proibitivi nel giro di un centinaio di anni. Questa conclusione - che non è più sorprendente, essendosi già visto con quanta rapidità una grandezza che cresce esponenzialmente riesce a raggiungere qualsiasi valore prefissato - vale, anche nell'ipotesi di scoprire

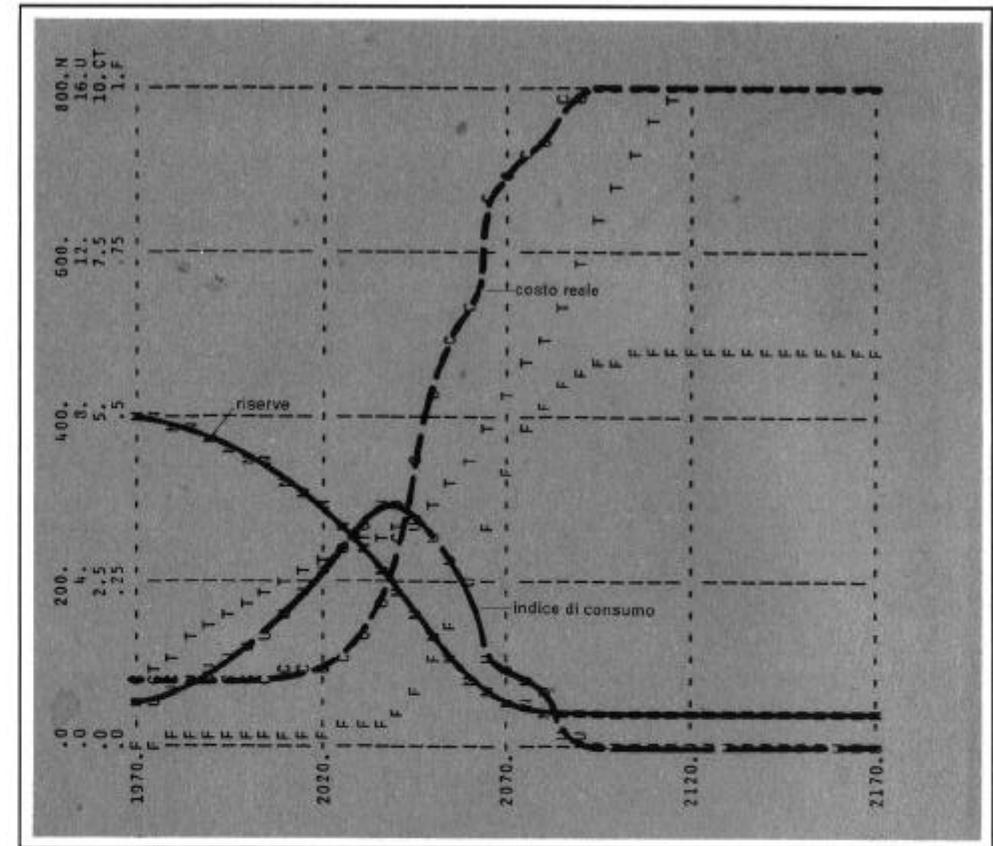


Fig.12 Esaurimento delle riserve di cromo secondo lo studio di simulazione condotto mediante il calcolatore. Il tracciato di risposta è stato ricavato assumendo come dati di partenza il livello attuale effettivo delle riserve globali di cromo nel mondo. La crescita esponenziale della richiesta cesserà per il graduale esaurirsi delle riserve: dopo 125 anni l'indice di consumo scende a zero.

nuovi giacimenti o di compiere sostanziali progressi nella tecnica, di riutilizzare le materie già usate o di sostituirle in parte con altre aventi un costo inferiore, se la domanda continua a crescere esponenzialmente. I prezzi delle materie prime caratterizzate da valori particolarmente bassi dell'indice statico hanno già cominciato a salire: ad esempio, il prezzo del mercurio è cresciuto del 500% negli ultimi 20 anni e quello del piombo è cresciuto del 300% negli ultimi 30 anni.

Un'ulteriore complicazione è rappresentata dal fatto che né le riserve né il consumo di materie prime sono uniformemente distribuiti sulla

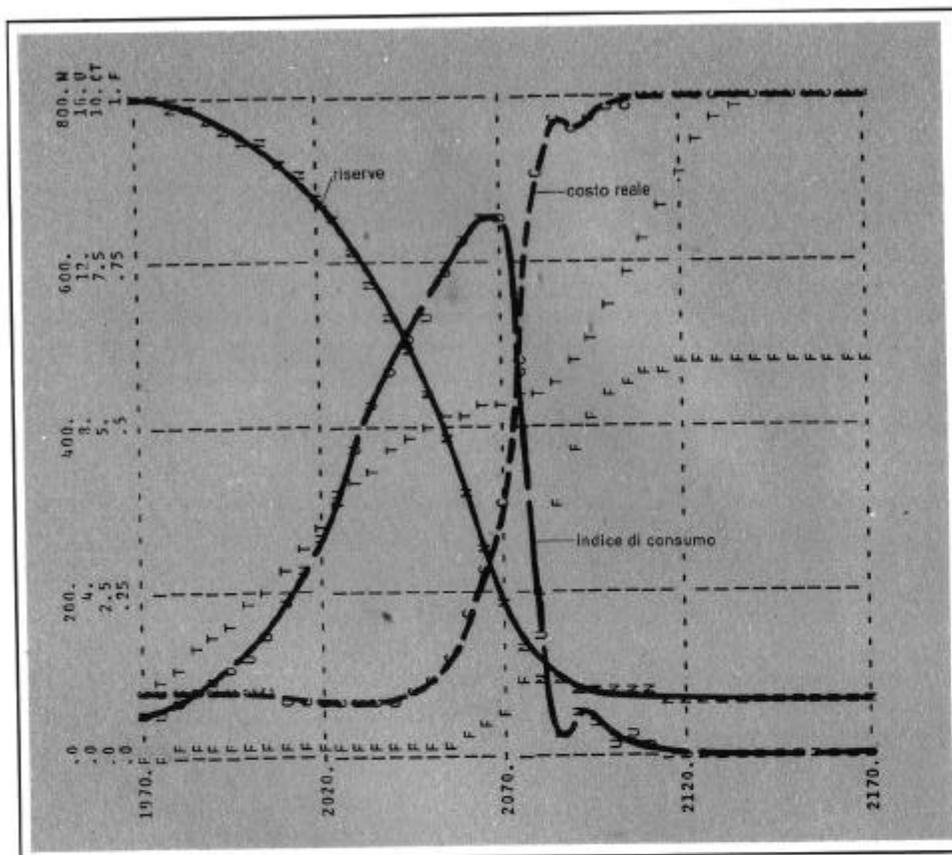


Fig.13 Esaurimento delle riserve di cromo nell'ipotesi di una disponibilità iniziale raddoppiata. Il tracciato è stato ottenuto similmente a quello della figura precedente, nell'ipotesi però di riserve mondiali di cromo pari al doppio delle attuali: anche così, per il protrarsi della crescita esponenziale della richiesta, è trascurabile l'aumento della durata delle riserve da 125 a 145 anni.

Terra. Dalla TAB. IV si può desumere come la stessa sopravvivenza della base industriale dei paesi più progrediti, che sono i principali consumatori di materie prime, dipenda dal mantenimento di una fitta rete di accordi internazionali con i paesi produttori. Accanto al problema economico – il futuro dei vari settori industriali man mano che le varie materie prime raggiungono costi intollerabili – si presenta l'imponderabile problema politico delle relazioni tra paesi produttori e consumatori, allorché le riserve rimarranno concentrate in aree geografiche sempre più ristrette. È facile prevedere, come mostrano alcune recenti vicende

(nazionalizzazione delle miniere sudamericane, spinta all'aumento del prezzo del petrolio da parte dei paesi mediorientali), che il problema politico è destinato a insorgere assai prima di quello economico.

Il comportamento delle nazioni consumatrici è destinato ad avere importanti ripercussioni sulla futura disponibilità di materie prime e quindi sulla possibilità di assicurare migliori condizioni economiche e un tenore di vita sufficientemente alto per ciascuno dei 7 miliardi di abitanti che la Terra avrà nel 2000. Queste nazioni possono continuare ad aumentare il consumo, possono imparare a recuperare e reimpiegare i materiali già utilizzati, possono mettere a punto nuove tecniche che consentano di prolungare la durata dei prodotti, possono infine modificare i propri indirizzi in campo economico e sociale, scegliendo dei modelli di sviluppo che soddisfino le esigenze dei cittadini rendendo minima, anziché massima, la quantità di beni materiali che ognuno di essi consuma.

Ognuna di queste possibili alternative implica una scelta, particolarmente difficile in questo caso, in cui futuri benefici richiedono di sacrificare in qualche misura il presente. Infatti, per assicurare una adeguata disponibilità di risorse naturali in futuro, occorre adottare dei provvedimenti volti a ridurre il consumo attuale: la maggior parte di tali provvedimenti si traduce in un aumento dei costi delle materie prime. Ad esempio, è sicuramente costoso recuperare e riutilizzare i vari materiali, o adottare migliori criteri di progettazione, e nella maggior parte dei paesi ciò è oggi ritenuto antieconomico.

Peraltro, l'adozione di tali provvedimenti non sarà di per sé sufficiente, giacché se la crescita della popolazione e del capitale industriale continueranno a produrre un sempre maggior numero di abitanti e una crescente domanda di risorse pro capite, il sistema verrà spinto verso i propri limiti naturali – in questo caso, il depauperamento delle risorse non rinnovabili della Terra.

Metalli e combustibili, dopo essere stati estratti dalla terra, vengono variamente utilizzati e successivamente scaricati; in un certo senso, si può dire che essi non vanno perduti, poiché gli atomi costituenti si ricombinano variamente e alla fine si disperdono, in forme non utilizzabili, nell'aria, nel suolo o nelle acque della Terra. Il sistema ecologico naturale è in grado di assorbire i prodotti di rifiuto dell'attività umana, che attraverso una serie di passaggi vengono convertiti in sostanze utili alle altre forme di vita, o comunque non nocive. Questo meccanismo naturale di assorbimento, peraltro, ha un certo livello di saturazione, superato il quale i rifiuti della civiltà industriale cominciano ad accumularsi in maniera visibile, fastidiosa, sovente nociva. Non c'è da meravigliarsi, allora, se si trova il mercurio nei pesci dell'oceano o il piombo

nell'atmosfera delle città, se le periferie urbane sono circondate da montagne di rifiuti e le spiagge sono cosparse di chiazze di petrolio: l'inquinamento è un altro elemento del sistema mondiale che cresce con legge esponenziale.

Inquinamento

« Diventa sempre più evidente alla maggioranza delle persone che la sopravvivenza della biosfera, con la sua capacità di ospitare i vari organismi viventi, non va più misurata in termini di centinaia di milioni di anni, ma di decenni; la colpa di ciò ricade interamente sulla specie umana. »*

È solo da poco tempo che l'uomo ha cominciato a occuparsi delle conseguenze che le proprie attività possono avere sull'ambiente naturale; ancora più recenti, e quindi grossolanamente incompleti, sono tutti i tentativi di misurare in maniera scientifica questi effetti. Attualmente, non siamo assolutamente in grado di ricavare alcuna conclusione sicura sulla capacità di assorbimento dell'inquinamento da parte della terra; possiamo però stabilire alcuni punti fermi, da cui risulta come, in una prospettiva dinamica che abbracci tutto il sistema mondiale, si presenti assai difficile arrivare a comprendere e mettere sotto controllo lo stato futuro dei vari sistemi ecologici. In primo luogo (come mostreremo più avanti), in quei pochi casi in cui si sono eseguiti dei rilevamenti nel tempo, si è osservata una crescita esponenziale dell'inquinamento, per cui è lecito ipotizzare l'esistenza di uno stretto legame con l'andamento della popolazione e del capitale. Inoltre, va precisato che non si sa quasi nulla su quelli che possono essere i limiti a cui tendono le curve crescenti relative ai vari tipi di inquinamento. In terzo luogo, la presenza di ritardi naturali nei processi ecologici aumenta il pericolo di sottovalutare la necessità di misure di controllo, e quindi di raggiungere quei limiti che sicuramente esistono, anche se non sono ancora individuati. Infine, molti agenti inquinanti sono ormai distribuiti su tutto il pianeta, e i loro effetti nocivi si manifestano a grandi distanze dal punto in cui essi sono stati liberati.

Non è possibile esaminare in dettaglio ciascuno di questi quattro punti per ogni tipo di agente inquinante, sia perché non lo consente lo spazio a disposizione, sia perché sono pochi i dati disponibili. Pertanto, ogni punto verrà discusso considerando a titolo di esempio quegli agenti inquinanti che sono stati finora meglio studiati. Non è quindi necessariamente vero che quelli menzionati siano i più importanti da considerare

* Hutchinson G. E., *The biosphere*, in *Scientific American*, CCXXIII, 3, 44 (1970).

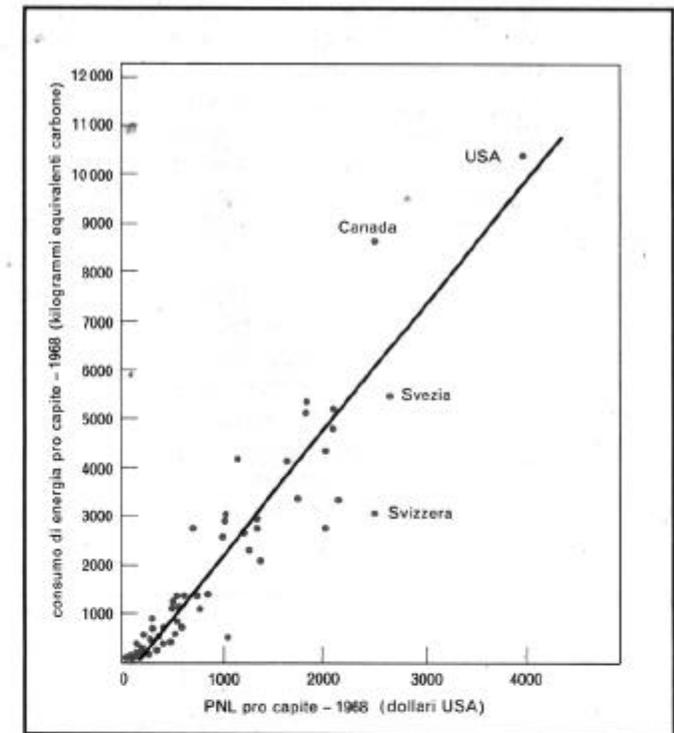


Fig.14 Consumo di energia pro capite e PNL. Sebbene il consumo di energia pro capite vari notevolmente nel mondo, in funzione del PNL pro capite, la relazione è lineare. Gli scostamenti dipendono soprattutto dal clima e dall'industrializzazione.

(anche se tutti hanno una certa importanza); essi sono, piuttosto, quelli di cui possiamo seguire meglio il modo di agire.

Crescita esponenziale dell'inquinamento. Gli indici di crescita esponenziale delle diverse sostanze inquinanti considerate più avanti differiscono molto tra loro, ma per la maggior parte di esse la crescita è più rapida di quella della popolazione. Per alcune di esse, l'andamento presenta manifestamente una relazione diretta con la crescita della popolazione (o con l'attività agricola, che è legata alla crescita della popolazione); per altre vi è un legame più immediato con l'espansione dell'industria e con i progressi della tecnologia. La maggior parte delle sostanze inquinanti presenti nel sistema mondiale è in qualche modo influenzata da entrambi gli anelli di retroazione positivi che rappresentano rispettivamente la crescita della popolazione e dell'industrializzazione.

Possiamo cominciare l'esame considerando l'inquinamento dovuto ai crescenti consumi di energia. Il processo di sviluppo economico, in effetti, consiste nell'utilizzazione di crescenti quantità di energia per aumentare la produttività e il rendimento del lavoro umano: uno degli indici più significativi del grado di benessere raggiunto da una popolazione è quello relativo al consumo di energia pro capite (FIG. 14). Il consumo mondiale di energia cresce al tasso dell'1,3% all'anno: tenendo presente il contemporaneo aumento della popolazione, si ricava un incremento totale del 3,4% annuo.

Al presente, circa il 97% della totale produzione di energia industriale proviene dai combustibili fossili (carbone, olio combustibile, gas naturale). Dalla combustione di tali sostanze si sviluppa, tra l'altro, anidride carbonica (CO₂) che viene liberata nell'atmosfera, attualmente al ritmo di circa 18 miliardi di tonnellate all'anno. Come mostra la FIG. 15, il quantitativo di CO₂ presente nell'atmosfera, in base alle misurazioni compiute, risulta crescere esponenzialmente al tasso di circa 0,2% all'anno. Solo la metà circa della CO₂ proveniente dai combustibili

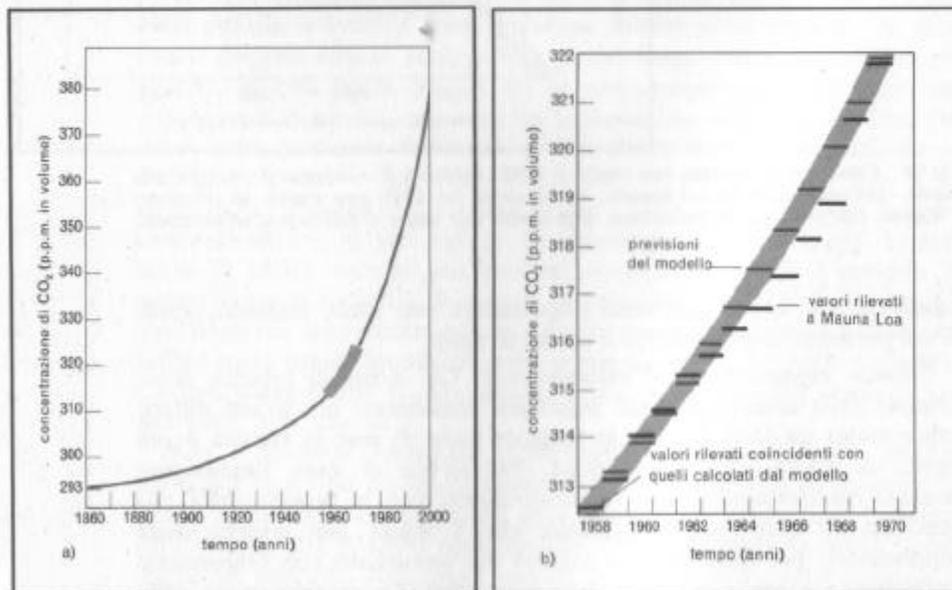


Fig.15 Aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera per effetto dell'impiego crescente di combustibili fossili. In a) figura l'andamento calcolato mediante simulazione su modello. In b) vengono confrontati i valori previsti con quelli effettivamente rilevati a Mauna Loa, nel periodo 1958-70. L'incremento medio annuale della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è ora pari a 1,5 p.p.m.

fossili è dispersa nell'atmosfera, l'altra metà essendo stata evidentemente assorbita soprattutto dalla superficie degli oceani.

Supponendo di sostituire nel futuro ai combustibili tradizionali quelli nucleari, verrebbe alla fine arrestato l'aumento del quantitativo di CO₂ presente nell'aria prima che esso abbia raggiunto valori tali da influenzare seriamente il clima o l'ambiente naturale; ma, indipendentemente dal tipo di combustibile adoperato, la produzione di energia comporta un altro effetto collaterale negativo. Dalla termodinamica si sa che sostanzialmente tutta l'energia impiegata dall'uomo in ultima analisi viene dissipata come calore: se la sorgente di energia non è costituita dalla radiazione solare, questo calore in definitiva provoca un innalzamento di temperatura dell'atmosfera, tanto direttamente quanto indirettamente, attraverso l'irraggiamento dalle acque usate come acque di raffreddamento.

A livello locale, l'inquinamento termico dei corsi d'acqua sconvolge gli equilibri delle varie forme di vita presenti; nei dintorni delle città si determina la formazione delle cosiddette isole di calore urbano, all'interno delle quali si riscontrano numerose anomalie meteorologiche.

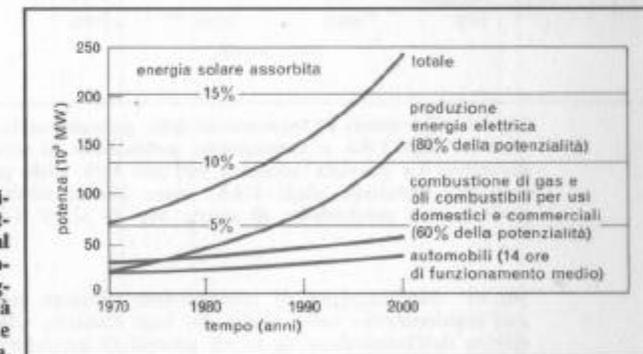


Fig.16 Energia termica smaltita nell'area di Los Angeles. Attualmente essa corrisponde al 5% circa della totale energia solare assorbita dal terreno e raggiungerà il 18% nel 2000. Già ora si nota l'influenza di tale smaltimento di energia sul clima.

Quando l'energia dissipata divenisse una frazione apprezzabile di quella che la Terra assorbe normalmente dal Sole, questi effetti climatici potrebbero assumere proporzioni preoccupanti, su scala mondiale. La FIG. 16 mostra appunto l'andamento dell'inquinamento termico prevedibile per una grande città, espresso come frazione dell'energia solare assorbita.

L'impiego dell'energia nucleare comporta un altro tipo di inquinamento, quello dovuto alle scorie radioattive: l'effetto sull'ambiente può essere, attualmente, solo ipotizzato, dato che per ora gli impianti

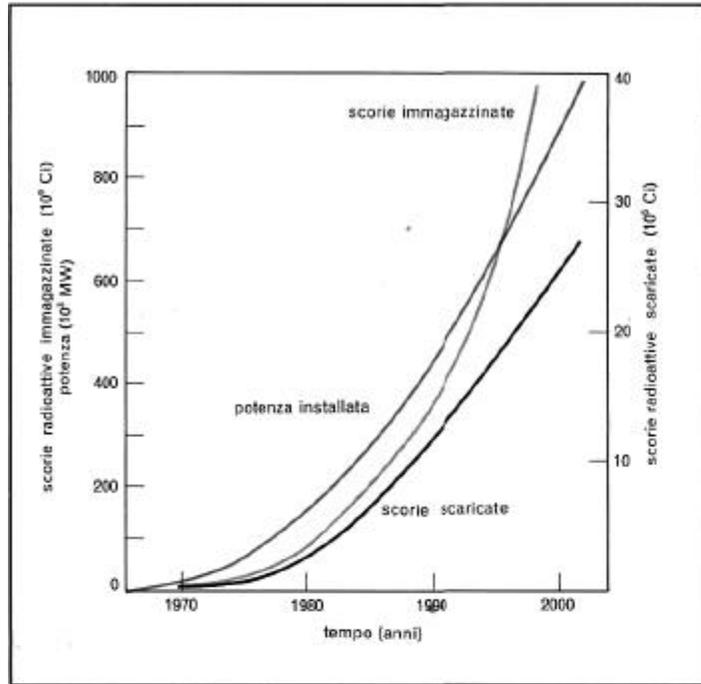
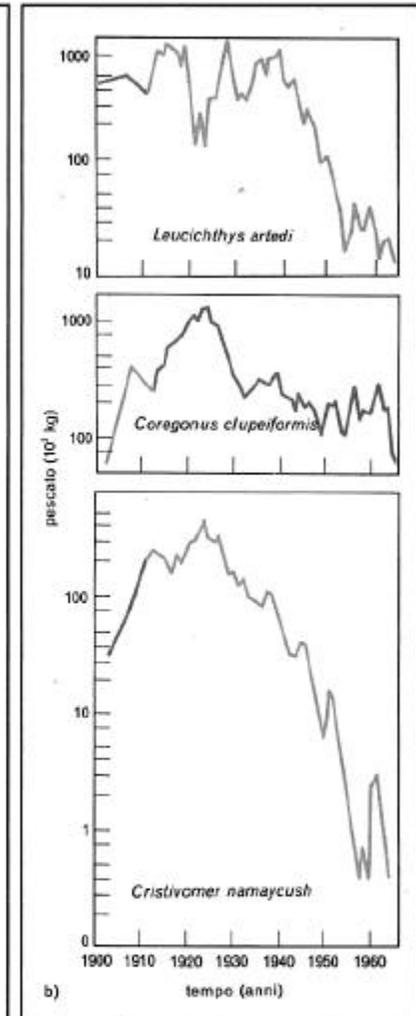
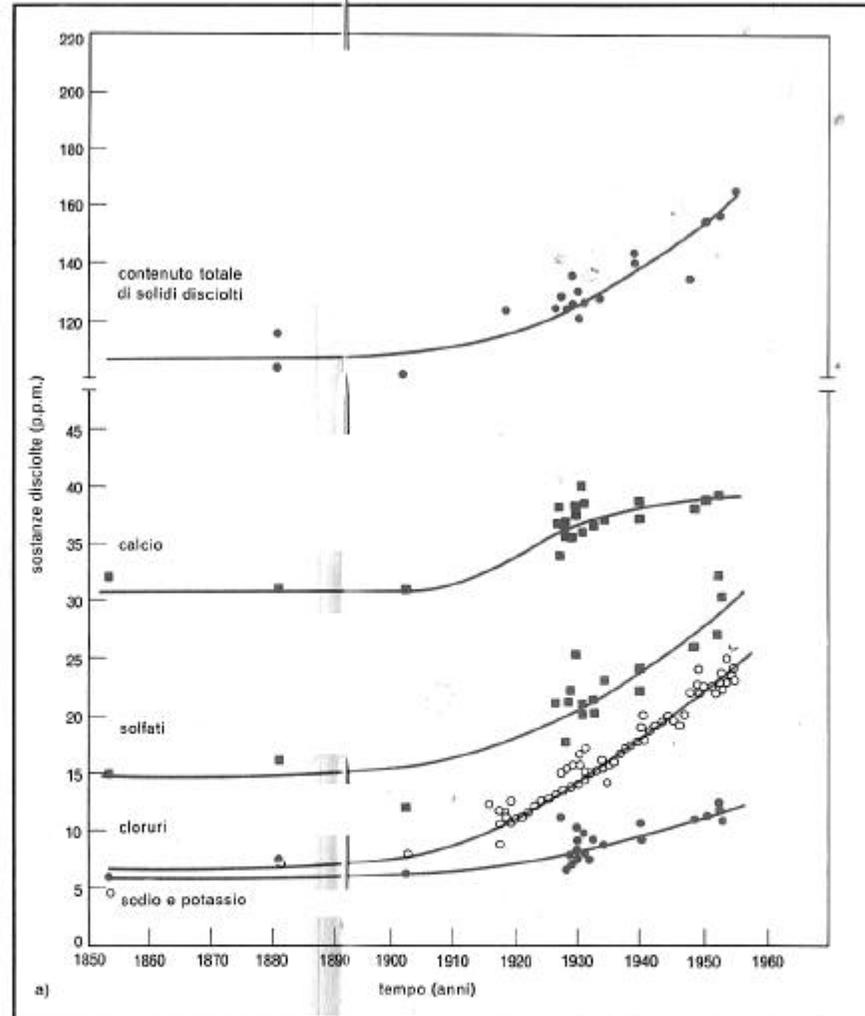


Fig.17 Previsioni di incremento della potenza nucleare installata negli USA e conseguente produzione di scorie radioattive. La prevista ascesa a 500 000 MW nella potenza nucleare installata negli USA, entro l'anno 2000, comporterà una produzione di scorie per 25×10^6 Ci/anno.

Fig.18 Modificazioni di composizione chimica provocate dall'inquinamento nelle acque del lago Ontario, USA, per effetto dell'immissione di rifiuti solubili di provenienza industriale, agricola e urbana. In a) il diagramma illustra l'incremento delle sostanze chimiche disciolte. In b) è raffigurata la contemporanea diminuzione nella produzione commerciale di alcune specie comuni di pesci commestibili.



nucleari forniscono una frazione assai piccola dell'energia totale prodotta. A titolo orientativo si possono esaminare i dati di previsione relativi agli impianti nucleari attualmente in costruzione. Considerando, ad esempio, la centrale nucleare da 1600 MW in fase di realizzazione negli USA, un elenco parziale delle scorie radioattive previste in sede di progetto comprende 42 800 Ci di cripto radioattivo (con periodo di

dimezzamento che va da un minimo di poche ore a un massimo di 9,4 anni, a seconda dell'isotopo) nei gas emessi dal camino, e 2910 Ci di trizio (periodo di dimezzamento pari a 12,5 anni) nelle acque di scarico, ogni anno. Il diagramma di FIG. 17 illustra le previsioni di incremento della potenza nucleare installata negli USA relative al periodo 1970-2000, nonché una stima del quantitativo annuale di scorie

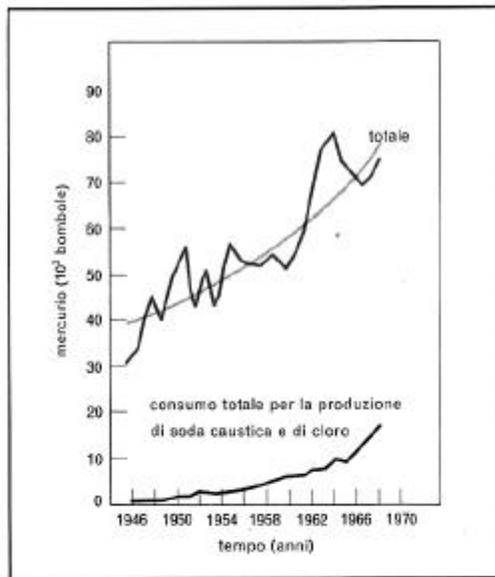


Fig.19 Consumo di mercurio negli USA. Le oscillazioni della curva in colore corrispondono alle fluttuazioni di breve periodo del mercato; l'andamento medio cresce in modo esponenziale.

radioattive da scaricare e del combustibile nucleare esaurito da depositare in luoghi sicuri.

Anidride carbonica, calore, scorie radioattive, sono solo tre dei fattori nocivi che l'uomo continua a immettere nell'ambiente in quantità esponenzialmente crescenti. Altri esempi sono illustrati nelle FIGG. 18, 19, 20. La FIG. 18 mostra i cambiamenti di composizione chimica avvenuti nelle acque di un grande lago americano per effetto dell'immissione di rifiuti solubili di provenienza industriale, agricola e urbana: come si vede, parallelamente si è verificata una sensibile diminuzione della produzione di pesce.

Automobili, impianti di incenerimento, processi industriali vari, insetticidi per uso agricolo, continuano a riversare nell'atmosfera e nei corsi d'acqua metalli tossici, come piombo e mercurio.

Il consumo di mercurio negli USA (FIG. 19) è cresciuto esponenzialmente nel periodo 1946-68; solo il 18% di questo mercurio viene ricuperato e rimesso in circolazione.

La FIG. 20 permette di capire il motivo per cui un aumento dei rifiuti organici immessi nelle acque ha un effetto catastrofico sulla vita dei pesci; essa illustra l'andamento nel tempo del quantitativo di ossigeno disciolto (che è quello che i pesci 'respirano') presente nelle acque del mar Baltico. Al crescere del quantitativo di rifiuti organici, che si

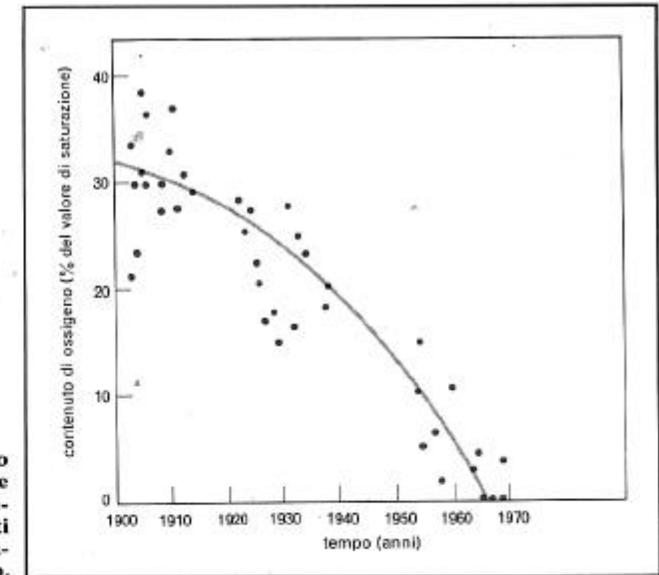


Fig.20 Riduzione dell'ossigeno disciolto nel mar Baltico. Tale fenomeno deve imputarsi al progressivo accumularsi di rifiuti organici e alla minima circolazione delle acque del Baltico.

decompongono nelle acque, l'ossigeno disciolto diminuisce: in alcune zone del mar Baltico, il livello di esso si è ridotto effettivamente a zero.

Infine, mediante successive estrazioni, a profondità sempre maggiori, di campioni dalla calotta polare della Groenlandia, si è potuto documentare l'incremento esponenziale del tenore di piombo trasportato dall'aria in tutte le regioni del globo.

Limiti superiori non conosciuti. Tutte le curve esponenziali relative ai vari tipi di inquinamento possono essere estrapolate per ricavare il prevedibile andamento futuro, così come è stato fatto in precedenza per quelle relative al fabbisogno di terra e al consumo delle risorse naturali. Mentre però in questi due casi era noto il valore limite superiore delle grandezze in questione, nel caso dell'inquinamento non è possibile indicare tale valore limite: in effetti non si sa fino a che punto si può continuare a turbare il naturale equilibrio ecologico della Terra senza provocare conseguenze disastrose. Nessuno è in grado di precisare quanta CO₂, o quanta energia termica si può riversare nell'ambiente prima di determinare modificazioni irreversibili del clima; nessuno è in grado di dire quanto piombo, o mercurio, o insetticidi, o scorie radioattive, possono essere assorbiti dalle piante, dai pesci, dagli esseri umani prima che comincino a essere interrotti i processi vitali.

Ritardi naturali nei processi ecologici. Proprio questa ignoranza do-

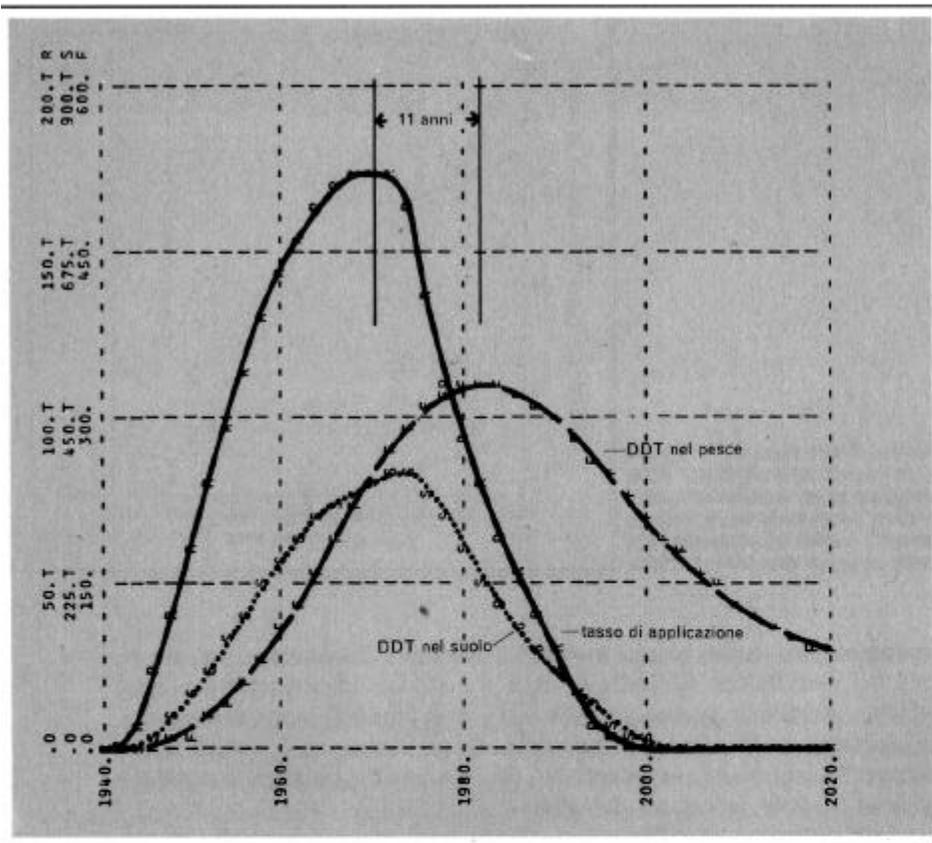


Fig.21 DDT nell'ambiente. Le curve sono ottenute con un procedimento di simulazione, ed evidenziano i ritardi con cui si manifesta l'inquinamento nei sistemi naturali.

vrebbe suggerire una particolare cautela nell'emissione di sostanze inquinanti, tanto più che si è constatata l'esistenza di un lungo, tipico ritardo tra la emissione e la comparsa dei primi effetti negativi. A questo riguardo, è interessante considerare i risultati di uno studio condotto, secondo il metodo della dinamica dei sistemi, sul DDT, di cui è stato seguito il cammino attraverso l'ambiente a partire dal momento della irrorazione. Correggendo eventualmente qualche valore numerico, le conclusioni ricavate per questa sostanza specifica possono essere estese a tutte le sostanze che hanno la caratteristica di mantenersi tossiche per un lungo periodo: tra queste si possono annoverare ad esempio mer-

curio, piombo, cadmio, insetticidi vari, policlorodifenile, scorie radioattive.

Il DDT è una sostanza chimica organica, non esistente in natura ma creata dall'uomo; viene attualmente usato come insetticida, e se ne consumano circa 90 000 t all'anno. Viene applicato per irrorazione: disperdendosi una parte evapora nell'aria a grandi distanze, e successivamente precipita di nuovo sulla terra o negli oceani. Qui una parte del DDT viene assorbita dal plancton, il plancton dai pesci e, per

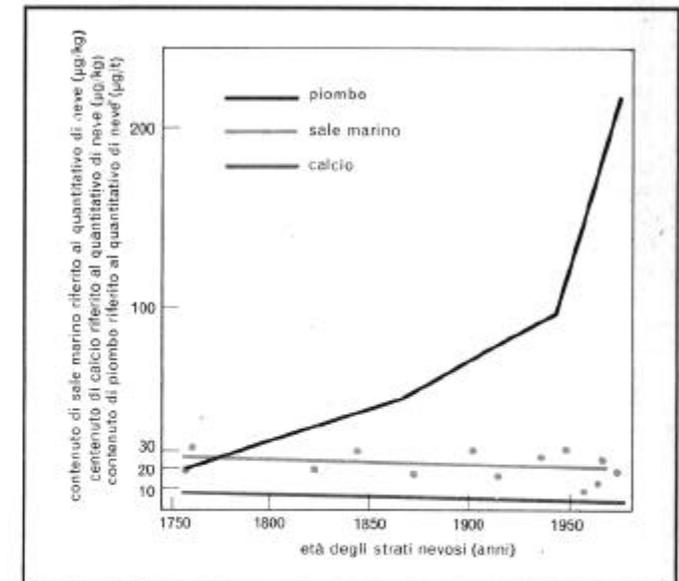


Fig.22 Incremento del tenore di piombo nella calotta polare della Groenlandia. Per confronto sono riportati i valori delle concentrazioni di calcio e sale marino.

questa via, il DDT finisce con l'essere ingerito dall'uomo. In corrispondenza di ognuno di questi passaggi, il DDT può subire delle reazioni che danno luogo ad altre sostanze non tossiche, può essere restituito all'oceano o può andare ad accumularsi nei tessuti degli organismi viventi; ogni passaggio comporta un certo ritardo di tempo. Tutti questi possibili 'cammini' del DDT sono stati analizzati mediante il calcolatore: i risultati di questo studio sono riassunti nella FIG. 21. Il tasso di applicazione corrisponde, per il periodo 1940-70, a quello che è stato l'effettivo impiego nel mondo; a partire dal 1970, si suppone che l'impiego del DDT diminuisca gradualmente fino ad annullarsi nell'anno

TAB. V - RISULTATI DI ALCUNI RILEVAMENTI DELLA CONCENTRAZIONE MEDIA DI DDT NEL CORPO UMANO¹

Popolazione	Anno	Numero di individui esaminati	DDT e suoi derivati tossici presenti nei tessuti grassi (p.p.m.)
USA (Kentucky)	1942	10	0
USA (Georgia, Kentucky, Arizona, Washington)	1961-62	130	12,7
USA (tutti gli stati)	1964	64	7,6
Canada	1959-60	62	4,9
Rep. Fed. Ted.	1958-59	60	2,3
Gran Bretagna	1961-62	131	2,2
Gran Bretagna	1964	100	3,9
Francia	1961	10	5,2
Ungheria	1960	48	12,4
India (Nuova Delhi)	1964	67	26,0
Israele	1963-64	254	19,2
Alaska (eschimesi)	1960	20	3,0

¹ Da uno studio di Hayes W. J. jr., Chief Toxicology Section dell'US Public Health Service, in *Scientific aspects of pest control*, National Academy of Sciences, National Research Council, Publication 1402, Washington D. C. (1966).

2000. Nonostante ciò, ancora per più di 10 anni dopo il 1970 il livello di DDT presente nei pesci continua ad aumentare, a motivo dei ritardi che intercorrono nel ciclo visto prima, e solo nel 1995 ritorna al valore che aveva nel 1970: bisogna quindi aspettare ben 25 anni prima di rilevare un'effettiva diminuzione.

Ogniqualevolta si rileva un ritardo tra il momento dell'emissione di una sostanza inquinante e quello del suo manifestarsi in qualche forma nociva, sappiamo che vi sarà un analogo ritardo tra il momento in cui si instaura un controllo e quello in cui gli effetti nocivi cominciano a diminuire. In altre parole, ogni metodo di controllo dell'inquinamento che venga istituito solo quando sia stato rilevato qualche danno ci garantisce, con ogni probabilità, che la situazione subirà ulteriori gravi peggioramenti prima di mostrare qualche segno di miglioramento.

Sistemi di questo genere sono estremamente difficili da tenere sotto controllo, perché richiedono di agire in base alla previsione di conseguenze assai lontane nel futuro.

Distribuzione globale degli agenti inquinanti. Attualmente l'inquina-

mento rappresenta un problema solo per i paesi più sviluppati, e tuttavia la maggior parte degli agenti inquinanti presenta la caratteristica di distribuirsi, a lungo andare, su tutta la superficie del globo. Ad esempio, nei ghiacciai della Groenlandia il contenuto di piombo è cresciuto del 300% dal 1940 a oggi (FIG. 22), e certamente la Groenlandia è assai lontana da qualsiasi fonte di inquinamento atmosferico da piombo; il DDT si è accumulato nei tessuti grassi degli abitanti di tutti i paesi della Terra, dei cittadini di Nuova Delhi come degli eschimesi dell'Alaska (TAB. V).

Limiti dell'inquinamento. Non è facile valutare esattamente il tasso di crescita della curva esponenziale relativa all'emissione totale di sostanze inquinanti, giacché questa è una complessa funzione della popolazione, dell'industrializzazione, di particolari sviluppi della tecnologia. Possiamo stimare che, se ognuno dei 7 miliardi di abitanti della Terra nell'anno 2000 disponesse di un PNL pro capite pari a quello di cui godono oggi gli abitanti degli USA, l'inquinamento assumerebbe un valore pari ad almeno 10 volte quello attuale. Non sappiamo però se la Terra sarebbe in grado di sopportare una perturbazione di questa portata: v'è anzi chi ritiene che la degradazione dell'ambiente sia già arrivata a un punto tale da provocare danni irreparabili a estesi sistemi naturali, e ciò è certamente vero per molte zone, a livello locale. In ogni caso, anche se non conosciamo il limite superiore che la natura impone all'inquinamento, specialmente se dovuto all'azione simultanea di agenti diversi, sappiamo che un limite esiste. Esso è stato già superato in molte zone; la maniera più sicura di raggiungerlo a livello globale consiste nel lasciare che tanto la popolazione quanto l'azione inquinante di ciascun individuo continuino ad aumentare esponenzialmente.

Nel campo della salvaguardia dell'ambiente, prendere delle decisioni è altrettanto difficile quanto nel settore agricolo o in quello riguardante le risorse naturali. Normalmente, i vantaggi derivanti dalle attività che provocano inquinamento si presentano molto distanziati, nel tempo e nello spazio, dai costi; prendere delle decisioni ragionevolmente fondate richiede quindi di considerare entrambi questi fattori, spazio e tempo. Se i rifiuti vengono scaricati a monte, chi ne subirà le conseguenze a valle? Se oggi si fa largo uso di anticrittogamici a base di mercurio, quando, dove e in quale misura il mercurio si manifesterà nei pesci? Se si stabilisce di insediare in aree isolate le industrie che hanno azione inquinante, dove saranno finiti i prodotti di rifiuto tra 10 o 20 anni?

Futuri progressi della tecnologia potranno forse consentire l'espansione industriale e insieme una diminuzione dell'inquinamento, ma solo a costi rilevanti. Per ripulire parzialmente l'atmosfera e le acque e per eliminare i rifiuti solidi, il Council on Environmental Quality

ha calcolato, per il solo territorio degli USA, una spesa di 105 miliardi di dollari (di cui il 42% dovrebbe essere pagato dall'industria) nel periodo 1971-75.

Un paese può decidere di posporre il pagamento di tali costi per incrementare al massimo il presente tasso di sviluppo del proprio sistema industriale, ma solo a spese di una futura degradazione dell'ambiente, a cui sarà estremamente costoso porre rimedio.

Un mondo finito

Come si è visto, il problema della produzione di alimenti, quello del consumo di materie prime, quello della crescita dell'inquinamento e della sua neutralizzazione, comportano una serie di scelte molto difficili e impegnative: dovrebbe però essere ormai chiaro che tutte queste difficoltà scaturiscono da una sola, semplice circostanza: la Terra ha dimensioni finite. Quanto più una qualsiasi attività umana si approssima ai limiti naturali, oltre i quali la Terra non è più in grado di sostenerla, tanto più manifeste e gravi si fanno tali difficoltà.

Se c'è abbondanza di terre vergini coltivabili, si può avere una popolazione più numerosa e insieme più alimenti per ogni abitante; ma quando tutta la Terra sia ormai sottoposta a sfruttamento, occorre scegliere tra le due alternative, delle quali l'una esclude l'altra.

In generale, si può dire che la società moderna non ha ancora imparato a riconoscere la necessità di simili scelte. A quanto sembra, il sistema mondiale attualmente tende a far crescere tanto il numero di abitanti quanto la disponibilità di cibo, di beni materiali, di aria e acqua pulita per ciascuno di essi; ma, per quanto abbiamo osservato, questa tendenza alla fine porterà a raggiungere uno dei molti limiti naturali della Terra.

Non è possibile anticipare esattamente quale limite verrà raggiunto per primo, e con quali conseguenze, giacché l'umanità potrebbe reagire in molte diverse maniere a una situazione del genere. È possibile, invece, studiare quali condizioni o quali modificazioni del sistema mondiale potrebbero portare la società a scontrarsi con i limiti che pongono un termine alle possibilità di sviluppo in un mondo finito, o a trovare un accomodamento all'interno di essi.

IV

Lo sviluppo nel sistema mondiale

Nel capitolo precedente si sono considerati separatamente alcuni dei principali fattori necessari all'esistenza e allo sviluppo della popolazione e del sistema industriale: alimenti, risorse naturali, assorbimento dell'inquinamento. Per ognuno di tali fattori sono stati riportati alcuni indici relativi al tasso di incremento della domanda e agli eventuali limiti superiori della disponibilità; mediante semplice estrapolazione delle curve di crescita della domanda si è cercato di determinare, in maniera peraltro approssimativa, quanto tempo ancora potrà continuare il processo di sviluppo, assumendo che rimangano invariati gli attuali indici di incremento. Tutto questo allo scopo di verificare una circostanza della quale gli studiosi più attenti sono già consapevoli, e cioè che la brevità del tempo di raddoppiamento di molte attività umane, combinandosi con le enormi dimensioni dei fenomeni interessati, ci porterà a toccare i limiti naturali del processo di sviluppo in un tempo sorprendentemente breve.

L'extrapolazione delle linee di tendenza attuali rappresenta un metodo il più delle volte attendibile per conoscere qualche dato relativo al futuro, specialmente se si tratta di un futuro assai prossimo e se il processo in esame non risente molto dell'influenza di altri processi che si svolgono in altri punti del sistema. Nel nostro caso, nessuno dei cinque fattori considerati separatamente è indipendente dagli altri, e infatti si sono già menzionati alcuni dei legami di interdipendenza. Ad esempio, la popolazione non può crescere senza alimenti, la produzione di alimenti viene stimolata dall'espansione del capitale; ma più capitale richiede più risorse naturali, e queste, una volta eliminate come rifiuti, sono fonte di inquinamento, che interferisce con la crescita tanto della popolazione quanto della produzione di alimenti. Inoltre, considerando

un intervallo di tempo sufficientemente lungo, si può vedere come ciascuno di tali fattori non solo eserciti un'influenza sugli altri, ma retroagisca anche a influenzare sé stesso. Ad esempio, l'indice di incremento della produzione di alimenti negli anni settanta influenzerà in qualche modo il livello della popolazione mondiale degli anni ottanta, e questo a sua volta interverrà a determinare il necessario indice di incremento della produzione di alimenti per molti anni avvenire; l'indice di sfruttamento delle risorse naturali dei prossimi anni è destinato a influenzare tanto le dimensioni della base di capitale che va garantita quanto l'ammontare di risorse rimanenti: a loro volta, queste due grandezze interagiscono, determinando la disponibilità e la domanda futura di risorse naturali.

I cinque fattori fondamentali (popolazione, capitale, alimenti, risorse non rinnovabili, inquinamento) sono collegati da una serie di mutue influenze, e non si può discutere del futuro di uno di essi senza contemporaneamente tenere conto anche degli altri. Tuttavia, anche questo sistema relativamente semplice ha una struttura talmente complicata che non ci si può affidare all'intuizione per valutarne il comportamento futuro o per studiare in quale modo il cambiamento di una variabile si ripercuota sulle altre. In questo capitolo viene descritto il modello formale del mondo che è stato realizzato come primo passo verso la comprensione del complesso sistema mondiale. Esso rappresenta un tentativo di mettere assieme la grande mole di conoscenze riguardanti i rapporti di causa-effetto che intercorrono tra i cinque fattori fondamentali del sistema mondiale.

Fondamenti del modello

Il Club di Roma ha condotto uno studio sui metodi analitico-formali che avrebbero potuto integrare razionalmente le molteplici conoscenze richieste per una qualsiasi valutazione globale dell'attuale situazione del mondo. Nel corso dei convegni tenuti a Berna in Svizzera e a Cambridge nel Massachusetts, USA, nei mesi di giugno e luglio del 1970, si è scelto uno specifico metodo, la dinamica dei sistemi. Esso è il risultato di più di trent'anni di lavoro presso il MIT, lavoro dedicato all'analisi e al controllo del comportamento dei sistemi complessi. Da una prima applicazione a sistemi meccanici relativamente semplici, la dinamica dei sistemi è andata in seguito perfezionandosi sino a fornire un unico schema in grado di individuare il comportamento di tutti i sistemi elettronici, chimici, biologici e sociali i cui singoli elementi, interagendo tra loro nel tempo, provocano modificazioni nel sistema.

Lo studio dei servomeccanismi condotto presso il MIT ha confermato,

all'inizio degli anni quaranta, che ritardi temporali, amplificazioni e relazioni strutturali tra gli elementi di un sistema possono essere più importanti delle stesse componenti singolarmente prese nel determinare il funzionamento di un sistema composito. Per esprimere la relazione tra struttura e comportamento vennero introdotti i concetti di controllo e di retroazione dell'informazione. Tentativi più recenti volti alla progettazione di sistemi di controllo automatici autoregolatori hanno esteso tali concetti, fino a dimostrare che essi presiedono al comportamento di tutti i sistemi. L'applicazione del metodo ai problemi industriali (dinamica industriale) ha portato a fissare l'attenzione sulla natura della attività decisionale, in considerazione dei possibili vantaggi che, sotto il profilo concorrenziale, le organizzazioni di ampie dimensioni possono ricavare dalla elaborazione automatica dei dati e delle decisioni quotidiane. Una ricerca condotta sin dal 1950 suggerisce che le componenti significative del processo decisionale non sono completamente 'libere', bensì fortemente condizionate dall'informazione presente nell'ambiente. I progressi compiuti in questo campo sono tali da consentire ora di costruire modelli della struttura fondamentale dell'attività decisionale.

Non è ancora possibile ottenere soluzioni analitiche generali per modelli realistici di sistemi altrettanto complessi quanto quelli riscontrabili nella sfera sociale; l'alternativa è costituita dall'approccio sperimentale basato su modelli quantitativi del sistema. Innanzitutto si costruisce un modello matematico del sistema sociale: tale modello non è altro che una descrizione dettagliata dei processi decisionali nel sistema, indicante in che modo le condizioni che sussistono in un determinato istante conducono ad altre condizioni in istanti successivi. Viene quindi osservato il comportamento del modello e vengono condotti esperimenti per rispondere a specifiche domande relative al sistema rappresentato dal modello: 'simulazione' è il nome che generalmente si dà a questo procedimento, consistente nel condurre esperimenti sul modello anziché sul sistema reale, per cercare di comprendere, in modo empirico, in che misura le modificazioni alternativamente possibili nel sistema sono associate a differenti tipi di comportamento nel tempo. L'approccio simulativo, elemento fondamentale della metodologia della dinamica dei sistemi, è stato elaborato presso il MIT agli inizi degli anni cinquanta, allorché gli ingegneri si trovarono ad analizzare sistemi troppo complessi per potere essere risolti in termini analitici.

Il cospicuo numero di calcoli necessari per seguire il comportamento nel tempo di uno specifico sistema è divenuto economicamente accessibile grazie all'impiego del calcolatore elettronico numerico. Negli ultimi quindici anni, il costo dei calcoli matematici è diminuito secondo il rapporto 1:10⁴; tale riduzione crea delle condizioni completamente differenti

per la ricerca. I calcolatori sono diventati così largamente disponibili e il costo del calcolo e della programmazione è ora così basso, rispetto agli altri costi, che le precedenti difficoltà per realizzare uno studio di simulazione non determinano più la velocità con cui progredisce la comprensione del comportamento del sistema in esame.

Struttura del modello

Secondo la teoria della dinamica dei sistemi, tutti i sistemi che subiscono modificazioni nel tempo possono essere rappresentati mediante due tipi di variabili: 'livelli' e 'indici di variazione', che sono quindi necessari e sufficienti a descrivere qualsiasi sistema. I livelli sono le variabili di stato che caratterizzano il sistema in ogni istante: il comportamento del modello dipende dalla quantità presente in ciascun livello. Gli indici di variazione sono le variabili, dipendenti da interventi esterni o dal funzionamento del sistema, che agiscono sui livelli controllando i flussi entranti o uscenti.

Ogni livello risulta da un processo di accumulazione determinato dal flusso entrante e uscente; in termini matematici, è il risultato di un'integrazione. Il flusso in entrata o in uscita è controllato da un indice di variazione, che sintetizza tutti i fattori (biologici, politici, sociali, economici o di altro genere) che intervengono a modificare quel certo livello, per cui gli indici hanno in genere espressione complessa.

In definitiva, i livelli cambiano solo per azione degli indici di variazione, e reciprocamente gli indici dipendono solo dai livelli del sistema (e non da altri indici), attraverso una rete di 'informazioni' rappresentata mediante linee d'influenza e altri simboli che stanno a indicare le componenti di un indice che sono sufficientemente importanti da meritare di essere descritte separatamente, e quindi vengono algebricamente distinte. Le linee d'influenza congiungono gli elementi tra i quali esiste un legame, e il senso in cui si esercita tale influenza è indicato dal verso della freccia.

Il concetto più importante posto a fondamento della struttura di ogni sistema è quello di 'anello di retroazione': ogniqualvolta una modificazione in un livello viene ricondotta, attraverso una serie più o meno estesa di influenze, al punto di partenza, formando in tal modo un circuito chiuso, si determina un anello di retroazione. È sbagliato pensare, come si fa di solito, al processo causa-effetto come se si svolgesse a senso unico, e non basta dire che l'azione A produce il risultato B: quest'ultimo rappresenta una nuova condizione del sistema, che modifica ogni futura influenza su A. L'anello va percorso seguendo il verso della freccia lungo le linee d'influenza, mentre non occorre rispettare il verso della freccia

lungo le linee di flusso. Un anello di retroazione può essere positivo o negativo, a seconda che una modificazione di livello, ripercuotendosi attraverso i vari elementi, eserciti sull'elemento di partenza un'influenza concorde o antagonista rispetto alla modificazione che l'ha originata.

L'elaborazione del modello è avvenuta secondo il seguente criterio.

1) Si sono innanzitutto elencate le principali relazioni causali tra i cinque fattori assunti come fondamentali e si è abbozzata la struttura degli anelli di retroazione. Ciò ha richiesto la consultazione di una vasta letteratura e il ricorso a esperti delle discipline più diverse: dalla demografia all'economia, all'agronomia, alla scienza dell'alimentazione, alla geologia, all'ecologia. L'obiettivo di questo primo passo era quello di trovare la struttura fondamentale in grado di comprendere le più importanti interazioni tra i cinque livelli, lasciando nello stesso tempo la possibilità di aggiungere i risultati di ulteriori elaborazioni, frutto di successivi approfondimenti.

2) Ogni relazione è stata tradotta in termini quantitativi con la massima accuratezza possibile, servendosi di dati globali, o di dati locali ritenuti significativi, qualora quelli globali non fossero disponibili.

3) Mediante il calcolatore, si è seguito nel tempo lo svolgimento simultaneo di tutte queste relazioni. Successivamente si è studiato l'effetto della variazione di alcuni parametri delle ipotesi di fondo, per determinare quali grandezze provocano il comportamento più critico del sistema.

Questi quattro punti non sono stati seguiti sempre secondo l'ordine esposto, giacché spesso l'acquisizione di qualche nuova cognizione ci ha costretto a tornare indietro per correggere la struttura fondamentale degli anelli. Non esiste infatti un modello rigido del mondo, ma un modello in evoluzione, suscettibile di continue correzioni e aggiornamenti man mano che le nostre conoscenze si approfondiscono.

Finalità del modello

Questo primo modello del mondo è stato realizzato per studiare il più generale comportamento del sistema popolazione-capitale. Per comportamento intendiamo qui la tendenza delle grandezze del sistema ad assumere valori diversi nel tempo: una grandezza può aumentare, diminuire, mantenersi costante, oscillare attorno a un certo valore o evolvere secondo una combinazione di questi andamenti semplici. Ad esempio, una popolazione che si moltiplica all'interno di un ambiente limitato è destinata a raggiungere il 'tetto' rappresentato dalla capacità dell'ambiente di contenere un numero massimo di individui, ma può farlo in maniere diverse (FIG. 23): può tendere asintoticamente a raggiungere una condizione di equilibrio al di sotto di tale valore limite,

grazie a una graduale diminuzione dell'indice di crescita; può superare temporaneamente il valore limite e poi riportarsi al di sotto con delle oscillazioni smorzate, o con una sola oscillazione; ovvero può oltrepassarlo provocando nel contempo un abbassamento di tale valore limite a causa dell'esaurimento di alcune risorse fondamentali non rinnovabili, secondo un processo che è stato riscontrato in molti sistemi naturali:

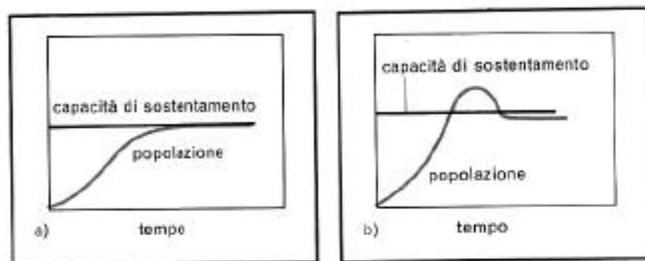
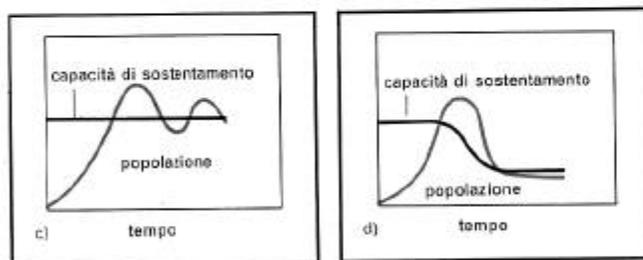


Fig.23 Crescita della popolazione in un ambiente limitato. L'adeguamento alle capacità di sostentamento dell'ambiente può avvenire in modi diversi. Esso può risultare da una graduale diminuzione del tasso di crescita (a), o da oscillazioni che portano a superare temporaneamente il limite di sostentamento per poi riportarsi al di sotto di esso (b, c), a volte provocandone un irreversibile abbassamento (d) rispetto al valore iniziale in seguito all'esaurirsi di alcune risorse non rinnovabili.



ad esempio, i cervi e le capre, in assenza di nemici naturali, spesso sottopongono i pascoli a tale sfruttamento da provocare l'erosione della terra o la distruzione della vegetazione.

La realizzazione di questo modello di simulazione del mondo ha tra gli scopi principali quello di determinare secondo quale di questi andamenti evolverà il sistema mondiale, se arriverà a toccare i confini naturali che limitano superiormente il processo di sviluppo. Va esplicitamente notato come tale studio sia una 'predizione' solo in senso assai ristretto. I diagrammi che verranno illustrati più avanti riportano i valori delle grandezze in esame (popolazione mondiale, capitale, ecc.) per un inter-

vallo di tempo che si estende dal 1900 al 2100: questo non vuol dire però che in un certo anno futuro tali grandezze assumeranno proprio il valore indicato dai diagrammi, i quali valgono solamente per indicare le tendenze di fondo del sistema.

Per chiarire con un esempio, consideriamo una palla che viene scagliata verso l'alto: possiamo affermare con sicurezza che essa continuerà a salire con velocità decrescente e a un certo punto si fermerà, per poi invertire la direzione e cominciare a scendere con velocità crescente, fino a toccare terra. Sappiamo cioè che essa non potrà continuare a salire indefinitamente, né potrà entrare in orbita attorno alla Terra o compiere una serie di giri nell'aria prima di ricadere. Se però volessimo predire esattamente l'altezza massima alla quale arriverà, o il punto in cui toccherà terra, e il momento, dovremmo eseguire dei calcoli accurati per i quali ci occorrerebbero alcuni dati, quali le dimensioni della palla, l'altezza alla quale ci troviamo sul livello del mare, la forza del vento, la spinta iniziale impressa alla palla.

Allo stesso modo, il modello da noi elaborato consente di prevedere il comportamento più generale del sistema mondiale, ma se noi volessimo predire il numero degli abitanti della Terra nell'anno 1993 con buona approssimazione, dovremmo realizzare un modello molto più complicato, e avremmo bisogno di nozioni sul sistema mondiale molto più precise e più vaste di quelle attualmente disponibili.

Con queste premesse, è evidente allora che non è necessario che questo primo modello del mondo sia estremamente dettagliato. La popolazione di cui si segue l'evoluzione è tale da rispecchiare statisticamente le caratteristiche medie di tutti i popoli della Terra. L'inquinamento è dovuto, nel modello, ad agenti di un certo tipo - le sostanze inquinanti a lungo periodo di degradazione, quali il piombo, il mercurio, l'amianto e gli insetticidi o i radioisotopi stabili - che sono ormai distribuiti ovunque e di cui si comincia a comprendere la dinamica nell'ambito del sistema naturale. Le riserve di risorse naturali non rinnovabili a cui si fa riferimento sono quelle di una materia prima tipo, che evolve secondo un certo andamento temporale valevole per tutte le materie prime, anche se sappiamo che ognuna segue tale andamento a partire da un certo livello e in base a certi indici che le sono propri.

Un così alto grado di aggregazione si rende necessario, a questo punto, per rendere il modello comprensibile; nello stesso tempo, esso limita le informazioni che possiamo aspettarci di ricavare dal modello. Le questioni di dettaglio non possono avere risposta, per il semplice fatto che il modello non è ancora molto dettagliato.

Non figurano nel modello le suddivisioni nazionali, e non risulta esplicitamente dai calcoli o dai diagrammi l'ineguale distribuzione degli



alimenti, delle materie prime, del capitale, che però è implicitamente contenuta nei dati.

Ancora, non vengono specificatamente considerati i flussi migratori, i commerci mondiali, le condizioni climatiche, i processi politici. Altri modelli possono, come noi speriamo, essere realizzati per analizzare il comportamento di questi importanti sottosistemi.

Quindi, in termini di predizioni esatte, le indicazioni fornite da un modello talmente generale non sono significative: noi non possiamo prevedere quale sarà la totale produzione mondiale di alimenti, o l'esatta popolazione degli USA, o il PNL del Brasile, nell'anno 2015. I dati con cui dobbiamo lavorare non sono certo sufficienti per arrivare a tali previsioni, anche se questo fosse il nostro scopo. D'altra parte, è di vitale importanza ricavarne qualche elemento che aiuti a comprendere le cause dello sviluppo nella società umana, i limiti di tale sviluppo, il comportamento dei sistemi socioeconomici allorché questi limiti vengono raggiunti. A questo riguardo, ad esempio, si ignora attualmente se la popolazione umana continuerà a crescere, o subirà un graduale livellamento, o un collasso, o una serie di oscillazioni attorno a un valore superiore. È nostra opinione che il modello globale del mondo rappresenti una via verso la soluzione di tali dubbi; esso utilizza le relazioni fondamentali che intercorrono tra popolazione, alimenti, investimenti, deprezzamento, risorse, produzione, relazioni che sono le stesse in una qualsiasi parte della collettività umana o nella società nel suo complesso. In effetti, come si è detto nell'introduzione, è vantaggioso considerare tali problemi secondo le più ampie prospettive di spazio e di tempo; una volta che siano stati compresi i limiti globali e i generali modi di comportamento, potranno essere apprezzate con molto maggiore

chiarezza le questioni di dettaglio relative ai singoli paesi e alle forze agenti a breve termine.

Struttura dell'anello di retroazione

In FIG. 24 vengono riprodotti, secondo il simbolismo formale della dinamica dei sistemi, riassunto nella tavola, gli anelli di retroazione che schematizzano il processo di sviluppo della popolazione e del capitale. Come si è già detto, ogni anno il livello di popolazione aumenta in ragione del numero totale di nascite e diminuisce in ragione del numero totale di morti che si sono avute quell'anno. Il numero totale annuo di nascite è funzione della fecondità media della popolazione e del nu-

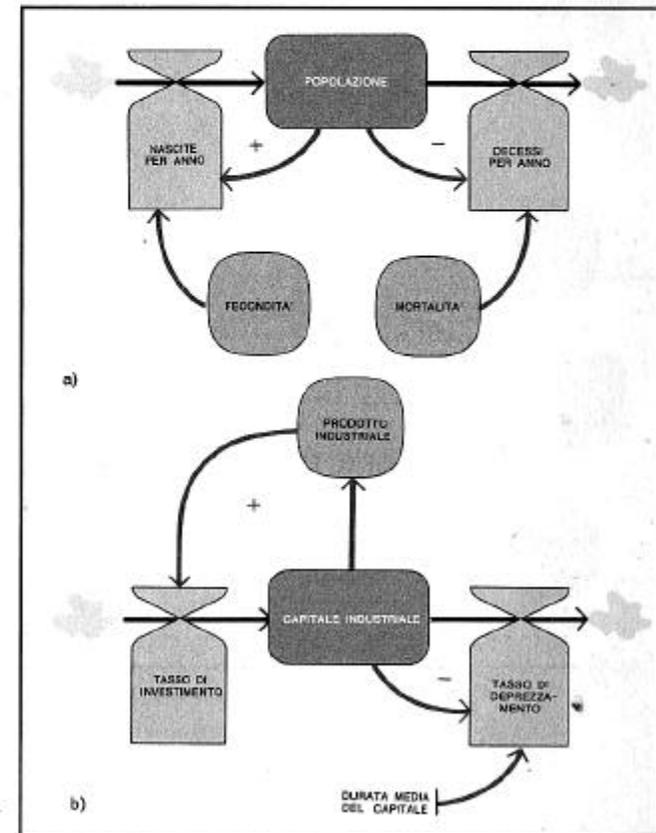


Fig.24 Rappresentazione della crescita della popolazione (a) e del capitale industriale (b) secondo il simbolismo formale della dinamica dei sistemi.

mero di individui di cui essa è costituita; analogamente, il numero di morti è funzione della mortalità media e del numero di individui. La popolazione quindi cresce nella misura in cui le nascite superano le morti. Analogamente, un certo ammontare di capitale, impiegato con rendimento costante, darà luogo a una certa produzione annua; una frazione di tale produzione si traduce in macchine, fabbricati industriali, ecc., cioè investimenti che vanno ad accrescere lo stock di capitale; contemporaneamente, ogni anno una certa frazione del capitale indu-

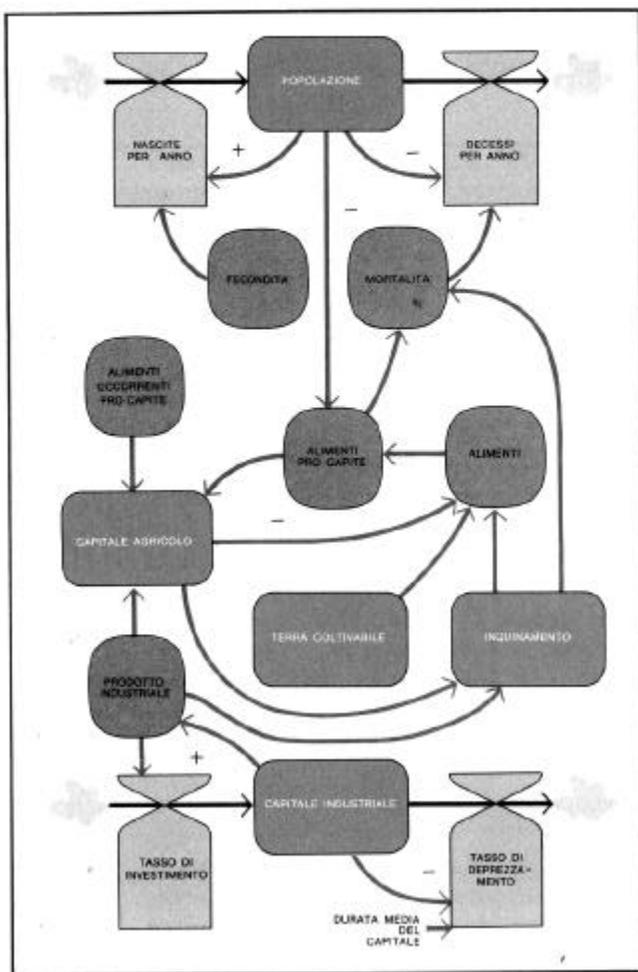


Fig.25 Diagramma di flusso parziale del sistema popolazione-capitale industriale nel quale risultano evidenziati alcuni dei molti legami d'influenza.

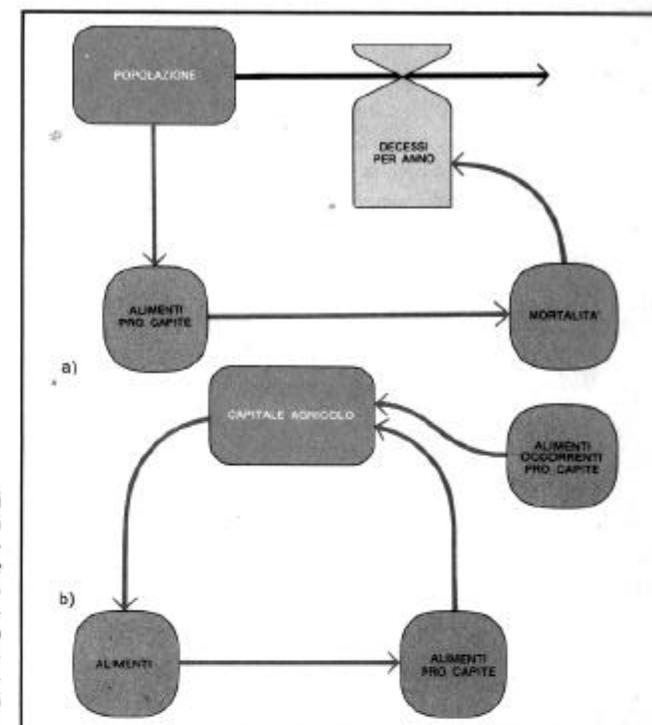


Fig.26 Esempi di anelli di retroazione negativa che si influenzano reciprocamente attraverso l'elemento comune 'alimenti pro capite'. L'anello a) tende a stabilizzare il livello di popolazione. L'anello b) ha invece l'effetto di ripristinare il valore della razione alimentare pro capite e quindi contrasta l'azione dell'anello a).

striale subisce un deprezzamento o viene messa fuori uso. Perché il capitale industriale si mantenga crescente, il tasso d'investimento deve essere superiore al tasso di deprezzamento.

In tutti i diagrammi di flusso, le linee munite di freccia indicano semplicemente l'esistenza di un legame d'influenza tra le due variabili collegate, senza specificare la natura o l'intensità di tale influenza, che invece vanno precisate nelle equazioni del modello. Inoltre, per semplicità di solito non vengono messi in evidenza i ritardi che caratterizzano molte di queste relazioni causali; ma anche tali ritardi sono esplicitamente inclusi nei calcoli del modello.

La FIG. 25 illustra alcuni dei molti legami d'influenza esistenti tra popolazione e capitale. Una parte della produzione industriale è indicata come capitale agricolo: cioè compare sotto forma, ad esempio, di trattori, canali d'irrigazione, fertilizzanti. L'ammontare di tale capitale agricolo, insieme con la superficie di terra coltivata, influenza fortemente la produzione di alimenti; a sua volta, la razione di alimenti pro

capite (pari agli alimenti prodotti divisi per la popolazione totale) influenza la mortalità.

Le attività agricole e industriali possono provocare inquinamento; nel caso dell'agricoltura, la causa sono i residui di insetticidi, l'eccesso di fertilizzanti che dà origine al fenomeno dell'eutrofizzazione, i depositi salini dovuti a non corretta irrigazione. L'inquinamento a sua volta può influenzare la mortalità della popolazione, sia direttamente sia indirettamente, provocando una sensibile diminuzione della produzione agricola e quindi degli alimenti.

Nello schema di FIG. 25 compaiono diversi anelli di retroazione: ad esempio, ferme restando tutte le altre condizioni, un incremento del livello di popolazione fa diminuire la razione di alimenti pro capite: per conseguenza aumenta la mortalità, aumenta il numero di morti e quindi il livello di popolazione diminuisce. Si tratta in questo caso di un anello a retroazione negativa (FIG. 26a). Un altro anello negativo tende però a contrastarne gli effetti: infatti, allorché la razione di alimenti pro capite scende al di sotto del valore desiderato, si genera una spinta all'aumento del capitale agricolo per incrementare la produzione futura di alimenti, facendo quindi risalire il valore della razione alimentare pro capite (FIG. 26b).

Altre importanti relazioni tra gli elementi del modello mondiale sono illustrate in FIG. 27. Nell'espressione 'prodotto industriale' sono compresi anche quei beni che andranno a costituire il capitale investito nel settore servizi: case, scuole, ospedali, banche, e le relative attrezzature. Il valore medio dei servizi pro capite è dato dal rapporto tra la produzione del settore servizi e il numero totale di individui; questo valore interviene a determinare l'entità dei servizi sanitari, e per questa via influenza la mortalità della popolazione. Inoltre, nell'espressione 'servizi' sono comprese anche l'istruzione e la ricerca sui metodi di controllo delle nascite, nonché la distribuzione delle nozioni e degli strumenti occorrenti per attuare tale controllo: in questo modo, si stabilisce un legame tra servizi pro capite e fecondità. Anche una variazione del prodotto industriale pro capite modifica molti fattori sociali che influenzano la fecondità, di solito dopo un intervallo di tempo piuttosto lungo.

Ogni unità di prodotto industriale consuma una frazione delle riserve di materie prime non rinnovabili; ma via via che queste riserve si impoveriscono, per estrarre dalla terra lo stesso quantitativo di materie prime occorre un ammontare sempre crescente di capitale, e così il rendimento del capitale diminuisce (il che vuol dire che occorre un capitale maggiore per dare origine a un certo quantitativo di prodotti finiti).

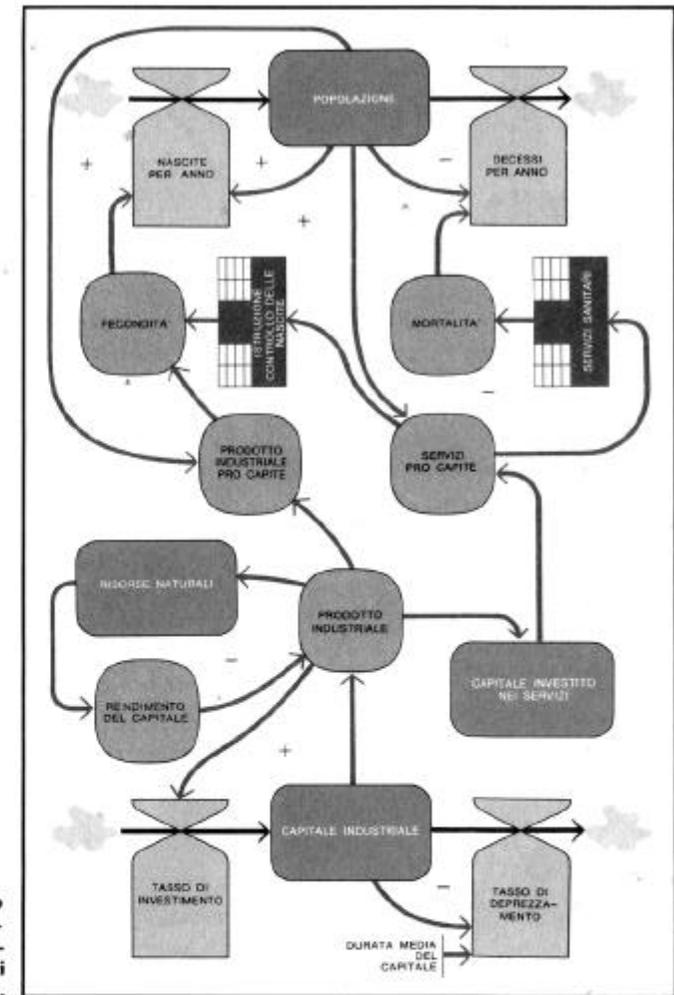


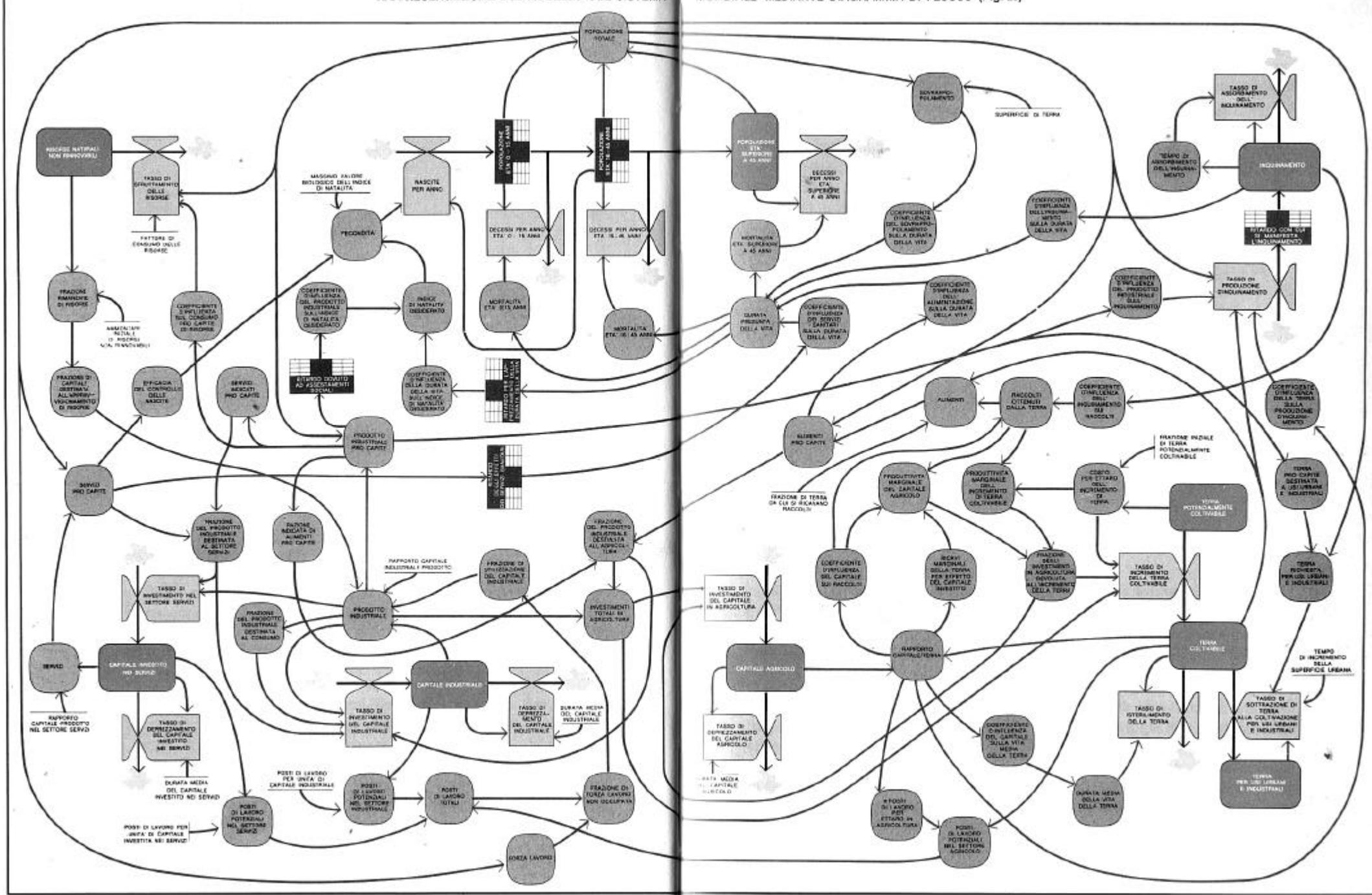
Fig.27 Diagramma di flusso parziale del sistema popolazione-capitale nel quale compaiono ulteriori anelli e legami d'influenza rispetto alla Fig. 25.

Oltre agli elementi visti negli anelli delle FIGG. 25, 27, per definire il completo diagramma di flusso del modello mondiale sono necessari altri fattori, quali la superficie di terra coltivata e il ritmo con il quale essa viene resa produttiva o depauperata, la velocità di neutralizzazione delle sostanze inquinanti da parte dell'ambiente naturale, il bilancio tra forza lavoro e posti di lavoro disponibili.

Il completo diagramma di flusso del modello mondiale è in FIG. 28.

RAPPRESENTAZIONE DEL MODELLO DEL SISTEMA

MONDIALE MEDIANTE DIAGRAMMA DI FLUSSO (Fig. 28)

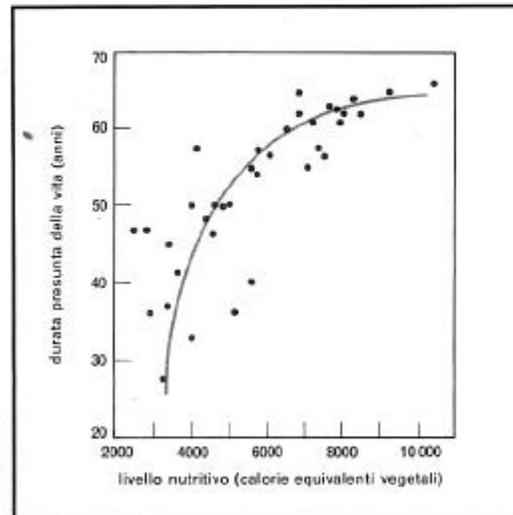


Ipotesi quantitative

Ognuna delle linee orientate che collegano i vari simboli di FIG. 28 rappresenta una relazione generale del sistema popolazione-capitale, relazione di cui sappiamo che è almeno potenzialmente importante. La struttura nel suo insieme è sufficientemente generale da potere rappresentare anche il sistema costituito da una singola nazione, o una singola città (con l'aggiunta delle correnti di traffico e dei flussi migratori attraverso i confini). Ovviamente, perché il modello possa essere riferito a una singola nazione, le varie relazioni devono contenere i valori numerici caratteristici di quella nazione; se si vuole invece che esso rappresenti il sistema mondiale, bisogna introdurre i valori medi valutati su scala mondiale.

La maggior parte delle relazioni causali indicate ha andamento non

Fig.29 Livello nutritivo e durata presunta della vita. Ogni punto del diagramma corrisponde al valore medio di un determinato paese, nel 1953.

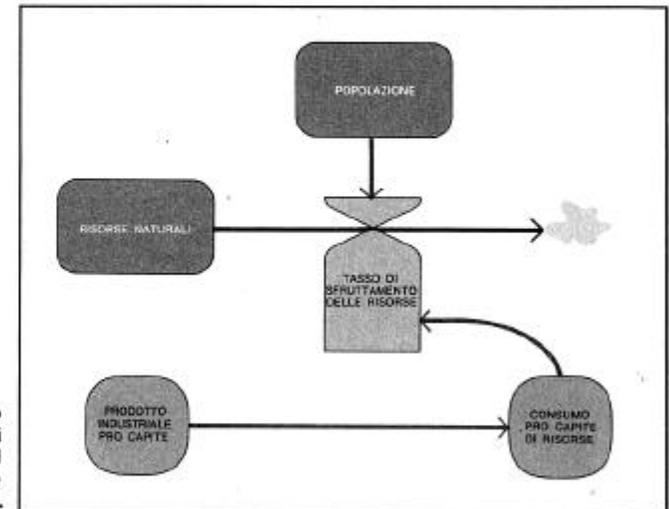


lineare, il che vuol dire che un certo cambiamento di una variabile (ad esempio, un incremento del 100% della razione alimentare pro capite) può avere effetti completamente differenti (ad esempio, sulla durata media della vita) a seconda del punto in cui il cambiamento si è verificato, all'interno del campo di variabilità. In altre parole, se un incremento del 10% della razione alimentare pro capite fa aumentare la durata media della vita di 10 anni, non è detto che un incremento

del 20% la faccia aumentare di 20 anni: il legame tra razione alimentare pro capite e durata media della vita non è lineare, come mostra la FIG. 29. E infatti, quando la disponibilità di alimenti è bassa, un piccolo incremento della razione media pro capite può determinare un sensibile allungamento della durata prevista della vita, mentre se la disponibilità di alimenti è già buona, ogni ulteriore incremento avrà effetto trascurabile o nullo. Relazioni non lineari di questo tipo sono state introdotte direttamente nel modello.

Il nostro attuale grado di conoscenza delle relazioni causali che figurano nel modello del sistema mondiale si colloca a metà tra gli estremi dell'ignoranza totale e della perfetta padronanza: cioè, noi sappiamo qualcosa circa la direzione e l'intensità di tali effetti causali, ma raramente disponiamo di informazioni complete e precise su essi. A titolo di chiarimento, consideriamo tre esempi di tali relazioni causali:

Fig.30 Diagramma di flusso parziale relativo agli elementi che esercitano un'influenza sul consumo pro capite di risorse naturali nel sistema mondiale.



l'una tra grandezze di tipo economico, relativamente ben conosciute, l'altra tra variabili socio-psicologiche, che sono difficili da esprimere in forma quantitativa per quanto ormai piuttosto ben studiate, l'ultima infine tra variabili biologiche, che sono a tutt'oggi ancora quasi completamente sconosciute.

Questi tre esempi non costituiscono affatto una descrizione completa del modello mondiale, ma vengono riportati per illustrare il procedimen-

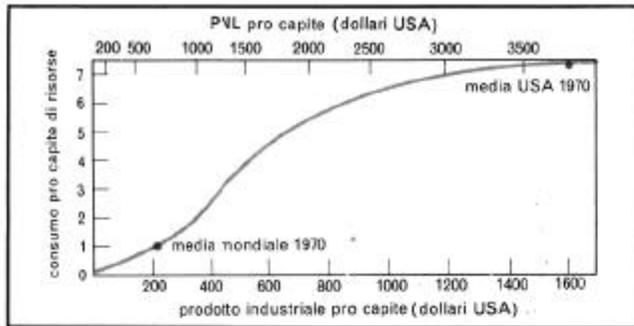


Fig.31 Andamento del consumo di risorse naturali nel mondo col progredire dell'industrializzazione (media mondiale riferita al 1970 = 1).

to seguito sia nell'elaborarlo sia nel tradurlo in termini quantitativi.
Consumo pro capite delle risorse naturali. L'ammontare di risorse naturali consumato ogni anno (FIG. 30) può essere calcolato moltiplicando per il numero totale di abitanti il valore dell'indice di consumo pro capite; quest'ultimo non è costante poiché crescendo il grado di benessere di una popolazione aumenta il consumo annuo di risorse per abitante.

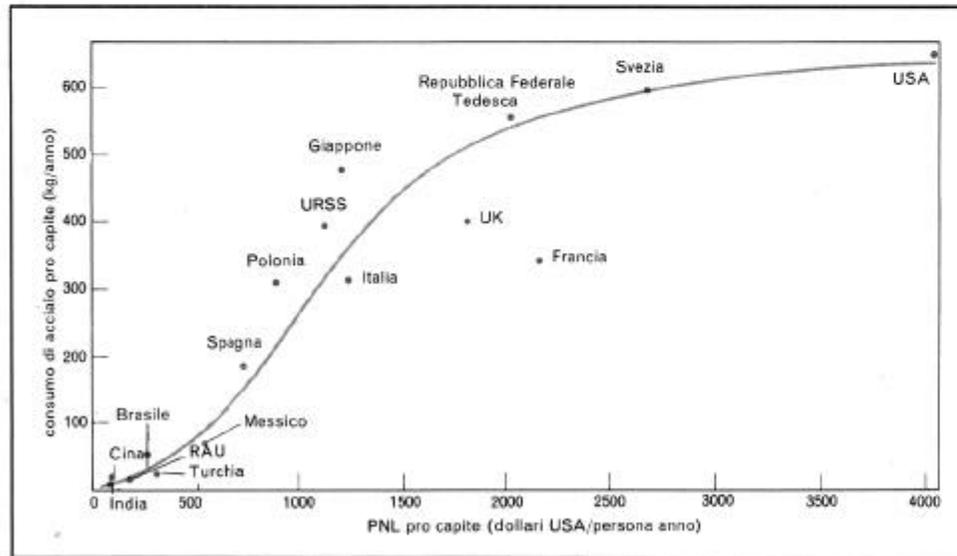


Fig.32 Consumo di acciaio pro capite e PNL. L'andamento del consumo pro capite dell'acciaio, un indice particolarmente significativo del livello industriale, è espresso in funzione del PNL pro capite nei vari paesi del mondo (valori riferiti al 1968).

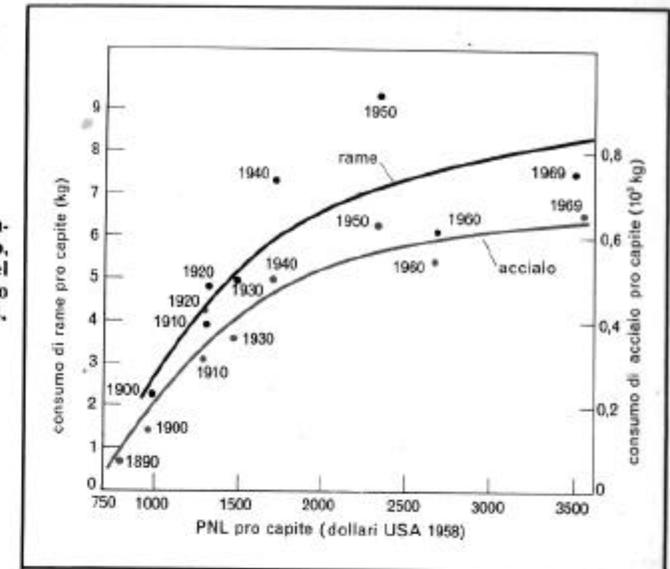


Fig.33 Evoluzione dei consumi di rame e d'acciaio, negli USA, in funzione del PNL pro capite. L'andamento è analogo alla curva di Fig. 32.

La relazione tra grado di benessere (espresso mediante il prodotto industriale pro capite) e consumo di materie prime non è lineare, come si vede dal diagramma di FIG. 31. In tale diagramma il consumo medio pro capite viene espresso in valore relativo, riferito al valore medio mondiale nell'anno 1970, che viene posto uguale a 1. Sapendo che nel 1970 il valore medio mondiale del prodotto industriale pro capite è stato pari a circa 230 dollari, possiamo dire che la curva passerà per il punto corrispondente alla media mondiale 1970. Inoltre, sappiamo che nel 1970 ogni abitante degli USA, con un valore medio del prodotto industriale pro capite pari a circa 1600 dollari, ha consumato un quantitativo di risorse naturali pari a circa sette volte il consumo medio mondiale pro capite. Assumendo allora che il resto del mondo seguirà lo stesso modello di sviluppo economico - e quindi di consumi - degli USA, un altro punto della curva è quello corrispondente alla media USA 1970.

Tale ipotesi appare ampiamente giustificata: confrontando ad esempio i dati relativi al consumo di acciaio nei vari paesi del mondo (FIG. 32), si vede che, a parte qualche piccolo scostamento, l'andamento è sostanzialmente lo stesso, nonostante le differenze di sistema economico-politico. Il diagramma di FIG. 33, che riporta i consumi di rame e di acciaio negli USA, conferma ulteriormente come l'andamento dei

consumi delle varie materie prime presenti sempre il medesimo aspetto. In entrambi i casi, il consumo cresce, dapprima con pendenza accentuata, poi più lentamente, col crescere del reddito medio per individuo, fino a un appiattimento finale della curva, corrispondente alle condizioni in cui la domanda di beni materiali è mediamente soddisfatta, e ogni ulteriore incremento del reddito viene devoluto soprattutto alla produzione di servizi, quindi con minor consumo di materie prime.

La caratteristica curva a forma di S che esprime l'andamento del consumo di materie prime viene inclusa nel modello mondiale per il fatto che rappresenta il processo quale si svolge attualmente; ma tale andamento può essere modificato in qualsiasi momento, negli esperimenti di simulazione, per valutare gli effetti di eventuali interventi correttivi (ad esempio, la riutilizzazione delle materie prime già usate) volti ad aumentare o a diminuire il consumo pro capite di risorse non rinnovabili. Ciò è stato effettivamente fatto, sul modello, e si vedranno più avanti i tracciati di risposta che illustrano i risultati di tali interventi.

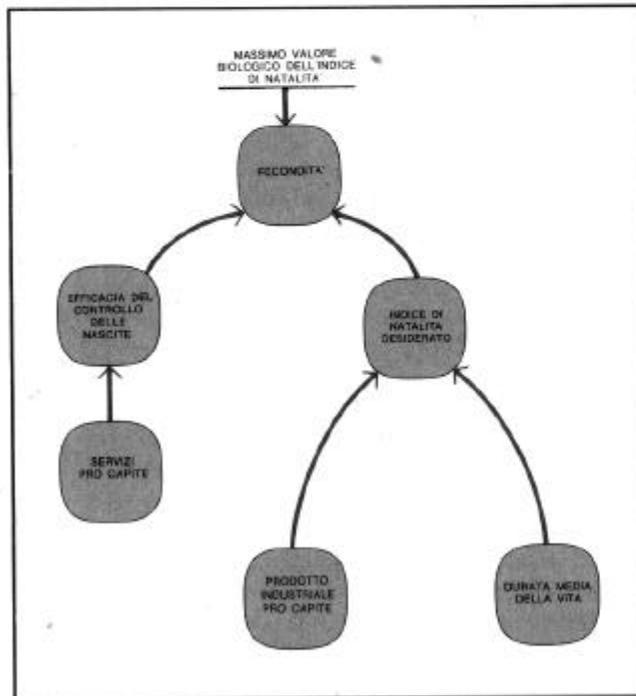


Fig.34 Componenti principali che influenzano la fecondità nel modello mondiale.

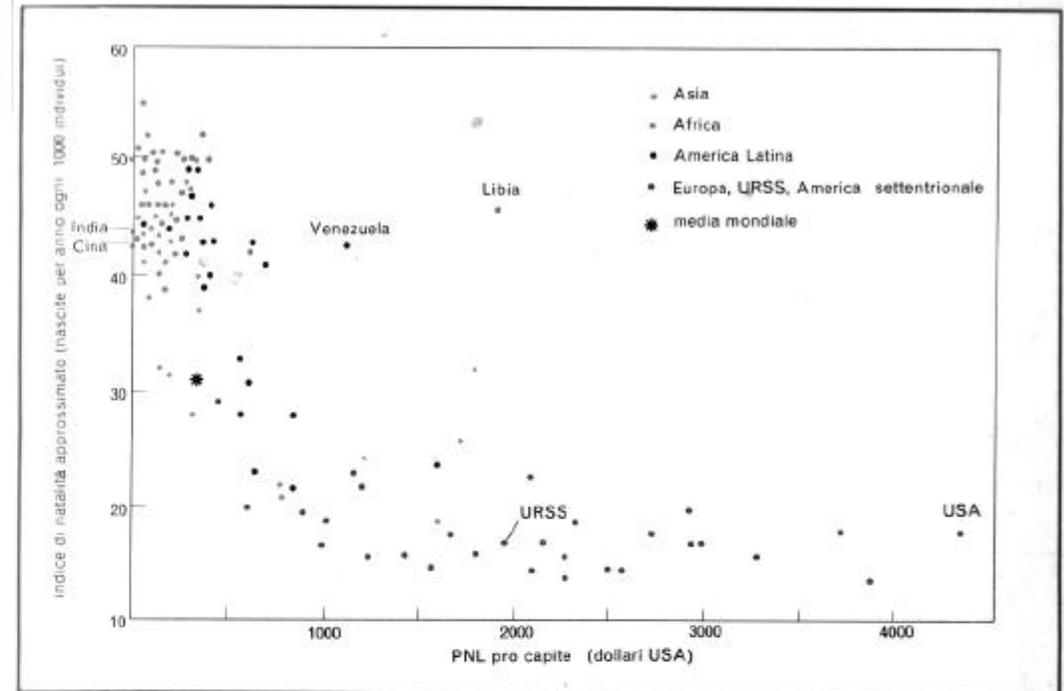


Fig.35 PNL pro capite e indice di natalità medio nei diversi paesi del mondo. Col crescere del PNL l'indice di natalità diminuisce. Venezuela e Libia, esportatori di petrolio, sono un'apparente eccezione per la disuniforme distribuzione del reddito.

Indice di natalità desiderato. Per una popolazione generica, il numero annuo di nati è dato dal prodotto del numero di donne in età feconda per il valore medio della fecondità (numero medio di nascite per donna e per anno). La fecondità può essere influenzata da numerosi fattori, lo studio dei quali costituisce uno dei principali campi d'indagine per i demografi di tutto il mondo. Nel modello mondiale, essa è stata analizzata attraverso tre componenti principali: massimo valore biologico dell'indice di natalità, efficacia del controllo delle nascite, indice di natalità desiderato, secondo lo schema della FIG. 34.

Il massimo valore biologico dell'indice di natalità è determinato dalla frequenza con la quale gli individui di sesso femminile potrebbero mettere al mondo dei nuovi nati, in assenza di qualsiasi pratica di controllo delle nascite; tale valore è biologicamente vincolato, e dipende fondamentalmente dalle generali condizioni sanitarie della popolazione.

L'indice di natalità desiderato corrisponde a una 'perfetta' pianifica-

zione delle nascite, cioè è quello che si rilevarebbe nel caso in cui venissero messi al mondo solo i figli voluti e previsti.

L'efficacia del controllo delle nascite esprime in che misura una popolazione è in grado di conseguire l'indice di natalità desiderato, invece del massimo valore biologico: pertanto il controllo delle nascite va inteso nel senso più ampio, comprendendovi tutti i metodi effettivamente messi in atto per limitare le nascite (aborto, uso di antifecondativi, astinenza sessuale). Naturalmente, perfetto controllo delle nascite non vuol dire fecondità ridotta, giacché, se l'indice di natalità desiderato è alto, anche la fecondità sarà alta. Questi tre fattori sono a loro volta influenzati da altri fattori del sistema mondiale: dalla FIG. 35 si desume come l'industrializzazione potrebbe essere uno dei più importanti fattori che influenzano l'indice di natalità desiderato. La relazione tra indice di natalità approssimato e PNL pro capite presenta, in tutti i paesi del mondo, una sorprendente analogia, indipendentemente dalle differenze di ordine religioso, politico, culturale. Questo non autorizza ad affer-

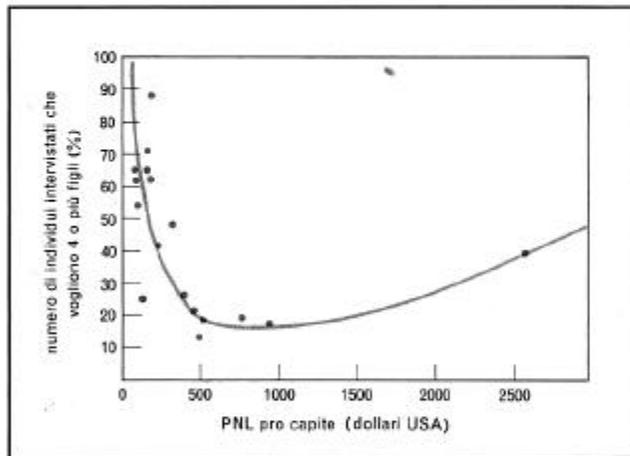


Fig.36 Percentuale di individui, fra quelli intervistati in 17 paesi, che desiderano avere quattro o più figli, in funzione del PNL pro capite. La relazione mostra un andamento analogo a quello di Fig. 35.

mare che un aumento del PNL pro capite provoca direttamente una riduzione dell'indice di natalità; e tuttavia, un incremento dell'industrializzazione comporta una serie di modificazioni nella sfera sociale e dell'istruzione, che in definitiva portano a un abbassamento del tasso di natalità, di solito manifestandosi dopo un ritardo piuttosto lungo.

In quale punto della struttura dell'anello interviene questa relazione tra indice di natalità e PNL pro capite? Sembra evidente che essa

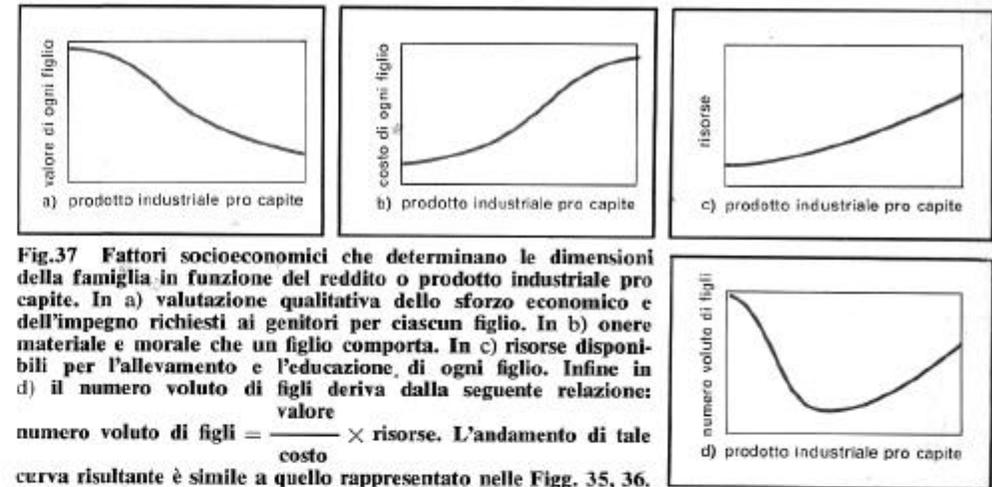


Fig.37 Fattori socioeconomici che determinano le dimensioni della famiglia in funzione del reddito o prodotto industriale pro capite. In a) valutazione qualitativa dello sforzo economico e dell'impegno richiesti ai genitori per ciascun figlio. In b) onere materiale e morale che un figlio comporta. In c) risorse disponibili per l'allevamento e l'educazione di ogni figlio. Infine in d) il numero voluto di figli deriva dalla seguente relazione:
$$\text{numero voluto di figli} = \frac{\text{valore}}{\text{costo}} \times \text{risorse}$$
 L'andamento di tale curva risultante è simile a quello rappresentato nelle Figg. 35, 36.

non opera attraverso il massimo valore biologico dell'indice di natalità, poiché un aumento dell'industrializzazione implica migliori condizioni sanitarie, e questo potrebbe semmai fare aumentare il numero di nascite possibili. D'altra parte, aumenterebbe anche l'efficacia del controllo delle nascite, e questo certamente contribuisce al declino delle nascite stesse.

Noi pensiamo, allora, che un'incremento del PNL influenzi soprattutto il valore dell'indice di natalità desiderato.

Nel diagramma di FIG. 36 sono riportate, in funzione del PNL pro capite, le percentuali degli individui intervistati sulla pianificazione delle famiglie che hanno risposto di desiderare più di quattro figli. L'andamento generale della curva è analogo a quello visto in FIG. 35, a parte il leggero incremento del numero voluto di figli in corrispondenza dei valori di reddito più elevati e di un'elevata sicurezza dei metodi di controllo delle nascite.

L'economista J. J. Spengler ha dato una spiegazione del legame tra indice di natalità voluto e reddito, in termini di cambiamenti economici e sociali che si verificano durante il processo di industrializzazione. Consapevolmente o no, secondo Spengler, in ogni famiglia si confrontano il valore e il costo di ogni figlio in più con le risorse che la famiglia può dedicargli; da tale confronto scaturisce un certo orientamento generale riguardo alle dimensioni della famiglia; come illustrato in FIG. 37, il numero di figli voluto diminuisce al crescere del reddito.

Il 'valore' di un figlio è determinato in primo luogo da considerazioni

strettamente monetarie, quali quelle relative al contributo di lavoro che ogni figlio può dare alle attività della famiglia, o al sostegno che potrà rappresentare per i genitori quando questi abbiano raggiunto la vecchiaia. Con il procedere dell'industrializzazione, il valore potenziale di un figlio in termini monetari si riduce: la legislazione interviene a regolare il lavoro dei minori, si afferma l'obbligatorietà dell'istruzione, si diffonde il sistema delle provvidenze sociali. Ma a formare il 'valore' di un figlio concorrono anche elementi meno materiali: un figlio è oggetto d'amore, è portatore del nome di famiglia, è un erede dei beni familiari e costituisce anche una prova di virilità. Questi elementi rivestono una certa importanza in qualsiasi società, per cui la funzione di remunerazione ha sempre un valore positivo, ma tale importanza si accentua nelle società più povere, in cui non esistono praticamente altre fonti di soddisfazione per l'individuo.

Il 'costo' di un figlio comprende l'effettivo onere finanziario da sostenere per soddisfare i bisogni, il costo corrispondente al tempo che la madre deve dedicargli (e che potrebbe impegnare per attività più redditizie), le accresciute responsabilità e la minore libertà della famiglia tutta. In una società arretrata il costo di ogni nuovo figlio è molto basso, poiché non occorre assegnargli alcuna frazione supplementare di spazio domestico, sono assai dirotti i servizi sanitari e l'istruzione disponibili, e anche le esigenze nutritive e di vestiario sono minime. Le donne sono generalmente prive d'istruzione, per cui il tempo che dedicano ai figli non avrebbe alcun valore economico; infine, la famiglia gode di una libertà molto ridotta per quelle attività che la presenza di un figlio potrebbe ostacolare, e l'estesa struttura familiare consente di fornire al nuovo nato l'assistenza occorrente in caso di necessità, ad esempio, nell'ipotesi che un genitore trovi un lavoro che lo costringe a lasciare la casa. Con il crescere del reddito della famiglia, i figli ricevono più del cibo e del vestiario strettamente necessari: occorre prevedere per ciascuno di essi un'opportuna sistemazione all'interno della casa, assistenza medica, un certo livello di istruzione: tutte cose che in definitiva assorbono una frazione del reddito. Inoltre, viaggi, divertimenti, occupazioni extracasalinghe divengono per la donna inconciliabili con la cura di una famiglia di dimensioni ampie e nello stesso tempo l'industrializzazione tende progressivamente a fare sparire un certo tipo di struttura familiare estesa, per cui diviene sempre più costoso trovare chi si occupi dei figli al posto della madre.

Le risorse che una famiglia deve destinare a un figlio, generalmente, crescono col crescere del reddito; al di sopra di un certo livello, ogni ulteriore incremento del reddito non provoca sensibili variazioni nella curva del valore o in quella del costo; per cui la curva delle risorse

interviene in maniera preponderante a determinare l'indice di natalità desiderato. Accade così che nei paesi più ricchi, ad esempio negli USA, la composizione voluta della famiglia diventi funzione diretta del reddito. Va notato che il termine 'risorse' ha anche un contenuto psicologico, nel senso che, nella pianificazione delle dimensioni della famiglia, il dato relativo al reddito effettivo del momento va modificato per tenere conto delle previsioni di reddito futuro.

Tutti questi fattori di natura sociale compaiono nel modello attraverso

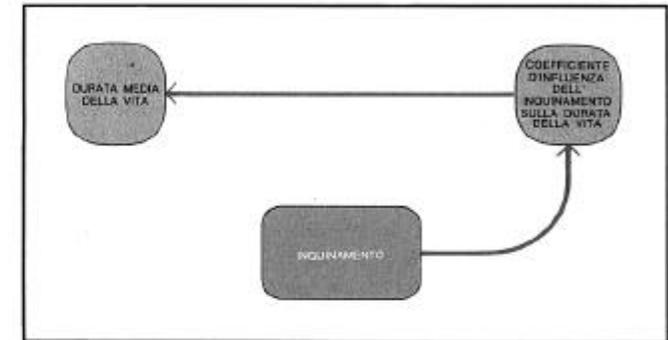


Fig.38 Rappresentazione secondo il simbolismo formale della dinamica dei sistemi della possibile influenza del livello di inquinamento sulla durata media della vita.

il legame tra prodotto industriale pro capite e indice di natalità desiderato; viene interposto anche un elemento di ritardo, giacché la relazione richiede un processo di aggiustamento sociale, che può richiedere anche il tempo di una o due generazioni.

Graficamente, riportando in diagramma orientativo tutte le relazioni discusse, il legame si traduce nell'andamento illustrato dalla curva risultante di FIG. 37, andamento che potrebbe essere modificato da cambiamenti della struttura sociale o da interventi politici. Così come è riportato rispecchia semplicemente il comportamento della società umana quale è stato finora: storicamente, lo sviluppo economico si è accompagnato ovunque con l'abbassamento degli indici di natalità, mentre in tutte quelle regioni del mondo nelle quali l'industrializzazione non ha avuto luogo tali indici hanno mantenuto valore elevato.

Effetti dell'inquinamento sulla durata della vita. Nel modello mondiale è contemplata la possibile influenza dell'inquinamento sulla durata prevista della vita degli uomini.

Tale influenza si esplica attraverso un opportuno coefficiente, che

moltiplica la durata prevista della vita (determinata a partire dalla valutazione degli alimenti e dei servizi sanitari disponibili) per il contributo presumibilmente dovuto all'inquinamento (FIG. 38). Cioè, supposto che il livello di inquinamento sia tanto elevato da abbassare la durata prevista della vita al 90% del valore calcolato in assenza di inquinamento, il coefficiente vale 0,9.

I dati globali disponibili sugli effetti dell'inquinamento sono però assai scarsi, e solo adesso si comincia ad avere qualche informazione sulla tossicità di alcuni specifici agenti inquinanti (mercurio, piombo).

Limitatamente all'inquinamento atmosferico, è stato fatto qualche tentativo di correlare statisticamente una certa concentrazione di inquinamento con la mortalità di una popolazione. In ogni caso, anche se i dati disponibili non bastano a suffragare la relazione tra inquinamento e mortalità, non v'è dubbio che tale relazione esista.

« Alcuni casi di inquinamento atmosferico particolarmente grave hanno dimostrato come questo abbia gravi conseguenze sulla salute. Più le ricerche procedono e più si rende manifesto che una prolungata esposizione ad agenti inquinanti, anche se in concentrazione ridotta, può nuocere alla salute, provocando malattie croniche e morte prematura, specialmente a danno delle persone più vulnerabili, quelle in età avanzata e quelle che già soffrono di disturbi alle vie respiratorie. Enfisemi, bronchiti, asma, cancro al polmone sono tra le principali malattie collegabili con la presenza dell'inquinamento atmosferico. »*

Noi non sappiamo dire esattamente quali conseguenze si manifesterebbero sulla durata della vita dell'uomo se l'attuale livello di inquinamento dovesse aumentare; sappiamo però con certezza che qualche conseguenza ci sarebbe, e quindi è minore l'errore che si commette introducendo tale influenza nel modello con la migliore approssimazione oggi conseguibile, piuttosto che ignorandola del tutto. In FIG. 39 sono riportate alcune curve rappresentative di tale legame, che esprimono in forma grafica le considerazioni precedenti. Se a un incremento dell'inquinamento secondo il fattore 100 non corrispondesse alcun effetto sulla durata della vita, la relazione sarebbe rappresentata da una retta orizzontale, come la *a*, che però è estremamente poco verosimile, giacché sappiamo che molti tipi di inquinamento arrecano sicuramente un danno alla salute dell'uomo. Ancora più inverosimile sarebbe un andamento del tipo *b*, poiché ogni curva che si innalzi al di sopra della *a* starebbe a indicare che a un aumento del livello di inquinamento corrisponde un aumento della durata media della vita, mentre sappiamo con sicurez-

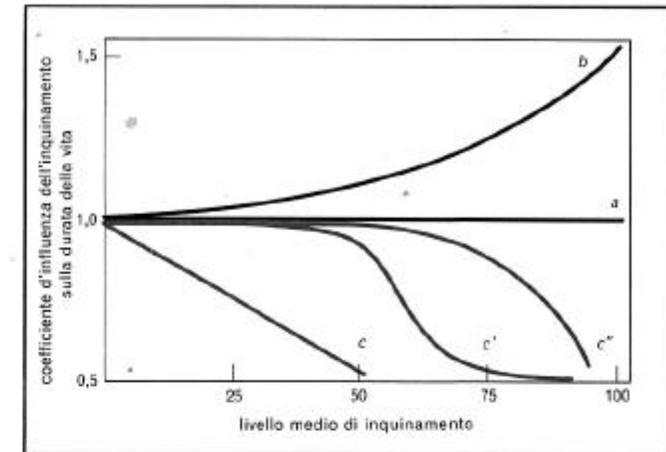


Fig.39 Possibili aspetti della relazione tra durata media della vita e crescita dell'inquinamento. L'ipotesi ritenuta più realistica è quella rappresentata dalla curva *c''*.

za che è vero il contrario. Non siamo però in grado di precisare quantitativamente tale affermazione, per cui ogni curva decrescente del tipo indicato con *c* potrebbe corrispondere all'andamento reale. Il procedimento adottato è stato quello di compiere tutta una serie di stime degli effetti probabili per ogni variabile introducendo poi volta a volta tali stime nel modello per valutarne i risultati. Se il comportamento del modello risente in maniera sensibile di piccole modificazioni dell'andamento di una curva, dobbiamo approfondire la nostra conoscenza del legame inquinamento - durata della vita, prima di introdurlo nel modello; se invece, come in questo caso, esso rimane praticamente inalterato, possiamo fare una stima prudente di tale relazione e includere i corrispondenti valori nei calcoli.

La curva indicata con *c''* in FIG. 39 è quella che a nostro avviso rappresenta meglio l'andamento della relazione tra durata prevista della vita e inquinamento: secondo questa curva, un incremento dell'inquinamento globale secondo un fattore 10 non avrebbe praticamente alcun effetto sulla durata della vita mentre l'effetto sarebbe sensibile per un incremento secondo un fattore 100.

Utilità del modello del mondo

Il funzionamento del modello globale è determinato da un centinaio circa di relazioni causali del tipo di quelle che si sono esaminate in maniera

* Second annual report of the Council on environmental quality, Government Printing Office, Washington, D. C. (1971).

dettagliata, allo scopo di mostrare il genere di informazioni che vengono immesse nel modello e il modo in cui vengono adoperate. In molti casi, le informazioni disponibili non sono complete e tuttavia il modello costruito sulla base di tali informazioni può riuscire utile anche in questo stadio preliminare di elaborazione, per diversi motivi. Innanzitutto esaltando l'importanza delle relazioni assunte come ipotesi, noi speriamo di provocare una serie di discussioni e ricerche che in definitiva dovrebbero portare ad arricchire e affinare le conoscenze occorrenti per il nostro lavoro. Ciò è particolarmente importante per quelle parti del modello che interagiscono in settori differenti (come ad esempio inquinamento e durata della vita umana) e che compongono l'esigenza di ricerche interdisciplinari.

Inoltre anche in mancanza di informazioni più precise, elaborando i dati attualmente disponibili il modello può fornire degli esempi significativi di comportamento del sistema mondiale. Questo è certo per il fatto che la struttura ad anelli di retroazione del modello stesso ha assai più peso, nella determinazione del comportamento globale, degli esatti valori numerici che traducono in forma quantitativa le relazioni indicate dagli anelli. Come si vedrà meglio più avanti, il tipo di comportamento non viene in generale modificato da cambiamenti anche notevoli dei dati d'ingresso: in altre parole, un cambiamento dei dati numerici può alterare il periodo dell'oscillazione, o il tasso di crescita, o l'istante in cui si verifica il collasso, ma non la circostanza che il sistema evolve attraverso oscillazioni, o con andamento crescente, o muovendo verso il collasso finale. In questo momento interessa appunto determinare il modo e la direzione in cui si sviluppa il sistema, non fare delle previsioni esatte; quel che più conta allora è sistemare correttamente la struttura degli anelli di retroazione; quando si vorrà pervenire a una conoscenza più particolare e ravvicinata, l'esatta definizione dei valori numerici diverrà più importante e andrà precisata.

Infine, non esiste attualmente un modello perfetto che possa aiutare tutti coloro che, a ogni livello, devono prendere delle decisioni, fornendo loro esatte previsioni e analisi scientificamente corrette sugli eventuali risultati delle diverse politiche attuabili. Il modello da noi realizzato è certo insufficiente, ma esso rappresenta pur sempre l'unica alternativa ai modelli mentali, basati su quell'insieme di informazioni monche e di intuizioni imprecise che costituisce il terreno da cui scaturisce la maggior parte delle decisioni politiche.

Anche se le conoscenze disponibili sono altrettanto incomplete per il modello dinamico che per quello mentale, il primo consente di sistemarle in una struttura ad anelli di retroazione che può essere analizzata con estrema accuratezza. Una volta che le varie ipotesi siano state

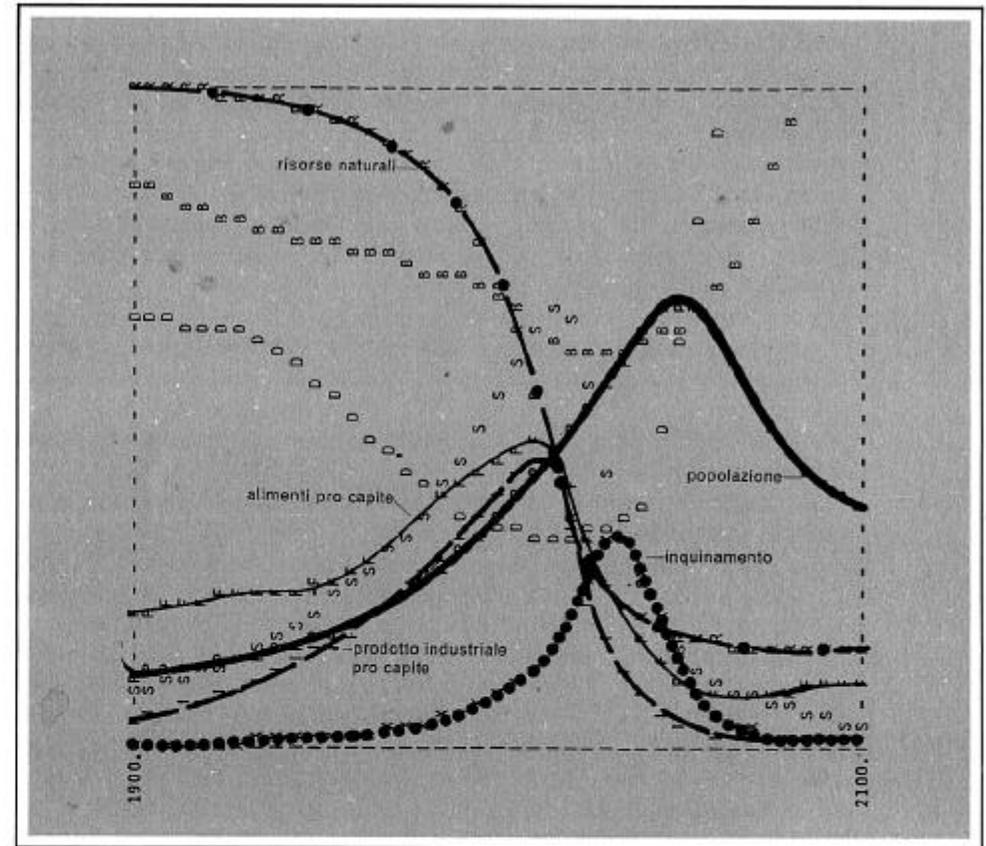


Fig.40 Andamento delle grandezze più significative nel modello del sistema mondiale per il periodo compreso tra gli anni 1900 e 2100, tracciato dal calcolatore.

raccolte e messe per iscritto, è possibile criticarle, oltre che valutare le 'risposte' del sistema alle diverse politiche che si possono adottare.

Comportamento del modello del mondo

A questo punto, si ripropongono gli interrogativi già formulati all'inizio di questo capitolo: quale comportamento è più logico attendersi dal sistema mondiale, quando sia pervenuto ai limiti del proprio sviluppo? Per ognuna di tali domande vi sono, come è naturale, molte risposte possibili. Noi prenderemo in esame diverse alternative, ognuna legata

a un diverso complesso di ipotesi sul modo in cui la società umana reagirà ai problemi che comporta l'esistenza dei vari limiti naturali.

In FIG. 40 è riportato l'andamento delle grandezze più significative del sistema, ricavato mediante il calcolatore nell'ipotesi che né i fondamentali valori umani né il funzionamento del sistema popolazione-capitale subiranno nel futuro alcun cambiamento sostanziale rispetto agli ultimi cento anni. La FIG. 40 viene assunta come 'tracciato standard' con il quale confrontare i tracciati ottenuti sulla base di ipotesi diverse. In ascisse è riportato il tempo in anni, dal 1900 al 2100; le grandezze delle quali si studia l'andamento sono:

- popolazione (numero totale di individui);
- prodotto industriale pro capite (dollari equivalenti pro capite all'anno);
- alimenti pro capite (kg di grano equivalenti pro capite all'anno);
- inquinamento (riferito al livello 1970, posto uguale a 1);
- risorse naturali non rinnovabili (esprese come frazione delle riserve valutate nel 1900).

Le grandezze il cui andamento non è stato marcato congiungendo i simboli battuti dall'unità scrivente sono:

- B, indice di natalità approssimato (nascite per 1000 persone per anno);
- D, indice di mortalità approssimato (decessi per 1000 persone per anno);
- S, servizi pro capite (dollari equivalenti per persona per anno).

Si può notare che non sono state riportate le scale delle grandezze in ordinate, mentre in ascisse figurano solo i valori estremi della scala dei tempi: questo per scoraggiare la tendenza a leggere questi tracciati come vere e proprie predizioni. In ogni caso, si sono adottate le stesse scale nei vari tracciati, per agevolare il confronto dei risultati.

I valori riportati sono in generale storicamente corretti, fin dove ciò è possibile. La popolazione, partendo da un livello di 1600 milioni di abitanti nel 1900, perviene al valore di 3500 milioni nel 1970. L'indice di natalità va diminuendo gradualmente, mentre quello di mortalità scende in maniera più accentuata, specialmente dopo il 1940, per cui il tasso di crescita della popolazione aumenta. Alimenti, servizi e prodotto industriale aumentano esponenzialmente. Come si vede, nel 1970 la disponibilità di risorse naturali ammonta ancora al 95% del valore che aveva nel 1900; ma a partire da quel punto si abbassa drasticamente.

È chiaro che questo tracciato corrisponde alla condizione di superamento dei limiti naturali, con successivo collasso provocato dall'esaurimento delle risorse naturali non rinnovabili. Il capitale industriale cresce fino a un livello che richiede un afflusso enorme di materie prime, per cui il processo di crescita è accompagnato dal progressivo depauperamento delle riserve; ma ciò provoca una lievitazione dei prezzi delle materie prime, per ottenere le quali occorre impegnare frazioni crescenti

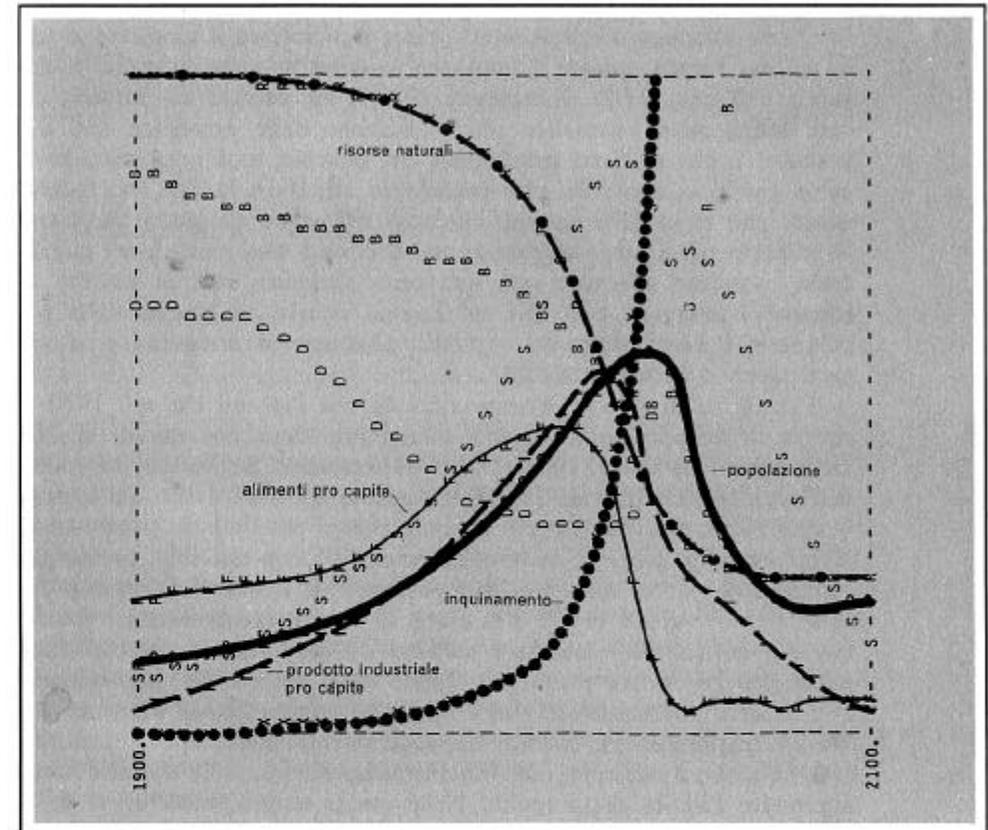


Fig.41 Andamento delle grandezze più significative nel modello del sistema mondiale considerando una disponibilità di risorse naturali doppia rispetto alla reale.

di capitale, a discapito degli investimenti. Alla fine gli investimenti non riescono più a seguire il passo del deprezzamento del capitale, e si verifica il collasso della base industriale e quindi dell'agricoltura e dei servizi, dato che questi settori dipendono in maniera essenziale dai beni prodotti dall'industria (fertilizzanti, insetticidi, attrezzature ospedaliere, calcolatori e soprattutto energia per la meccanizzazione).

Per un breve periodo di tempo la situazione rimane a un livello critico poiché la popolazione, a causa dei ritardi che caratterizzano il ciclo riproduttivo e i processi di assestamento sociale, continua a crescere; ma la carenza di alimenti e di servizi sanitari provoca un rapido incremento dell'indice di mortalità e il livello di popolazione si abbassa.

Tenendo presenti il grado di aggregazione di tale modello e le molte incertezze che esso contiene, non è tanto significativo il momento esatto in cui ciò accade, quanto il fatto che lo sviluppo viene arrestato molto prima dell'anno 2100. Nonostante che si sia cercato di basarsi, nei casi dubbi, sulle valutazioni più ottimistiche delle grandezze mal conosciute, e che si siano tenuti fuori dal modello tutti quegli accidenti, come guerre o epidemie, che potrebbero affrettare la fine, nonostante quindi che il modello appaia orientato nel senso di lasciar protrarre lo sviluppo più a lungo di quanto probabilmente non avverrà nel mondo reale, possiamo affermare con una certa sicurezza che, in assenza di sostanziali interventi correttivi sul sistema attuale, la crescita della popolazione e l'espansione del capitale industriale si arresteranno al più tardi entro il prossimo secolo.

Il tracciato di FIG. 40 è stato ricavato con l'ipotesi che nel 1970 le riserve di materie prime lascino ancora prevedere una durata di 250 anni, fermo restando l'attuale tasso di consumo; dall'esame dei valori dell'indice statico di TAB. IV risulta quanto ottimistica sia tale ipotesi.

Possiamo comunque provare a essere ancora più ottimisti, supponendo di raddoppiare, grazie a nuovi ritrovamenti o progressi della tecnologia, l'entità delle riserve stimate di materie prime: il tracciato di risposta che se ne ricava è quello di FIG. 41. Come si vede, il comportamento fondamentale del sistema - crescita e collasso - è molto simile a quello desumibile dal diagramma di FIG. 40. Questa volta, però, la fine allo sviluppo è provocata soprattutto da un improvviso, straordinario aumento del livello d'inquinamento, causato dal superamento della capacità naturale di assorbimento dell'ambiente. Inquinamento e carenza di alimenti fanno aumentare l'indice di mortalità. Nello stesso tempo, come si vede, le riserve di risorse naturali subiscono un drastico depauperamento, a dispetto dell'ipotesi di un iniziale raddoppiamento di tali riserve: pochi anni in più di crescita esponenziale sono sufficienti perché il sistema industriale bruci queste risorse extra. In definitiva, se noi facciamo l'ipotesi di non correggere in alcun modo l'attuale nostro comportamento, il sistema mondiale sembra destinato a svilupparsi per poi subire un collasso e precipitare in condizioni di miseria. L'umanità, peraltro, ha già fornito numerosi esempi della propria flessibilità sociale e della propria inventiva, e molti degli interventi che il modello mostra necessari sono già stati adottati. La 'rivoluzione verde' già oggi moltiplica i raccolti nei paesi non industrializzati, l'energia nucleare riduce la dipendenza dai combustibili tradizionali, le pratiche di controllo delle nascite si diffondono con rapidità: possiamo allora servirci del modello del mondo per valutare, attraverso esperimenti di simulazione, i possibili risultati delle tecniche che promettono di dilatare i limiti dello sviluppo.

V

La tecnologia e i limiti dello sviluppo

La storia del faticoso progresso dell'uomo e dei suoi sforzi per conciliare le necessità dell'esistenza con le limitazioni dell'ambiente fisico è fatta di successi e di fallimenti, ma solo i primi sono rimasti a formare la tradizione culturale dominante. Considerando in particolare gli ultimi trecento anni, la storia sembra presentare una successione trionfale di progressi tecnologici spettacolari, in un continuo superamento dei limiti naturali volta a volta incontrati sulla via dello sviluppo economico e della crescita demografica. Incoraggiata da tale passato, è naturale allora che la maggior parte delle persone veda nella tecnologia lo strumento che consentirà di avanzare indefinitamente, innalzando il tetto delle possibilità materiali. Queste persone parlano del futuro con marcato ottimismo tecnologico.

« Sia per le materie prime sia per l'energia, non si vede alcun limite sostanziale che non si possa pensare di superare mediante modificazioni della struttura dei prezzi, sostituzione di alcuni prodotti con altri, più rapidi progressi della tecnologia o del controllo dell'inquinamento. »*

« Considerando l'attuale capacità della terra di produrre alimenti e la possibilità di aumentare tale produzione mediante il ricorso alle tecniche più moderne, si può dire che l'umanità è in grado di sconfiggere la fame nel mondo, nel giro di uno o due decenni. »**

« Il controllo di inesauribili fonti di energia e la crescente capacità di operare impegnando in misura sempre minore le risorse dei mari e dell'aria, insieme con i progressi della tecnologia spaziale, hanno tolto

* Notestein F. W., *Zero population growth: what is it?*, in *Family planning perspectives*, 2, giugno (1970).

** Bogue D. J., *Principles of demography*, New York (1969).

fondamento alle teorie di Malthus. Un quarto di secolo sarà sufficiente ad assicurare all'umanità il successo, materiale ed economico. »*

Affermazioni di tal genere, una così totale fiducia nelle nuove tecnologie, andrebbero verificate nel contesto di una più completa rappresentazione del sistema mondiale, in particolare nei cinque settori fondamentali, interconnessi, del sistema popolazione-capitale, per accertare se e in quale misura esse si concilino, a breve e a lunga scadenza, con i limiti naturali dello sviluppo e con la tendenza del sistema stesso alla crescita e al successivo collasso.

La tecnologia nel modello mondiale

Non esiste una sola variabile definibile genericamente come 'tecnologia' nel modello mondiale: non è stato possibile aggregare e generalizzare le implicazioni dinamiche dello sviluppo tecnologico, poiché tecnologie differenti emergono dal modello e ne influenzano al tempo stesso settori diversi. Preparati anticongenzionali, sementi a elevata produttività, televisione, impianti per lo sfruttamento petrolifero del fondo marino possono essere considerati miglioramenti tecnologici ma ciascuno svolge una funzione differente nell'alterare l'andamento del sistema mondiale. Presenteremo, pertanto, ogni tecnologia proposta separatamente nel contesto del modello, considerando accuratamente il modo col quale può interagire con ciascuna ipotesi fatta sugli elementi del modello. In questo capitolo presenteremo alcuni esempi di valutazione delle influenze globali a lungo termine della tecnologia.

Energia. Indubbiamente il ricorso ai processi di fissione nucleare controllata ha liberato l'uomo dalla soggezione alla limitata disponibilità di combustibili tradizionali, ed è anche possibile che l'avvento dei reattori veloci autofertilizzanti e dei reattori a fusione nucleare prolunghi sensibilmente la durata delle riserve di materiale fissile, ad esempio di uranio. Supponiamo che l'energia nucleare potrà (e in realtà, deve) essere disponibile a un costo sufficientemente basso, con trascurabili effetti inquinanti, e consideriamo solo le conseguenze dell'avvento dell'energia nucleare sulla disponibilità di materie prime.

Molti esperti ritengono che l'abbondanza di energia metterà l'uomo in grado di scoprire e utilizzare giacimenti altrimenti inaccessibili (ad esempio, nei fondali marini), di trattare minerali sempre più poveri, fino alle rocce comuni, di recuperare i metalli contenuti negli oggetti solidi di rifiuto. Vi è però chi ritiene che l'energia ha ben poco a che

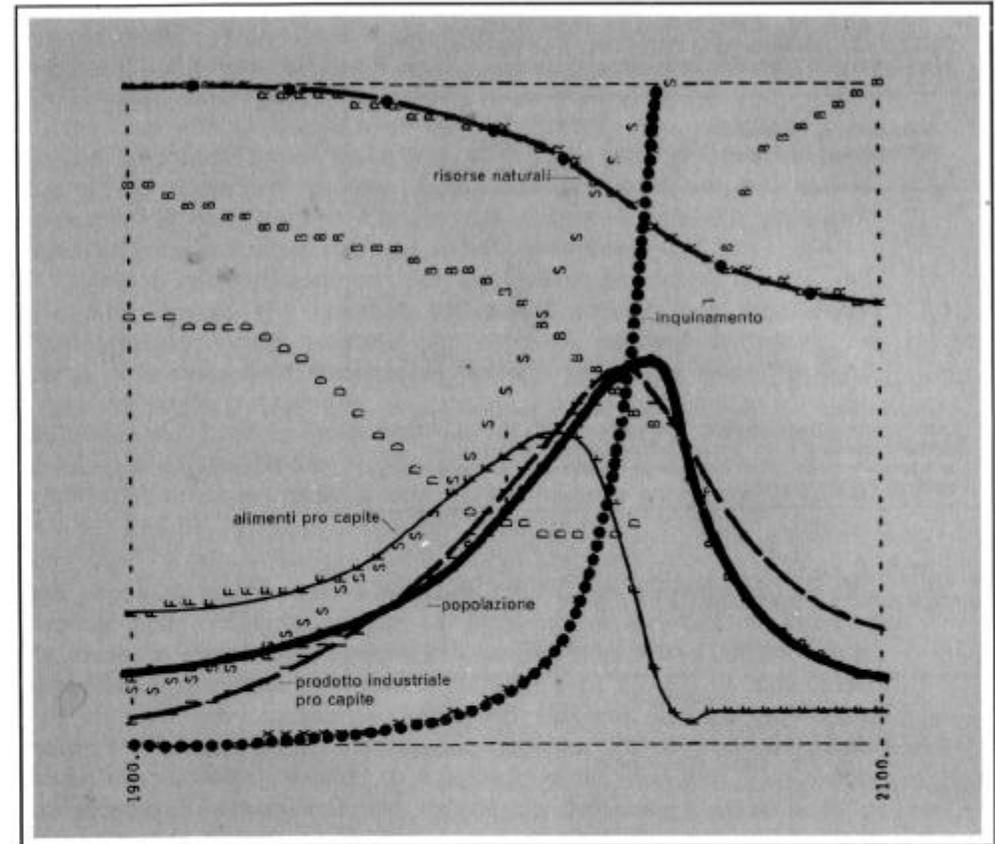


Fig.42 Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale per una disponibilità illimitata di risorse naturali dovuta all'introduzione dell'energia nucleare.

fare con i costi reali, incluso il costo ambientale, di produzione dei minerali; ad esempio, il geologo T. S. Lovering afferma: « Disporre di energia a basso prezzo, in effetti, non significa ridurre di molto i costi totali, che sono principalmente costi di capitale e di manodopera, da affrontare per l'estrazione e la lavorazione dei minerali. Per ogni unità di metallo nel granito comune vi è un'enorme quantità di prodotto di scarto - secondo un rapporto almeno pari a 1 : 2000 - che è più facile smaltire sulla carta che nella realtà... Estrarre i minerali cercati dalle rocce significa frantumarle con gli esplosivi, trattarle con soluzioni a base di particolari prodotti chimici, con le opportune precauzioni,

* Buckminster Fuller R., *Comprehensive design strategy. World resources inventory, phase II, Carbonale* (1967).

TAB. VI - COSTO DELLA RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO DELL'ACQUA PROVOCATO DAI RIFIUTI ORGANICI DI UNO ZUCCHERIFICIO¹

Riduzione percentuale dell'ossigeno biologico ²	Costo per kilogrammo di rifiuti ³ (dollari USA)
15	2,50
30	2,50
48	16
63	46
80	66
95	128
100	192

¹ *Second annual report of the council on environmental quality*, Government Printing Office, Washington D. C. (1971). ² L'ossigeno biologico è un indice dell'ossigeno occorrente per decomporre i rifiuti. ³ I dati fanno riferimento a una produzione di 2500 t/giorno.

affinché la soluzione non sfugga andando a contaminare le acque sotterranee o quelle di superficie. Tutte queste operazioni non saranno affatto facilitate o rese superflue dall'impiego dell'energia nucleare.>* Comunque, in FIG. 42 sono riportate le curve che illustrano il comportamento del sistema mondiale nell'ipotesi, ottimistica, che l'energia nucleare risolverà tutti i problemi del settore 'risorse naturali'. Precisamente, si è ammesso che la possibilità di utilizzare minerali più poveri o di sfruttare i giacimenti dei fondali marini consenta di raddoppiare le riserve (come per il diagramma di FIG. 41) e inoltre che, a partire dal 1975, vengano adottati dei programmi di ricupero e riutilizzazione dei materiali già usati, in modo da ridurre a un quarto del valore attuale il fabbisogno di risorse vergini per unità di prodotto industriale. Entrambe le ipotesi sono eccessivamente ottimistiche, ma proprio per questo esse consentono di verificare in maniera definitiva la fondatezza della tanto conclamata fiducia nel prossimo avvento dell'energia nucleare.

Come si vede dal diagramma di FIG. 42, si riesce in tal modo a scongiurare il sopraggiungere di un'improvvisa carenza di materie prime, ma, analogamente a quanto si è visto a FIG. 41, lo sviluppo viene arrestato dall'enorme aumento dell'inquinamento. Grazie alla libera disponibilità di materie prime, alimenti, servizi e prodotto industriale

* Lovering T. S., *Mineral resources from the land*, in Committee on resources and man, *Resources and man*, San Francisco (1969).

riescono a raggiungere livelli leggermente superiori a quelli visti in FIG. 41, prima di ridursi drasticamente. Anche il livello di popolazione raggiunge all'incirca lo stesso valore massimo, ma poi precipita più bruscamente, fino a un valore finale ancora più basso.

Una disponibilità illimitata di risorse, pertanto, non sembra rappresentare la soluzione per mantenere lo sviluppo del sistema mondiale. La rapida espansione economica che la disponibilità di tali risorse consentirebbe dovrebbe accompagnarsi a misure di controllo dell'inquinamento, per evitare la crisi del sistema mondiale.

Controllo dell'inquinamento. Per ricavare il diagramma di FIG. 42 si è fatta l'ipotesi che l'avvento dell'energia nucleare non modificherà l'inquinamento medio generato per unità di prodotto industriale; e infatti, se è vero che i combustibili nucleari presentano alcuni vantaggi rispetto a quelli tradizionali, dal punto di vista della contaminazione dell'ambiente, è anche vero che per quanto riguarda l'inquinamento termico, o quello dovuto ai processi di lavorazione a cielo aperto, o quello connesso con le attività agricole, la situazione non dovrebbe subire

TAB. VII - PREVISIONI DI COSTO PER LA RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO IN UNA CITTÀ AMERICANA

Riduzione percentuale del tenore di SO ₂	Riduzione percentuale della presenza di particelle solide	Costo previsto (dollari USA)
5	22	50 000
42	66	7 500 000
48	69	26 000 000

apprezzabili miglioramenti. In sintesi, mentre l'inquinamento dovuto all'impiego di combustibili fossili, con emissione di CO₂ e anidride solforosa, verrà diminuito, aumenterà l'inquinamento da sostanze radioattive.

Sembra verosimile che una società che disponga di energia nucleare in abbondanza riesca a mettere sotto controllo l'inquinamento, e in effetti nelle regioni più industrializzate già oggi tali tecniche sono piuttosto diffuse; in ogni caso, però, considerazioni di ordine tecnico ed economico portano a concludere che anche le più rigorose forme di controllo non potranno mai debellare completamente l'inquinamento. In termini economici, il costo dell'operazione si fa più alto via via che

le prescrizioni sull'emissione di agenti inquinanti si fanno più severe, come si può desumere ad esempio dall'esame delle TABB. VI e VII.

La FIG. 43 illustra la 'risposta' del modello mondiale alle ipotesi che venga ridotto il depauperamento delle riserve di materie prime - analogamente a quanto visto per la FIG. 42 - e che, a partire dal 1975, ogni genere di inquinamento si riduca nel rapporto 1 : 4. Una riduzione ancora più drastica dell'attuale indice di inquinamento non è realisticamente ipotizzabile, sia per il costo che comporterebbe, sia perché alcuni tipi di inquinamento (ad esempio, quello termico, quello radioattivo prodotto dalle grandi centrali nucleotermoelettriche, quello dovuto

agli agenti chimici contenuti nei fertilizzanti o negli antiparassitari, o alle particelle di amianto provenienti dalle guarnizioni dei freni) sono estremamente difficili da eliminare, con qualsiasi mezzo. D'altra parte, anche l'ipotesi di ridurre l'inquinamento a un quarto del valore attuale non è realistica e viene fatta al solo scopo di condurre degli esperimenti sul modello. Come si vede dalle curve di FIG. 43, il risultato di tali esperimenti è che si riesce a scongiurare una catastrofe ecologica; inoltre, popolazione e prodotto industriale pro capite raggiungono livelli assai più elevati di quelli massimi di FIG. 42, mentre l'impoverimento delle riserve di materie prime e l'inquinamento non arrivano a valori critici. La crisi però sopraggiunge lo stesso, provocata questa volta dalla carenza di alimenti: infatti, col crescere della produzione industriale, cresce anche il rendimento della terra (fino a un massimo che è pari a circa sette volte il valore medio dell'anno 1900), mentre procede lo sfruttamento delle terre vergini. Nello stesso tempo, però, una frazione della superficie coltivabile viene assorbita dagli impieghi urbani o industriali, mentre un'altra frazione si esaurisce, diventando improduttiva, in seguito all'applicazione intensiva delle più moderne tecniche agricole. A un certo punto, allora, non vi è più terra coltivabile disponibile, ma la popolazione continua a crescere, per cui la razione di alimenti pro capite diminuisce; ciò inoltre provoca una crescente diversione di capitale verso il settore agricolo, per cui diminuiscono gli investimenti e la produzione nel settore industriale. Il risultato di tutto ciò non può che essere un brusco arresto della crescita demografica.

Produzione di alimenti e controllo delle nascite. I risultati illustrati in FIG. 43 potrebbero essere fatti derivare tanto da un eccesso di popolazione quanto da una carenza di alimenti. Si può pensare di risolvere quest'ultimo problema intensificando la produzione, ad esempio dando maggiore diffusione alle pratiche e ai metodi della cosiddetta rivoluzione verde (che sostanzialmente consiste nel sostituire le varietà di grano comunemente coltivate con nuove varietà caratterizzate da una resa molto maggiore: di tale sostituzione si è già tenuto conto nell'elaborazione del modello originario). Il primo problema, invece, richiede una diffusione a livello mondiale di più efficaci metodi di controllo delle nascite.

Supponendo che a partire dal 1975 si riesca a raddoppiare il normale rendimento per unità di superficie di tutte le terre coltivate del mondo, le curve di FIG. 44, ricavate dal modello in base a tale ipotesi, mostrano come risultato un enorme incremento della produzione di alimenti, dei servizi pro capite e del prodotto industriale. Proprio il prodotto industriale medio pro capite di tutta la popolazione mondiale arriva a sfiorare il livello raggiunto dagli USA nel 1970, ma solo per breve tempo,

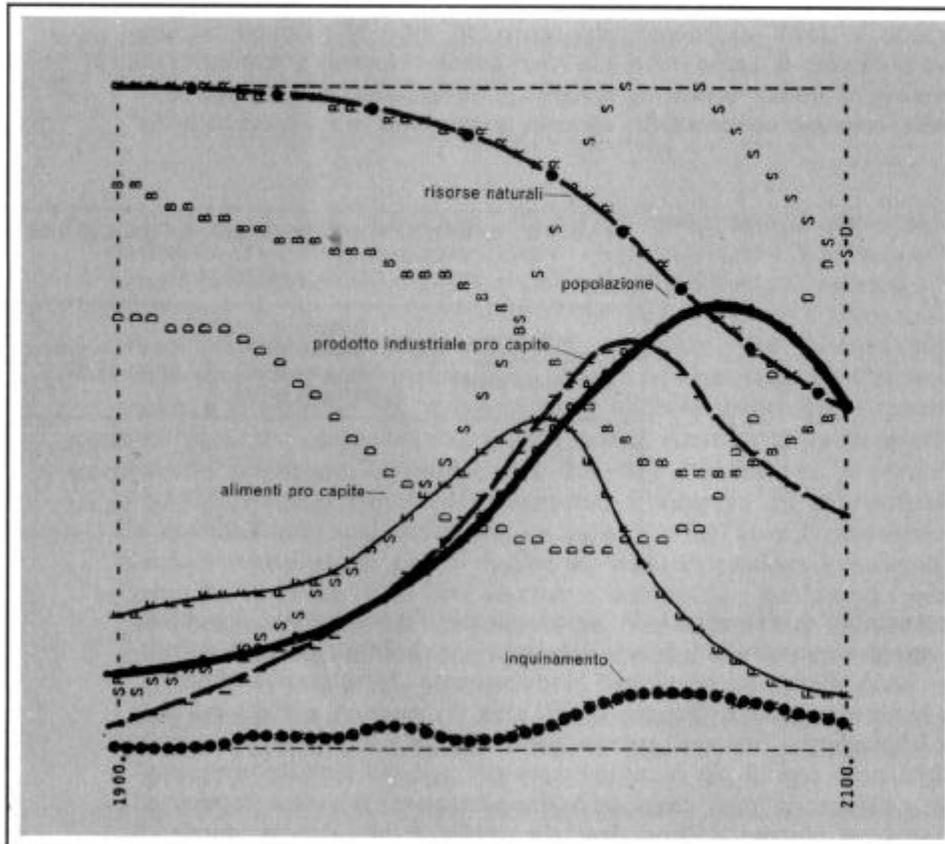


Fig.43 Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale nell'ipotesi aggiuntiva che dal 1975 ogni inquinamento possa venire ridotto nel rapporto 1:4.

giacché la catastrofe sopravviene provocata dall'inquinamento, nonostante che siano ancora in vigore le misure adottate per tenerlo sotto controllo.

L'inquinamento per unità di prodotto è diminuito nel rapporto 1 : 4, ma l'industria si sviluppa così rapidamente che in breve giunge a produrre quattro volte di più. In tal modo, il livello dell'inquinamento cresce in assoluto nonostante la politica di controllo, e provoca una crisi che arresta l'ulteriore sviluppo.

In FIG. 45 sono illustrati i risultati di una politica di completo controllo delle nascite, adottata a partire dal 1975. La popolazione non

cessa di crescere, giacché il controllo si esercita, ovviamente, solo sulle nascite non desiderate, ma l'indice di natalità fa registrare una marcata diminuzione, cosicché la popolazione cresce assai più lentamente di quanto non avvenisse nella situazione dei diagrammi di FIGG. 43, 44; in pratica, tuttavia, la crisi derivante dalla mancanza di alimenti viene così ritardata di soli venti anni.

Supponendo infine di ottenere contemporaneamente tanto un raddoppio della produzione agricola quanto un completo controllo delle nascite, l'andamento risultante dei vari elementi del sistema mondiale

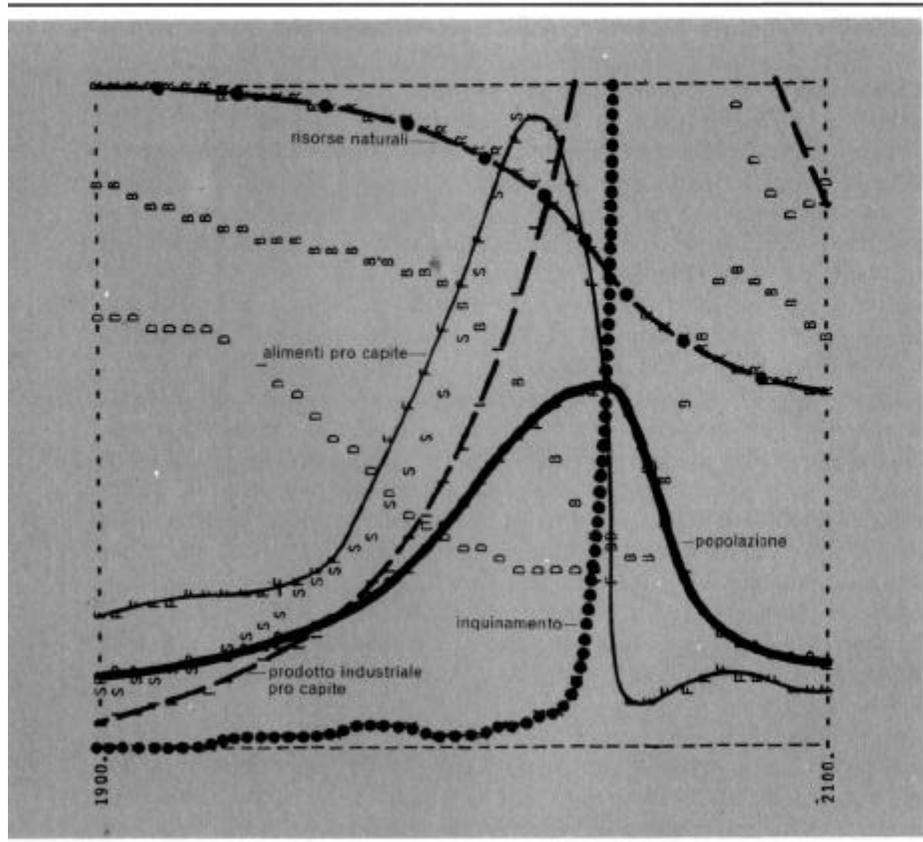


Fig.44 Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale nell'ipotesi di raddoppiare il rendimento di tutte le terre coltivate dal 1975. Solo per un breve periodo il prodotto industriale medio pro capite raggiunge il valore attuale degli USA.

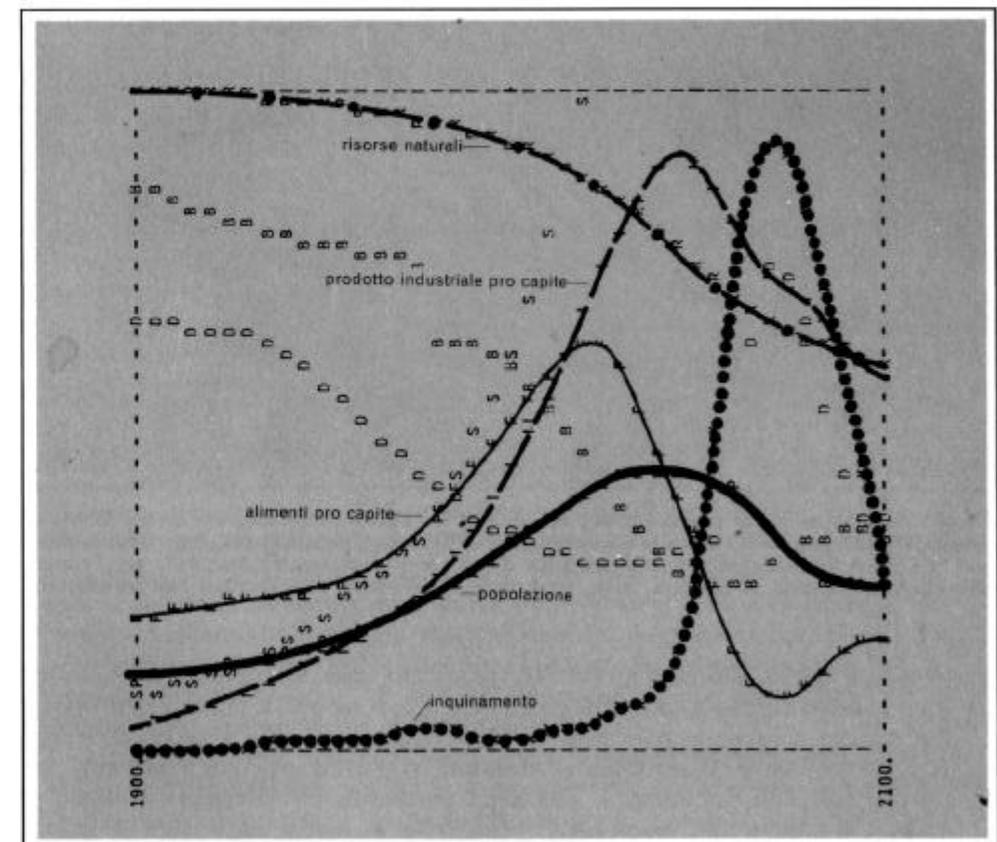


Fig.45 Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale nell'ipotesi di un completo controllo volontario delle nascite dal 1975. La popolazione continuerebbe a crescere, fino a un livello inferiore rispetto a quello di Fig. 44, ma la crisi sarebbe solo postposta di vent'anni.

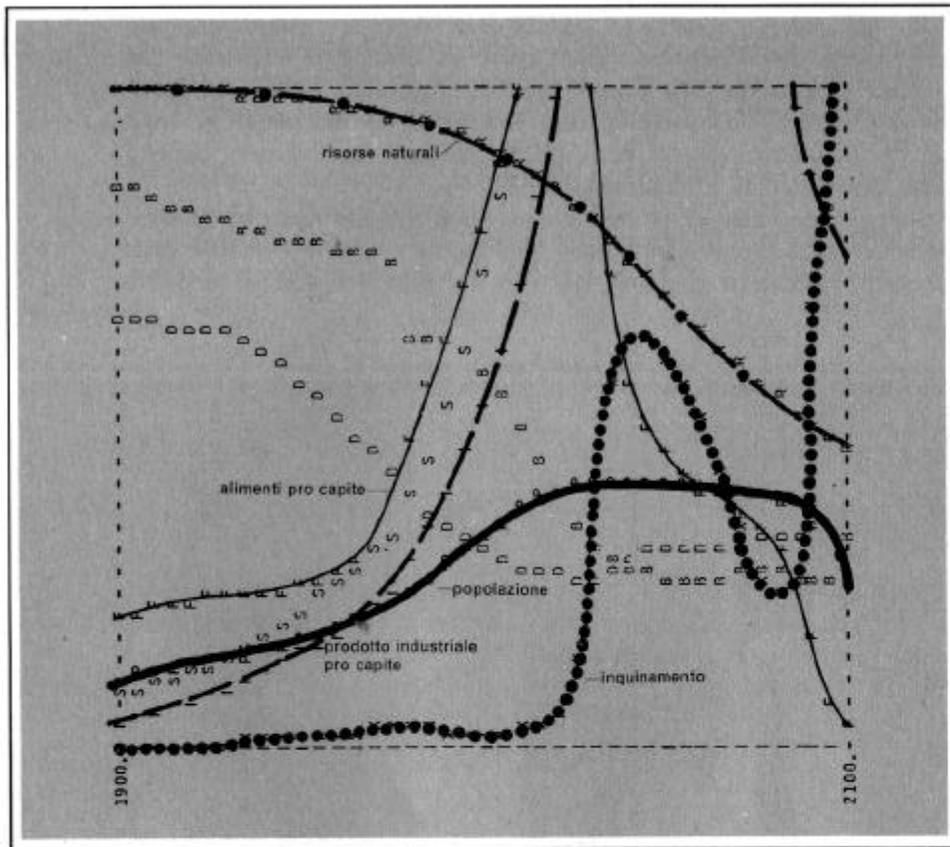


Fig.46 Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale nell'ipotesi di ottenere insieme il raddoppiamento della produzione agricola e il completo controllo delle nascite. Anche così la fine dello sviluppo verrebbe posposta di soli vent'anni, sopraggiungendo per l'esaurirsi delle riserve naturali, il declino della produzione di alimenti e il crescere dell'inquinamento.

è quello illustrato in FIG. 46. In questo caso, si suppone di fare il più largo ricorso alla tecnologia in tutti i settori, per aggirare i vari ostacoli che si frappongono sulla via dello sviluppo. La produzione di energia nucleare è intensificata al massimo, si recuperano tutti i materiali utili contenuti nei rifiuti, e contemporaneamente si estraggono minerali dai giacimenti più inaccessibili, l'emissione di agenti inquinanti viene rigorosamente controllata, il rendimento della terra attinge a valori insperabilmente alti, e solo i figli veramente desiderati vengono messi al mondo. Nonostante ciò, la fine dello sviluppo viene solo posposta di

uno o due decenni, e sopravviene, per di più, a seguito di tre crisi simultanee. La produzione di alimenti precipita, a causa del depauperamento della terra; le riserve di materie prime vengono esaurite da una popolazione mondiale che gode di una relativa prosperità (comunque inferiore a quella attuale degli abitanti degli USA); l'inquinamento aumenta, diminuisce, aumenta di nuovo provocando un'ulteriore riduzione della produzione di alimenti e un rapido incremento della mortalità.

L'applicazione di soluzioni esclusivamente tecnologiche, quindi, ha prolungato il periodo di sviluppo industriale e d'incremento demografico, ma non ha eliminato i limiti fondamentali dello sviluppo.

Caratteristiche del collasso. Il modello mondiale contiene numerose approssimazioni e semplificazioni, per cui (come si è già osservato in precedenza) i diagrammi di risposta forniti dal calcolatore non possono essere considerati delle previsioni; non v'è quindi motivo di abbandonarsi allo sconforto o alla rassegnazione. Infatti, non è verosimile che il mondo reale si comporti esattamente secondo quanto indicato da uno qualsiasi dei diagrammi visti, soprattutto nell'intorno del punto di crisi, giacché tali diagrammi sono stati ricavati considerando solamente gli aspetti materiali dell'attività umana; per i fattori che possiamo definire sociali (distribuzione del reddito, composizione numerica del nucleo familiare, scelta tra beni materiali, servizi, alimenti) si è fatta l'ipotesi che essi continuino a evolvere secondo i modelli affermatasi nel corso della storia più recente in tutto il mondo. Tali modelli, elaborati durante il processo stesso di crescita della civiltà occidentale, subirebbero certamente modificazioni profonde non appena il livello di popolazione e quello del reddito accennassero a diminuire. È difficile, tuttavia, immaginare quali nuove forme di comportamento sociale potrebbero scaturire in condizioni critiche, e con quale rapidità: questo è il motivo per cui non abbiamo ritenuto di introdurre tali fattori nel modello, che mantiene la propria validità solo fino al punto in cui lo sviluppo si arresta e la crisi comincia a manifestarsi. Alla luce di queste riserve, l'unica conclusione fondata che si possa trarre è assai semplice: nella ipotesi di non introdurre alcuna modificazione, o modificazioni di carattere puramente tecnico, nella struttura fondamentale del sistema, esso evolve secondo un processo di crescita esponenziale della popolazione e del capitale, seguito inevitabilmente dal collasso.

I vari diagrammi fin qui visti, ricavati con l'impiego del calcolatore in corrispondenza dei diversi modi di comportarsi del modello mondiale, si basano tutti su un'ipotesi fondamentale, anche se non esplicitamente formulata: popolazione e capitale devono essere lasciati liberi di crescere fino al raggiungimento di qualche limite 'naturale', devono 'cercarsi il proprio livello' senza alcun intervento deliberatamente inteso a bloccarne

l'ascesa. In queste condizioni, però, non è possibile trovare alcun provvedimento, o insieme di provvedimenti, che riesca a impedire il tracollo finale, giacché ogni volta che un intervento in un certo settore riesce a scongiurare il pericolo, questo semplicemente si trasferisce in un altro settore.

Non vi è alcuna reale difficoltà a comprendere il meccanismo in cui svolgono un ruolo fondamentale i ritardi di tempo tra cause ed effetti che compaiono in ogni punto della fitta trama di anelli di retroazione negativa di cui è costituito il modello mondiale. Vi sono dei ritardi naturali, che non possono essere modificati in alcun modo: ad esempio, il ritardo di quindici anni, che intercorre tra la nascita di un essere umano e il momento in cui tale essere umano raggiunge l'età della riproduzione, e che determina inevitabilmente un certo grado di inerzia nella risposta di una popolazione (attraverso l'indice di natalità) agli interventi correttivi. Un altro ritardo intercorre tra l'immissione degli agenti inquinanti nell'ambiente e il manifestarsi di apprezzabili effetti sulla salute dell'uomo; in questo caso, si ha un primo ritardo dovuto alla permanenza della sostanza in esame nell'atmosfera, nelle acque o nel suolo, prima di andare a finire nella catena alimentare, e un secondo ritardo intercorrente tra l'ingestione o l'assorbimento e la comparsa dei primi sintomi clinici. Questo secondo ritardo può protrarsi fino a un massimo di vent'anni, come nel caso di alcuni agenti cancerogeni. Altri ritardi sono ad esempio dovuti al fatto che il capitale non può essere trasferito istantaneamente da un settore all'altro, al variare della domanda; al fatto che capitale e terra richiedono un certo tempo, prima di diventare produttivi; alla grande lentezza con cui gli agenti inquinanti possono essere dispersi o convertiti in sostanze innocue.

In un sistema dinamico, i ritardi possono avere conseguenze apprezzabili solo se il sistema cambia configurazione con relativa rapidità. Possiamo chiarire l'affermazione con un semplice esempio. Chiunque guidi un'automobile reagisce con un certo ritardo alla percezione di un ostacolo sulla strada; un ritardo ancora più lungo intercorre tra l'azione del guidatore sui comandi e la risposta del veicolo; il guidatore, che ha imparato a conoscere tali ritardi, sa che, a causa di essi, è poco sicuro guidare a velocità eccessiva, perché ciò provocherebbe prima o poi un disastro. Il ritardo tra percezione e azione aumenta considerevolmente se il guidatore è bendato, e guida secondo le istruzioni del passeggero al suo fianco: in questo caso, una condotta di guida lenta è l'unica sicura e ogni tentativo di mantenere la velocità normale o, peggio, di accelerare continuamente non può che causare un incidente.

Esattamente nella stessa maniera, i ritardi che caratterizzano il sistema mondiale non avrebbero alcuna conseguenza negativa se il sistema si

sviluppassa a ritmo lento, o non si sviluppasse affatto: allora ogni nuovo intervento potrebbe essere introdotto con gradualità e riuscirebbe a esplicare la propria azione su ogni parte del sistema prima del sopraggiungere di ulteriori cambiamenti. In condizioni di crescita rapida, invece, il sistema subisce continui sbandamenti per effetto di nuove politiche d'intervento che impediscono di valutare gli effetti degli interventi precedenti; la situazione è tanto peggiore per quei sistemi che presentano un processo di crescita esponenziale, i quali si modificano con rapidità sempre crescente. È questo il caso del sistema mondiale, in cui popolazione e capitale sono destinati a superare i limiti di sicurezza prima che il resto del sistema manifesti una reazione tale da tendere ad arrestare la crescita. In particolare, l'inquinamento può continuare a crescere esponenzialmente ben oltre il punto critico, poiché il raggiungimento di tale punto critico non viene percepito con immediatezza; le riserve di materie prime possono essere prosciugate dalla rapida espansione del sistema industriale, fino a un punto in cui esse non riusciranno più a fornire la base materiale di tale espansione; la popolazione non può arrestare istantaneamente la propria crescita nel momento in cui si manifesta una carenza di alimenti a livello mondiale.

A causa dei ritardi che caratterizzano il ciclo riproduttivo, la popolazione continuerà ad aumentare per almeno 70 anni, anche dopo che la fecondità media sarà scesa al di sotto del livello di semplice ricambio (due figli per famiglia). Tale crescita è destinata ad arrestarsi allorché la razione alimentare pro capite raggiungerà un livello così basso da provocare un innalzamento dell'indice di mortalità.

La tecnologia nel mondo reale

Gli 'ottimisti tecnologici' confidano che la tecnologia giungerà a rimuovere o ad allontanare i limiti allo sviluppo della popolazione e del capitale. Abbiamo dimostrato peraltro, nel modello del mondo, che l'applicazione della tecnologia ai problemi dell'esaurimento delle riserve naturali, dell'inquinamento, della mancanza di alimenti, non risolve il problema essenziale, quello cioè determinato da uno sviluppo esponenziale di un sistema finito e complesso. I nostri tentativi d'introdurre anche le più ottimistiche previsioni sugli effetti della tecnologia nel modello, non impediscono il verificarsi del collasso finale della popolazione e dell'industria, in ogni caso non oltre il 2100.

Prima di affrontare il capitolo successivo, nel quale verranno esaminati altri tipi di interventi, cioè quelli non tecnologici, riteniamo necessario estendere il nostro studio sull'impiego della tecnologia anche a taluni

suoi aspetti che non potevano comparire nel modello del mondo.

Effetti collaterali della tecnologia. Secondo G. Hardin, gli effetti collaterali sono quelli che « non erano stati previsti, o a cui non si vuole pensare »*; dal momento che essi sono in realtà inscindibili dall'effetto principale, egli sostiene che non avrebbero mai dovuto essere chiamati in tal modo. Come è ovvio, ogni nuova tecnologia comporta degli effetti collaterali, e uno degli scopi principali della realizzazione di un modello è quello di valutare in anticipo alcuni di tali effetti.

Purtroppo il modello da noi elaborato è ancora troppo grossolano perché se ne possano ricavare delle indicazioni sugli effetti collaterali di carattere sociale prodotti dalle nuove tecniche, mentre proprio questi effetti, sovente i più importanti dal punto di vista della reale influenza della tecnologia sulla nostra vita quotidiana, sono normalmente misconosciuti dagli ottimisti tecnologici.

L'esempio più significativo è dato dal primo impatto della rivoluzione verde sulle società agricole. Nell'adozione di nuove varietà di sementi e di fertilizzanti non vi è nulla che comporti una riduzione della forza-lavoro addeba all'agricoltura; anzi, l'intendimento era quello di promuovere la creazione di nuovi posti di lavoro senza il ricorso a grossi investimenti di capitale. In alcune regioni, come nel Punjab, in India, la rivoluzione verde ha avuto quest'effetto di accrescere il numero di posti di lavoro nell'agricoltura, più rapidamente di quanto nello stesso tempo non aumentasse l'indice di accrescimento della popolazione totale: in definitiva, nel periodo 1963-68 ciò ha determinato un aumento del 16% dei salari reali. Non altrettanto positivi sono però stati gli effetti collaterali dal punto di vista sociale nella maggior parte delle regioni in cui è stata introdotta la rivoluzione verde. Il fatto è che nel Punjab le terre coltivabili erano distribuite in maniera sostanzialmente equa, mentre normalmente nei paesi non industrializzati una ristretta cerchia di grossi proprietari detiene l'enorme maggioranza delle terre, la frazione restante essendo polverizzata tra una miriade di piccolissimi proprietari, ognuno dei quali manda avanti da solo il proprio fondo. In tali condizioni, l'introduzione della rivoluzione verde ha l'effetto di aggravare le disuguaglianze già esistenti. I grossi latifondisti di solito sono i primi ad adottare le nuove tecniche, dato che dispongono di capitali e possono affrontare i rischi che esse comportano. Di per sé, l'introduzione delle nuove varietà di sementi non implica la meccanizzazione dell'agricoltura, ma tale conversione appare subito conveniente, poiché la possibilità di fare più raccolti all'anno richiede di accelerare al

massimo le operazioni di mietitura e di semina. Nelle tenute sufficientemente grandi, semplici considerazioni economiche portano inevitabilmente a rimpiazzare il lavoro umano con le macchine e ad allargare continuamente i confini della proprietà. Si crea, in sostanza, un anello di retroazione socioeconomico positivo, le cui conseguenze sono: espulsione dei lavoratori dall'agricoltura, aumento delle migrazioni interne dirette verso i centri urbani, conseguente incremento della sottoalimentazione, giacché è verosimile che queste nuove masse di disoccupati non abbiano la possibilità materiale di acquistare gli alimenti che le nuove tecniche hanno consentito di produrre. « ... nel Pakistan occidentale, attualmente il reddito di un bracciante agricolo è appena pari a quello di cinque anni fa, meno di 100 dollari all'anno. Viceversa, un grosso proprietario terriero, padrone di una tenuta di 1500 acri coltivati a frumento, mi disse che nell'ultimo inverno il raccolto gli aveva fruttato un reddito netto superiore a 100 000 dollari. »* Nel Messico, la rivoluzione verde, introdotta nel 1940, ha determinato un incremento medio della produzione agricola pari al 5% annuo per tutto il periodo 1940-60; ma dal 1950 al 1960 il numero medio di giornate lavorative annue per un bracciante è sceso da 194 a 100, e il suo reddito reale annuo da 68 a 56 dollari. L'80% dell'incremento della produzione agricola si è verificato nel 3% dei fondi.

Questo non significa necessariamente che la rivoluzione verde sia stata un errore, ma indica l'esigenza di valutare in anticipo queste ripercussioni sociali prima di introdurre su larga scala qualsiasi innovazione tecnologica. « Solo adesso si rende manifesto che l'introduzione di nuove tecniche è destinata al successo solo se la popolazione agricola è sufficientemente omogenea, se le condizioni culturali e psicologiche sono tali da predisporre favorevolmente al cambiamento e al progresso, se esiste un embrione di capitale agricolo... occorre altresì evitare il pericolo di un'esplosione sociale operando in precedenza una politica di riforme agrarie, in modo che i benefici apportati dalle nuove tecniche si distribuiscano su una base la più ampia possibile. »** Ovviamente, tale opera di preparazione del terreno sociale richiede quanto meno del tempo. Ogni volta che si verifica un cambiamento nel normale andamento delle cose, si rende necessario un certo tempo di assestamento, durante il quale la gente, più o meno consapevolmente, modifica la struttura del sistema sociale per adeguarla al cambiamento; nella maggior parte dei casi, tale assestamento dovrebbe essere effettuato, almeno in parte, prima dell'adozione delle tecniche innovatrici.

* Hardin G., *The cybernetics of competition; a biologist's view of society*, in Shepard P., McKinley D. (ed.), *The subversive science*, Boston (1969).

* Critchfield R., *It's a revolution all right*, New York (1971).

** Brown L. R., *Seeds of change*, New York (1970).

Ai ritardi materiali, già menzionati, bisogna quindi aggiungere questi ritardi sociali, corrispondenti al tempo occorrente perché la società si prepari nel modo migliore a ogni intervento perturbatore esterno; ma col procedere dello sviluppo esponenziale si creano a ritmo crescente delle spinte addizionali, che hanno l'effetto di rendere sempre più critici tali ritardi. Infatti, consideriamo il processo di crescita demografica: per passare da 1 a 2 miliardi di abitanti sono occorsi più di 100 anni, il terzo miliardo si è raggiunto in 30 anni, il quarto in meno di 20, e probabilmente la popolazione arriverà a toccare i 7 miliardi di abitanti prima dell'anno 2000, cioè fra soli 28 anni. Il progresso tecnologico è stato abbastanza rapido da seguire tale aumento, ma lo stesso non può dirsi per il progresso sociale, politico, etico, educativo.

Problemi tecnicamente insolubili. Le città americane furono caratterizzate, agli inizi, da una crescita assai rapida: la terra era abbondante e quindi disponibile a basso prezzo, nuove costruzioni sorgevano a ritmo continuo, popolazione e reddito crescevano in tutto il paese. Alla fine, tuttavia, le aree urbane centrali giunsero a saturazione, e ciò minacciava di porre fine allo sviluppo economico e alla crescita della popolazione in tali aree. Grattacieli e ascensori furono la risposta tecnica che permise di rimuovere l'ostacolo rappresentato dalla limitatezza della superficie disponibile. L'incremento della popolazione e degli affari ne presentò ben presto un altro, giacché i centri urbani, congestionati di traffico, rischiavano di vedere bloccato ogni movimento di uomini e di merci; anche per questo problema la tecnologia aprì rapidamente una soluzione, con la creazione di una rete di trasporti pubblici, di superstrade, di eliporti sulla cima degli edifici più alti. Risolto anche il problema dei trasporti, i grattacieli ripresero a crescere sempre più alti e la popolazione ad aumentare. Attualmente, però, la crescita si è arrestata, nella maggior parte delle metropoli degli USA: delle dieci città principali, New York, Chicago, Detroit e Filadelfia hanno fatto registrare una diminuzione della popolazione, tra il 1960 e il 1970, Washington è rimasta a livello stazionario, mentre Los Angeles, Houston, Dallas e Indianapolis continuano a crescere, quanto meno annettendosi via via i centri circostanti. Le aree dei centri urbani sono oppresse da rumore, sporcizia, inquinamento, criminalità, miseria, alte percentuali di drogati, per cui le famiglie benestanti che possono farlo si vanno spostando verso le fasce suburbane. L'espansione si è in tal modo definitivamente arrestata, e per cause a cui non si può trovare un rimedio puramente tecnico.

« Una soluzione può definirsi puramente tecnica allorché le modificazioni che essa richiede non escano dal campo delle scienze naturali

e quindi non impegnano che in misura trascurabile le risorse morali o il sistema di valori che ispira l'agire dell'uomo. »* È molto probabile che anche i problemi relativi alla crescita della popolazione e del capitale siano tali da non ammettere una soluzione puramente tecnica: in tal caso lo sviluppo potrebbe arrestarsi anche se il progresso tecnologico continuasse ad avanzare secondo le speranze degli ottimisti. In alcuni scritti riguardanti la corsa all'armamento nucleare, i rapporti tra popolazione e inquinamento, l'unità politica all'interno di un sistema nazionale, si trova un'eccellente trattazione generale del tema 'problemi senza soluzione tecnica'.

Scelta dei limiti. La civiltà occidentale finora ha reagito alle spinte naturali che l'ambiente esercita su ogni processo di crescita affidandosi alla tecnologia; tale risposta è stata sempre coronata dal successo, tanto che si è formata una tradizione culturale tendente a esaltare la battaglia per il superamento dei limiti naturali, piuttosto che a cercare la possibilità di vivere all'interno di essi. La stessa vastità della terra, con le sue apparentemente inesauribili riserve di materie prime, sembrava stimolare una simile impostazione, specialmente in confronto con la relativa piccolezza dell'uomo e delle sue attività.

Adesso però, come abbiamo cercato di mostrare, il rapporto tra le attività dell'uomo e i limiti della terra sta cambiando. Ogni anno ormai milioni di abitanti e miliardi di tonnellate di sostanze inquinanti vengono immessi nel sistema naturale, da cui vengono sottratti enormi quantitativi di materie prime; perfino nell'oceano, che una volta appariva inesauribile, le specie animali — soprattutto quelle oggetto di commercio — vanno scomparendo una dopo l'altra. Sono le statistiche della FAO a rivelarci che nel 1969, per la prima volta dopo vent'anni, il quantitativo totale di pescato è diminuito, nonostante l'adozione di metodi intensivi e il ricorso alla meccanizzazione. L'aringa scandinava, ad esempio, e il merluzzo atlantico si vanno facendo sempre più rari. Le vicende della caccia alle balene mostrano però che l'umanità non sembra in grado di trarre profitto da tali insegnamenti: continuando a superare i limiti naturali, cacciando una varietà dopo l'altra con un sempre più vasto spiegamento di mezzi, si è arrivati a un punto che lascia prevedere come unica conclusione possibile l'estinzione di balene e balenieri, a meno che non venga imposto un limite rigoroso al numero di balene che possono essere catturate ogni anno. Un provvedimento del genere non favorirebbe certo lo sviluppo dell'industria legata a tale attività, ma ciò è forse preferibile alla scomparsa delle balene e dell'industria stessa.

* Hardin G., *The tragedy of the commons*, in *Science*, CLXII, 3859, 1243 (1968).

Qualunque società che si sforzi di oltrepassare i limiti posti dalla natura facendo ricorso a nuove tecniche si trova a un certo punto di fronte a una scelta fondamentale: è preferibile adattarsi a vivere all'interno di tali limiti, accettando una regolazione autoimposta del processo di sviluppo e di crescita, oppure continuare sulla via dello sviluppo, fino al manifestarsi di qualche ostacolo naturale, sperando che nel frattempo i progressi della tecnica consentiranno di rimuoverlo? Negli ultimi secoli l'umanità ha seguito questo secondo indirizzo, con tale insistenza, peraltro sempre coronata dal successo, da farci dimenticare che esiste anche un'altra via.

Si può discutere sulla necessità che popolazione e capitale interrompano adesso la propria crescita, ma nessuno, crediamo, può sostenere che essa possa continuare indefinitamente sul nostro pianeta. Attualmente l'uomo può ancora operare una scelta, in quasi tutti i settori della propria attività: è ancora possibile fissare dei limiti e decidere di fermare lo sviluppo al momento voluto, contrastando alcune delle forze che tendono a favorire la crescita della popolazione e del capitale o stimolando quelle che agiscono in senso contrario. È scontato che questo secondo tipo di intervento non sarà completamente indolore, giacché richiederà probabilmente di modificare molte strutture socio-economiche che, affermatesi in secoli di storia e di progresso, fanno ormai parte integrante del patrimonio culturale dell'umanità. D'altra parte, aspettare che il prezzo della tecnologia divenga troppo alto, o che gli effetti collaterali del progresso tecnologico distruggano essi stessi tale progresso, o che si presentino problemi tali da non ammettere soluzione tecnica, può riuscire assai più doloroso: a quel punto, infatti, non vi sarà più alcuna possibilità di scelta, e lo sviluppo verrà inesorabilmente troncato da forze al di fuori di ogni nostra capacità di intervento. Abbiamo ritenuto necessario soffermarci fin qui sull'analisi della tecnologia, poiché ci siamo resi conto che l'ottimismo tecnologico rappresenta la più comune e pericolosa reazione alle nostre conclusioni sull'esame del modello mondiale. La tecnologia può alleviare i sintomi dei mali che affliggono il mondo, senza agire sulle cause fondamentali. La fiducia nella tecnologia come soluzione definitiva a tutti i problemi può sviare la nostra attenzione dall'aspetto fondamentale della situazione, lo sviluppo in un sistema finito, impedendoci così di applicare i provvedimenti realmente necessari.

D'altra parte, il nostro intento non è quello di respingere la tecnologia come dannosa o inutile o comunque non necessaria; anzi, come verrà illustrato meglio nel prossimo capitolo, molti dei provvedimenti tecnologici fin qui menzionati (riutilizzazione dei materiali già sfruttati, metodi di controllo dell'inquinamento, sistemi anticoncezionali) avranno una

importanza vitale anche in una situazione di equilibrio. D'altra parte, gli stessi autori di questo studio sono dei tecnici, che rifiutano ogni irragionevole ostilità nei confronti della tecnologia, così come ogni manifestazione di fiducia cieca nei benefici che essa potrebbe arrecare. Il motto di una associazione americana per la salvaguardia della natura, The Sierra Club, può efficacemente sintetizzare tale posizione: « Non cieca opposizione al progresso, ma opposizione al progresso cieco ». A conclusione di questo capitolo, possiamo riassumere quanto precede in tre domande, che sono indirizzate agli ottimisti tecnologici, ma che tutti dovrebbero porsi, prima di continuare a porre ciecamente le proprie speranze nei miracoli della tecnologia:

- 1) quali effetti collaterali, a livello materiale e sociale, può determinare la diffusione su scala mondiale del processo di sviluppo economico e di crescita demografica?
- 2) quali modificazioni bisognerà introdurre nel tessuto sociale per rendere tale sviluppo pienamente accetto, e quanto tempo richiederanno?
- 3) nell'ipotesi di riuscire a rimuovere i limiti naturali che attualmente ostacolano tale sviluppo, quale sarà il prossimo limite in cui l'umanità si imbatte? non comporterà per caso delle restrizioni più severe di quelle che sperimentiamo oggi?

VI

Lo stato di equilibrio globale

In assenza di vincoli, come si è visto, gli anelli a retroazione positiva tendono a fare crescere esponenzialmente le grandezze su cui agiscono: è il caso della popolazione mondiale e del capitale industriale, il cui livello è spinto sempre più in alto dai due anelli positivi che dominano il funzionamento del sistema globale. Ma in ogni sistema reale, di dimensioni finite, esistono dei limiti naturali che a un certo punto intervengono a bloccare la crescita esponenziale; essi corrispondono a degli anelli di retroazione negativi che si intrecciano con quelli positivi e si fanno sentire tanto più fortemente quanto più il processo di crescita si approssima a toccare il tetto delle capacità di sostentamento dell'ambiente; alla fine, gli effetti delle retroazioni negative controbilanciano o superano quelli delle retroazioni positive, e la crescita si arresta.

Nel sistema mondiale, i limiti naturali sono rappresentati dall'inquinamento, dall'esaurimento delle risorse naturali, dalla mancanza di alimenti. Senonché, a causa dei ritardi con cui si manifestano le conseguenze di queste retroazioni negative, popolazione e capitale tenderebbero a superare temporaneamente i limiti naturali, accelerando il processo di depauperamento delle risorse naturali, riducendo quindi le capacità di sostentamento dell'ambiente e rendendo ancora più grave il declino finale della popolazione e del capitale.

Già oggi in molti settori dell'attività umana si avverte la pressione esercitata da queste retroazioni negative, tendenti ad arrestare lo sviluppo, e verso di esse si è soprattutto indirizzata l'azione dell'uomo, nel tentativo di indebolire la pressione di tali anelli o di mascherarne gli effetti, mediante il ricorso a soluzioni tecniche che consentano una crescita continua e indisturbata.

Sappiamo però che a lunga scadenza tali soluzioni si rivelano insuf-

ficienti, giacché non consentono di scongiurare la rottura dei confini naturali e la conseguente catastrofe.

Vi è un'altra maniera di risolvere i problemi connessi con lo sviluppo, ed è quella di cercare di contrastare l'azione degli anelli positivi che determinano tale sviluppo; si tratta però di una soluzione che non ha quasi precedenti storici, non essendo stata mai nemmeno presa in considerazione in alcun settore della moderna società. In queste condizioni, l'unica possibilità è quella di studiarne i risultati in sede di modello, mentale o scritto. In particolare, si vuole verificare se, in seguito alla introduzione di qualche provvedimento volto a mettere sotto controllo il processo di sviluppo, il modello si comporti in maniera migliore. È bene precisare che esprimendo tale giudizio si sovrappone al modello il sistema di valori e la scala di preferenze degli sperimentatori. I valori introdotti nelle relazioni causali sono i reali valori secondo cui opera il sistema mondiale, determinati con la migliore approssimazione possibile; i criteri, invece, che portano a giudicare 'buono' o 'cattivo' il risultato di un esperimento di simulazione sono quelli propri dell'autore o degli osservatori.

Abbiamo già in qualche modo anticipato la nostra posizione, respingendo come indesiderabile la prospettiva dello scavalco dei limiti naturali e del collasso; per precisare adesso quello che riteniamo 'meglio', possiamo dire che vogliamo ottenere un diagramma di risposta raffigurante un sistema: che possa mantenersi nel tempo, senza la prospettiva di un'improvvisa, incontrollabile catastrofe; che sia in grado di soddisfare i bisogni primari di tutti i suoi abitanti.

Vediamo ora quali provvedimenti possono indirizzare il comportamento del modello mondiale in questa direzione.

Lo sviluppo autocontrollato

Come si è visto, l'anello positivo che determina la crescita della popolazione comprende l'indice di natalità e tutti quei fattori socio-economici che hanno influenza su esso; la sua azione è contrastata dall'anello negativo facente capo all'indice di mortalità. Solo in tempi relativamente recenti l'anello positivo delle nascite ha assunto un peso dominante, in seguito al successo delle campagne per la riduzione della mortalità: l'azione compensatrice dell'anello negativo è stata indebolita, consentendo così all'anello positivo di operare senza restrizioni. Per restaurare la preesistente condizione di equilibrio, allora, non vi sono che due alternative: o abbassare l'indice di natalità per portarlo allo stesso valore che ha assunto l'indice di mortalità, o lasciare che quest'ultimo aumenti nuovamente. Tutte le forze naturali che intervengono a regolare il processo

di crescita della popolazione operano in questa seconda maniera.

Se però una qualsiasi società vuole evitare un aumento della mortalità, deve mettere sotto controllo l'anello positivo delle nascite, cioè deve cercare di abbassare l'indice di natalità. In un modello dinamico, non v'è alcuna difficoltà a contrastare la 'fuga' di una grandezza, determinata da un anello a retroazione positiva: è sufficiente aggiungere un altro legame, che nel nostro caso deve collegare l'indice di natalità con quello di mortalità (FIG. 47): cioè bisogna fare in modo che il numero di nuovi nati ogni anno uguagli il prevedibile numero di morti dello

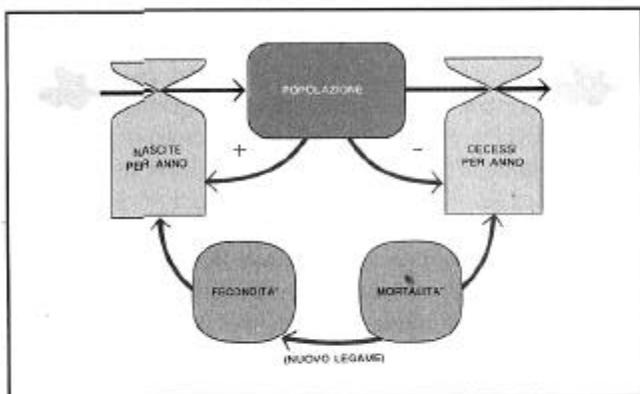


Fig.47 Stabilizzazione del livello di popolazione. L'instaurazione di un legame diretto tra mortalità e natalità consente di ottenere tale risultato, per qualsiasi condizione e modificazione esterna, uguagliando i valori delle nascite e dei decessi.

stesso anno, per una certa popolazione. In questa sede prescindiamo dalla realizzabilità politica di tale programma, che si presenta tanto spinoso sul piano sociale quanto è semplice in termini matematici: si tratta per ora di un'ipotesi sperimentale, non di una indicazione concreta. Supposto allora di realizzare nel modello tale programma nell'anno 1975, il risultato è quello illustrato nel diagramma di FIG. 48. La popolazione adesso rimane costante dato che l'effetto dell'anello positivo delle nascite sulla crescita della popolazione viene esattamente bilanciato. All'inizio, indice di natalità e di mortalità hanno valore piuttosto basso; senonché, l'anello positivo che governa la crescita del capitale industriale continua a operare incontrollato, e il guadagno di tale anello cresce, in presenza di una popolazione stazionaria. Reddito, alimenti e servizi pro capite aumentano vertiginosamente, e lo sviluppo

viene presto interrotto dall'esaurimento delle risorse naturali. L'indice di mortalità aumenta, ma la popolazione non diminuisce giacché per ipotesi deve aumentare nella stessa misura anche l'indice di natalità (il che a questo punto è chiaramente assurdo). Se quanto vogliamo è un sistema stabile, risulta necessario impedire che anche uno solo dei due anelli critici di retroazione positiva generi uno sviluppo incontrollato.

Non è quindi sufficiente stabilizzare il livello di popolazione per evitare la crisi finale, e si può vedere che non sarebbe sufficiente nemmeno limitarsi a stabilizzare il livello del capitale industriale;

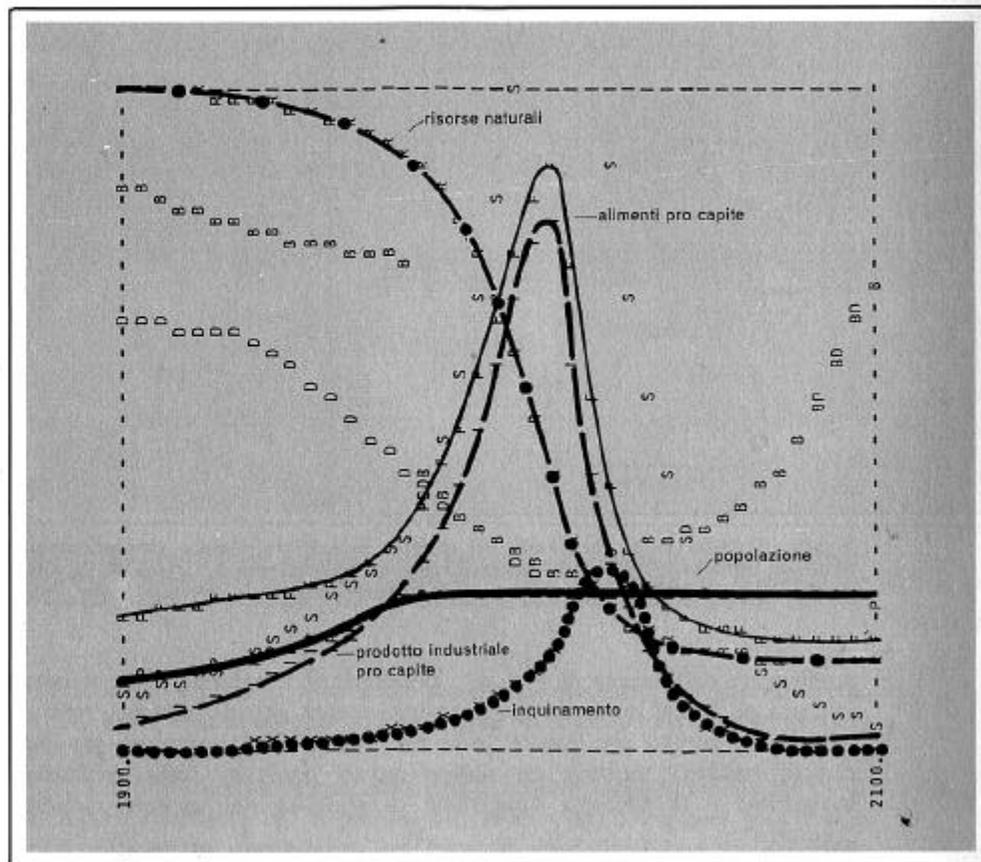


Fig.48 Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale nell'ipotesi di una condizione di equilibrio della popolazione istituita a partire dal 1975. Anche in tale ipotesi lo sviluppo viene a cessare in seguito all'esaurirsi delle risorse naturali.

occorre mettere sotto controllo entrambi gli anelli positivi da cui fondamentalmente dipende il processo di crescita. Il capitale industriale può essere stabilizzato imponendo che il tasso d'investimento si mantenga uguale a quello di deprezzamento (FIG. 49), aggiungendo un legame tra questi due indici esattamente analogo a quello che si era introdotto per fissare il livello di popolazione.

Le curve di FIG. 50 mostrano i risultati a cui si perviene supponendo di bloccare la crescita della popolazione nell'anno 1975 e lo sviluppo del capitale industriale nel 1985 senza altri cambiamenti (il capitale viene lasciato crescere 10 anni di più per innalzare leggermente il tenore medio di vita). In questo modo si riesce a evitare la grave crisi

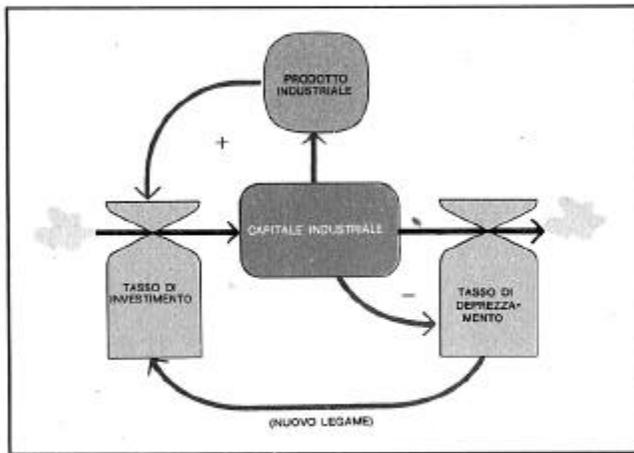


Fig.49 Stabilizzazione del livello del capitale industriale. Questo risultato diventa possibile introducendo un legame fra il tasso di investimento e il tasso di deprezzamento, che consenta di mantenere costantemente uguali i valori dei due indici.

configurata dalle curve di FIG. 48: popolazione e capitale si mantengono costanti ed è assicurato un livello relativamente alto di alimenti, prodotti industriali, servizi pro capite. Alla fine, però, il depauperamento delle risorse naturali provoca un abbassamento generale della produzione industriale e la precaria condizione di stabilità del sistema mondiale precipita.

Per ottenere insieme uno standard di vita materiale accettabile e una situazione più stabile, bisogna combinare l'adozione dei ritrovati della tecnologia con il cambiamento di alcuni dei valori fondamentali

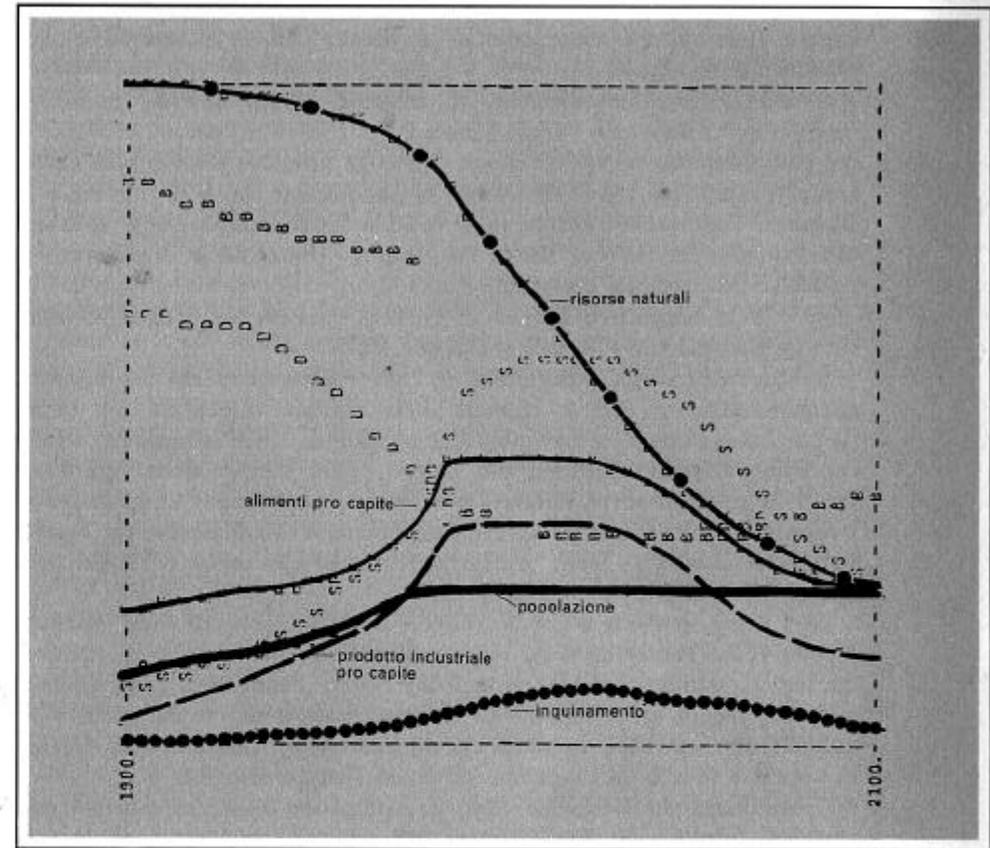


Fig.50 Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale nell'ipotesi di bloccare la crescita della popolazione dal 1975 e lo sviluppo del capitale industriale dal 1985. La stabilità viene compromessa dall'esaurirsi delle risorse naturali.

della società umana in modo da ridurre la tendenza del sistema verso lo sviluppo. Consideriamo il diagramma di FIG. 51a ricavato in base alle seguenti ipotesi:

1) La popolazione viene mantenuta costante uguagliando indici di natalità e di mortalità, a partire dal 1975. Per il capitale industriale, la condizione di uguaglianza tra tasso di investimento e di deprezzamento viene imposta nel 1990, mentre fino a tale data esso può crescere senza limitazioni.

2) Il consumo di materie prime per unità di prodotto industriale

viene ridotto a 1/4 del valore attuale, per evitare l'esaurimento delle riserve (tale misura viene adottata a partire dal 1975, come le condizioni che seguono).

3) Per ridurre ulteriormente il depauperamento di tali riserve, e insieme per combattere l'inquinamento, l'attività economica della società nel suo complesso viene indirizzata verso la produzione di servizi (istruzione, sanità) piuttosto che verso la produzione di beni materiali di consumo (questo cambiamento si ottiene introducendo una relazione che esprime l'entità dei servizi pro capite 'prescritti' o 'desiderati' in funzione del reddito crescente).

4) L'inquinamento per unità di prodotto industriale e agricolo viene ridotto anch'esso a 1/4 del valore del 1970.

5) Poiché anche l'introduzione di tutti i provvedimenti sopraelencati comporterebbe un valore modesto della razione alimentare pro capite (il che, considerate le inevitabili disuguaglianze di distribuzione, significherebbe sottoalimentazione per alcuni), ogni sforzo viene indirizzato verso la produzione di alimenti per l'intera popolazione, impegnandovi i capitali occorrenti anche se ciò possa apparire 'antieconomico' (questa variante è introdotta sulla base della relazione che esprime l'entità degli alimenti pro capite 'prescritti').

6) Le più moderne tecniche agricole comunemente adottate rischiano di provocare l'erosione delle terre coltivabili e in tal modo di compromettere la stabilità del settore agricolo: viene data allora la precedenza alle tecniche di arricchimento e di conservazione dei suoli, ad esempio estendendo l'uso degli impianti che trasformano i rifiuti urbani organici in concime (e allo stesso tempo riducono l'inquinamento).

7) Indirizzando il capitale verso la produzione di servizi e di alimenti, verso le tecniche di riutilizzazione delle materie prime già usate e di controllo dell'inquinamento, si ottiene in definitiva uno stock di capitale industriale molto basso. Viene allora prolungata la vita media dei prodotti mediante una più accurata progettazione, che deve altresì facilitare le riparazioni e allontanare l'obsolescenza (anche questi provvedimenti hanno influenza benefica sul problema dell'inquinamento e della scarsità di risorse naturali).

Come si vede dal diagramma, la popolazione mondiale si stabilizza a un livello che è solo leggermente più alto di quello attuale; la disponibilità di alimenti pro capite arriva a un valore più che doppio di quello del 1970 e la durata media della vita in tutto il mondo è di circa 70 anni. Inoltre, il prodotto industriale medio pro capite è molto superiore al valore odierno, mentre l'ammontare dei servizi pro capite risulta triplicato. In totale, il reddito medio pro capite, risultante da prodotto industriale, alimenti, servizi, ha un valore di 1800 dollari: pari alla

media attuale europea, al triplo della media mondiale, e solo alla metà dell'attuale media degli USA.

Anche in questa situazione, come è ovvio, si fa un certo consumo di materie prime e quindi le riserve subiscono un certo depauperamento; ma il tasso di sfruttamento è così basso che la tecnologia e l'industria possono adeguarsi alle via via mutate condizioni di disponibilità.

I valori numerici assunti dalle varie grandezze in questo esempio di simulazione non sono rigorosamente fissati: ogni popolo e ogni società potrebbero scegliere un diverso assetto finale, dando più importanza alla produzione di alimenti, o alla stabilità, o alla lotta contro l'inquinamento, o al reddito materiale. L'esempio riportato serve solo a mostrare quali livelli di popolazione e di capitale sono fisicamente sostenibili sulla Terra, assumendo le ipotesi più ottimistiche: naturalmente, il modello non può indicarci come ottenere questo risultato, ma solo quali risultati è più ragionevole perseguire.

Ritornando a considerare il mondo reale e abbandonando quindi le ipotesi meno realistiche (è assurdo infatti pensare di riuscire a stabilizzare definitivamente e immediatamente il livello di popolazione e quello del capitale), vediamo che possiamo praticamente ottenere gli stessi risultati indicati dalle curve di FIG. 51a sostituendo all'ipotesi 1) vista in precedenza le seguenti tre. A partire dal 1975:

a) la popolazione è in grado di attuare il controllo delle nascite con un'efficacia del 100%;

b) ogni famiglia mediamente non desidera più di 2 figli;

c) il sistema economico nel suo complesso opera con l'obiettivo di mantenere il prodotto industriale medio pro capite pressoché al livello del 1975. Ogni eccesso di produttività viene indirizzato alla fabbricazione di beni di consumo piuttosto che all'aumento del tasso di investimento, che deve rimanere in equilibrio con il tasso di deprezzamento.

Le altre sei condizioni vengono invece mantenute, e il risultato è quello illustrato in FIG. 51b. Per effetto dei ritardi naturali, la popolazione sale a un livello alquanto più alto che nell'esempio di FIG. 51a, e quindi beni materiali, alimenti e servizi pro capite assumono valori più ridotti (ma comunque superiori a quelli medi mondiali di oggi).

Evidentemente, non si può pensare di riuscire a tradurre in atto le condizioni sopraelencate senza la necessaria gradualità: e tuttavia, va espressamente chiarito che una situazione finale di stabilità sarà tanto più difficile da raggiungere quanto più tardi si interverrà a interrompere il processo di crescita esponenziale.

Le curve di FIG. 51c mostrano l'andamento risultante delle varie grandezze del sistema mondiale, nell'ipotesi che gli stessi provvedimenti dell'esempio precedente vengano adottati 25 anni più tardi, e cioè nel

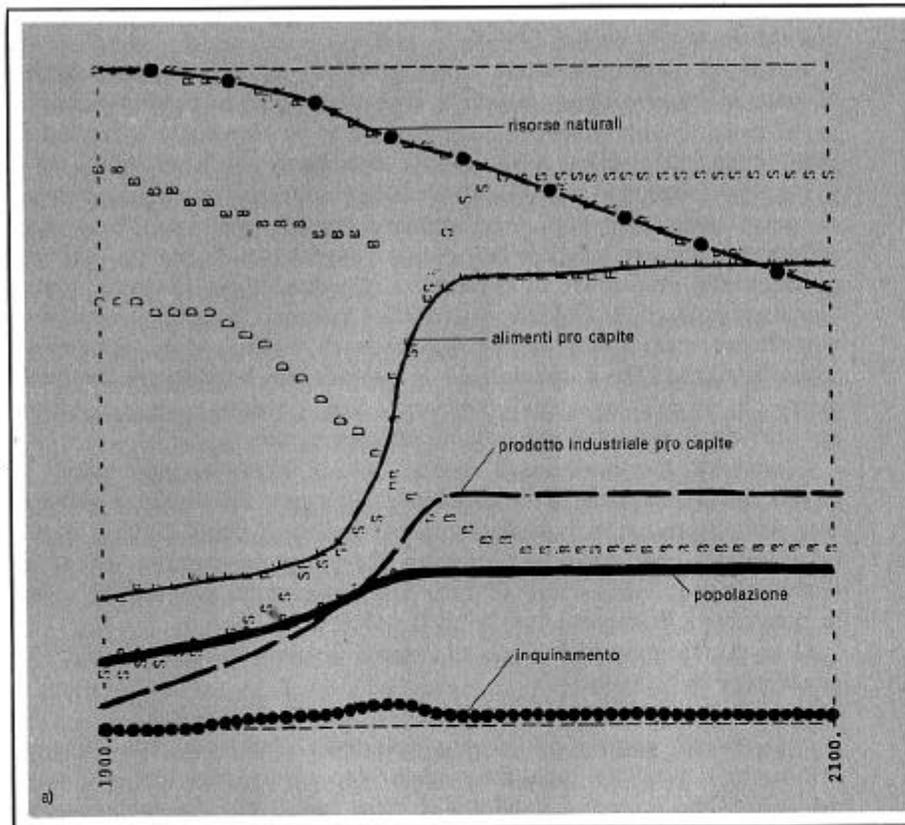


Fig.51a Andamento delle grandezze più significative del sistema mondiale in base a una serie di ipotesi discusse nel testo. La loro applicazione conduce a una situazione stabile e a un PNL lordo pro capite medio mondiale tre volte quello del 1970.

2000 anziché nel 1975. Popolazione e prodotto industriale pro capite arrivano a livelli assai più alti: per conseguenza anche l'inquinamento assume un valore più alto e le riserve di risorse naturali vengono gravemente compromesse, nonostante le misure prese. Dal confronto dei diagrammi, risulta in particolare che, nel sistema di FIG. 51c il consumo di risorse naturali nel periodo 1975-2000 è pari a quello che si verifica nel sistema di FIG. 51b durante tutto il periodo 1975-2100.

I provvedimenti che gli esperimenti di simulazione sul modello hanno indicato come necessari per scongiurare la crisi finale del sistema mondiale potranno sembrare a molti di impossibile attuazione, e inoltre poco

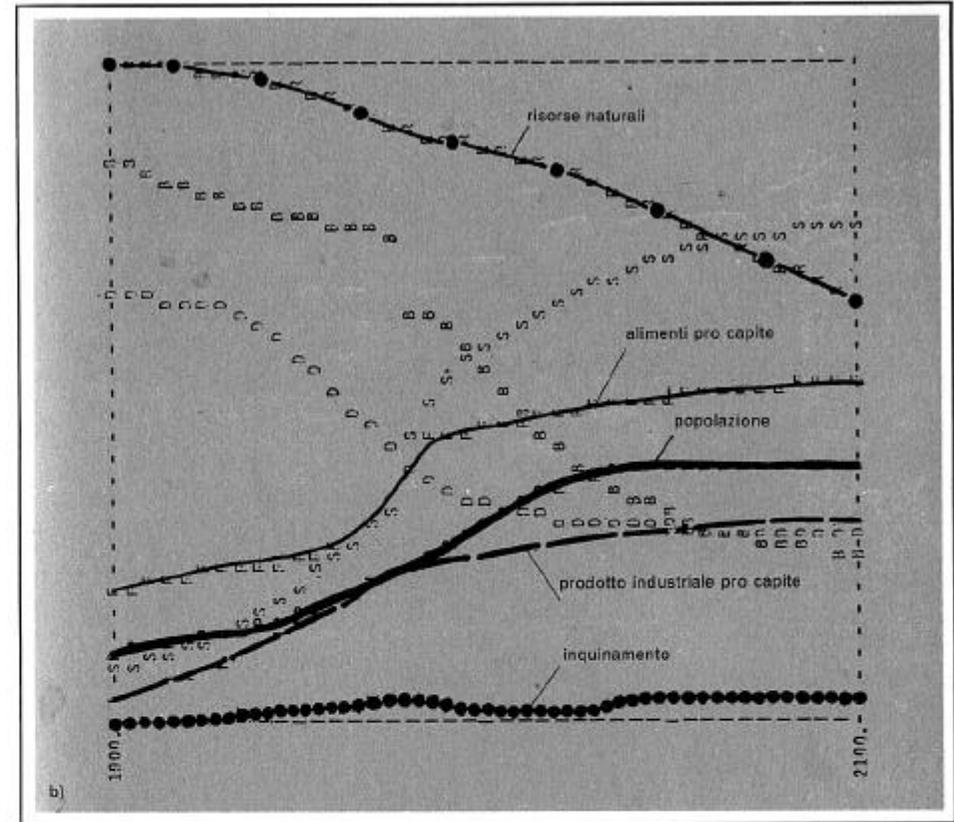


Fig.51b Le ipotesi precedenti sono corrette in vista di una loro più ragionevole applicabilità. Il PNL pro capite medio mondiale è inferiore rispetto ad a) ma è comunque superiore all'attuale e il sistema mondiale continua a mantenersi stabile.

piacevoli, pericolosi, forse disastrosi di per sé stessi. La maggior parte delle persone, ad esempio, è portata dalla propria esperienza quotidiana di vita a giudicare innaturale ogni misura volta a ridurre l'indice di natalità e a sottrarre del capitale alla produzione di beni: anche il semplice discutere di così profonde modificazioni degli attuali orientamenti della società potrebbe apparire inutile, se qualcosa ci lasciasse sperare che l'attuale processo di crescita incontrollata è destinato a durare. Al contrario, tutto sembra indicare che tale crescita si arresterà e che l'unica alternativa è fra il lasciare che sia la natura a intervenire troncando il processo di sviluppo o l'intervenire noi stessi

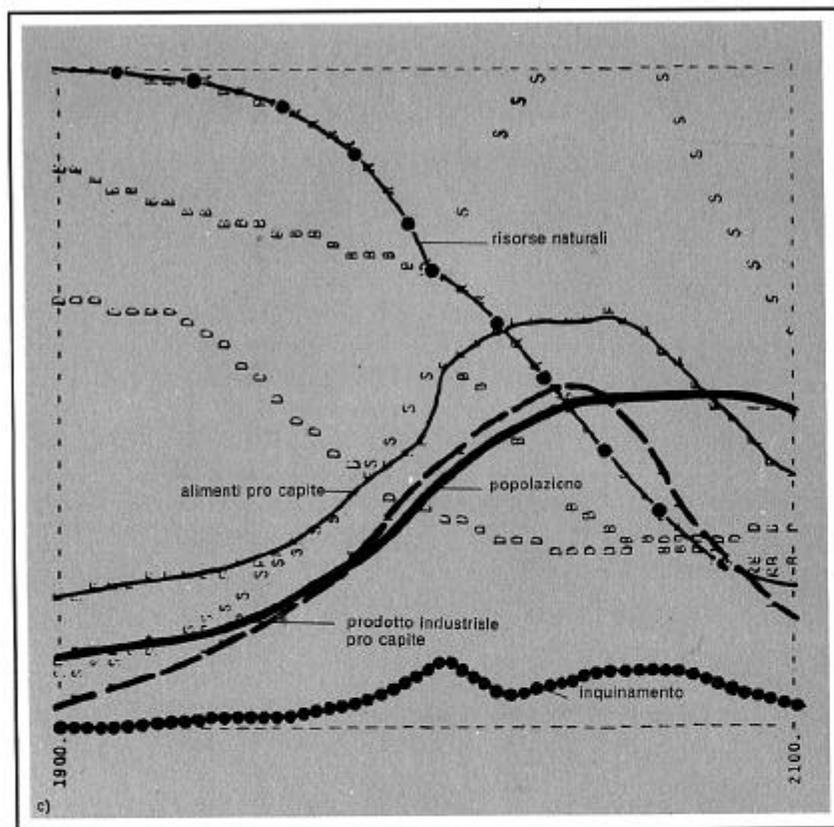


Fig. 51c I provvedimenti dell'esempio precedente sono differiti al 2000. L'equilibrio del sistema mondiale è però compromesso poiché 25 anni di crescita ulteriore di popolazione e capitale portano alimenti e risorse a esaurirsi prima del 2100.

a controllarlo in maniera cosciente. Nel primo caso, non c'è altro da fare che lasciare che le cose seguano il proprio corso e aspettare di vedere quello che succederà: il risultato più probabile di tale decisione sarà un'inarrestabile caduta del livello di popolazione e del capitale. Non è facile valutare concretamente la portata di tale crisi, giacché essa potrebbe assumere forme differenti: potrebbe esplodere in tempi diversi nelle diverse zone della Terra, o manifestarsi contemporaneamente su scala mondiale; potrebbe sopravvenire di colpo, o con una certa gradualità. Supponendo di raggiungere per primo il limite della produzione di alimenti, le decimazioni più severe colpirebbero i paesi

non industrializzati; se invece si arrivasse alla crisi per esaurimento delle materie prime, i più colpiti sarebbero i paesi industrializzati. Potrà darsi che la terra mantenga la propria capacità di sostenere e nutrire piante e animali, o forse anche tali forme di vita saranno coinvolte o totalmente distrutte. In ogni caso, la popolazione umana sopravvissuta, comunque esigua, disporrebbe di basi materiali assai ridotte per dare vita a una qualsiasi nuova forma di società.

Una crescita autocontrollata si prospetta assai più difficile e gravosa, tale da mettere a dura prova l'inventiva, l'adattabilità, l'autodisciplina degli uomini, a cui richiederà di modificare radicalmente il proprio modo di affrontare la realtà in numerosi campi. Impegnarsi a istituire un controllo sul progresso di sviluppo significa accettare una sfida estremamente impegnativa, e probabilmente molti si chiederanno, e a ragione, se il risultato finale sarà degno di tanti sforzi, se il bilancio tra i benefici che l'umanità potrà ricavarne e i vantaggi a cui dovrà rinunciare si prospetti positivo. Proviamo allora a considerare il futuro del mondo in condizioni di equilibrio.

Lo stato di equilibrio

In epoche diverse, filosofi, umanisti, biologi hanno definito qualche condizione di equilibrio per il genere umano, battezzandola con nomi differenti, ognuna di tali definizioni essendo poi variamente caratterizzata dall'autore per precisarne il significato. Per definire la condizione di popolazione e capitale costante illustrata nella FIG. 51a, b si è qui adottato il termine 'equilibrio', dopo avere attentamente considerato il senso che viene comunemente attribuito alle varie espressioni. Equilibrio significa 'condizione determinata dall'azione simultanea di forze uguali e opposte'. Nei termini dinamici del nostro modello del mondo, le forze contrastanti sono quelle che tendono a fare aumentare popolazione e capitale (desiderio di una famiglia numerosa, scarsa efficacia del controllo delle nascite, elevato tasso di investimento di capitale) e quelle che tendono a farli diminuire (mancanza di alimenti, inquinamento, elevato tasso di deprezzamento o di obsolescenza). Pertanto, la definizione fondamentale dello stato di equilibrio per il sistema mondiale è la condizione in cui popolazione e capitale rimangono sostanzialmente costanti, grazie al controllo esercitato sulle forze che tendono a farli aumentare o diminuire (in questo capitolo la parola 'capitale' indica l'insieme del capitale industriale, del capitale agricolo e del capitale investito nel settore dei servizi).

Nell'ambito di tale definizione le singole grandezze possono variare ampiamente, giacché capitale e popolazione possono rimanere costanti

Ci si può chiedere come potrebbe essere la vita in tale stato di equilibrio: se non si rischierebbe di soffocare ogni innovazione, di perpetuare l'ineguaglianza e l'ingiustizia che affliggono il mondo ai nostri giorni.

L'esame di questi interrogativi deve procedere sulla base di modelli mentali, poiché non esiste un modello formale di condizione sociale nello stato di equilibrio.

Nessuno è in grado di predire il tipo di istituzioni che la società potrebbe sviluppare sotto queste nuove condizioni. Naturalmente, non esiste alcuna garanzia che la nuova società possa presentarsi molto migliore o molto differente dall'attuale.

C'è la possibilità, tuttavia, che una società non oppressa dai problemi dello sviluppo indirizzi verso la soluzione dei problemi sociali una frazione delle energie e dell'ingegno umani assai più grande di quanto non avvenga oggi, sotto lo stimolo dello sviluppo. Noi crediamo, e cercheremo di dimostrarlo più avanti, che l'evoluzione di una società fondata sulla giustizia e sull'uguaglianza, di una società che favorisca il rinnovamento e il progresso tecnologico, proceda molto più facilmente in una situazione di equilibrio che non in una di crescita disordinata, come accade adesso.

Lo sviluppo nello stato di equilibrio. La popolazione e il capitale sono le uniche grandezze che devono rimanere costanti, in equilibrio. Qualsiasi attività umana che non impegni grandi quantitativi di risorse irricuperabili e che non contamini gravemente l'ambiente può continuare a svilupparsi senza alcuna limitazione; in particolare, potranno fiorire liberamente quelle attività che molta gente considera fonte delle più autentiche soddisfazioni: istruzione, arte, musica, letteratura, religione, filosofia, ricerca scientifica pura, sport, attività sociali. Esse richiedono soltanto che sia disponibile una certa frazione del prodotto, eccedente la parte necessaria a soddisfare le necessità primarie, e un po' di tempo libero. Regolando opportunamente i livelli relativi di popolazione e capitale, si può fare in modo che i bisogni materiali dell'uomo vengano soddisfatti nella misura voluta. Fissato quindi il quantitativo totale di beni materiali da produrre, ogni progresso nei metodi di produzione si tradurrebbe in una maggiore disponibilità di tempo libero, da dedicare a quelle attività che non assorbono frazioni elevate del reddito e non contaminano l'ambiente. In tal modo, potrebbe essere evitata l'assurda situazione descritta da B. Russell con queste parole: « Immaginiamo che, a un certo momento, un certo numero di persone sia addetto alla fabbricazione di spilli; lavorando otto ore al giorno, esse producono tanti spilli quanti la società ne richiede. Una nuova invenzione consente di raddoppiare il numero di spilli che le stesse persone possono produrre,

a parità di tempo. Senonché, non c'è richiesta di un quantitativo doppio di spilli, e questi si vendono già così a buon mercato che difficilmente si potrebbe vendere anche un solo spillo in più a prezzo inferiore. In un mondo organizzato secondo ragione, la conseguenza sarebbe che gli addetti alla fabbricazione degli spilli lavoreranno quattro ore e tutto il resto andrà avanti come prima. Ma una soluzione così semplice verrebbe oggi considerata immorale: così in realtà gli uomini continuano a lavorare otto ore, c'è sovrapproduzione di spilli, alcune fabbriche sono costrette a chiudere e metà degli addetti alla produzione di spilli sono espulsi dal lavoro. Da un punto di vista globale, le ore non lavorate sono le stesse, solo che in tal modo metà delle persone è ancora oppressa da un lavoro eccessivo e l'altra metà è a spasso. Il tempo libero, invece di essere fonte di felicità per tutti, diventa causa di miseria diffusa. Si può immaginare qualcosa di più insensato? »*

Si potrebbe temere che, in un mondo in cui tutti i bisogni fondamentali trovassero soddisfacimento e non fosse consentito alcun incremento di produzione, si arresterebbe il cammino del progresso tecnologico, che è quello che ci permette di produrre gli spilli o qualsiasi altro bene con efficienza sempre maggiore; l'uomo, si dice, deve essere punito dalle privazioni e dall'incentivo di un sempre maggiore benessere. La storia però mostra con piena evidenza che solo pochissime tra le invenzioni fondamentali sono state realizzate da uomini che dovevano dedicare tutte le proprie energie a risolvere il problema immediato della sussistenza. Al contrario, l'energia atomica, ad esempio, è stata scoperta in laboratori di ricerca pura da scienziati ignari della minaccia di un esaurimento delle riserve di petrolio. I primi esperimenti di genetica, che dovevano portare in seguito alla selezione delle varietà agricole a resa elevata, furono condotti nella quiete di un monastero europeo. Forse in tempi successivi l'urgenza del bisogno ha determinato l'applicazione di queste scoperte fondamentali ai problemi pratici (peraltro in misura che si è rivelata deleteria per l'ambiente naturale), ma solo nella libertà dal bisogno sono state elaborate le basi teoriche.

Il progresso tecnologico sarebbe quindi necessario e bene accolto, nello stato di equilibrio. Si possono elencare a titolo di esempio alcune realizzazioni e scoperte che potrebbero migliorare il funzionamento di una società in equilibrio:

- nuovi metodi di raccolta dei rifiuti, per ridurre l'inquinamento e rimettere in circolo i materiali già sfruttati;
- nuovi procedimenti di ritrattamento, a rendimento più elevato, per

* Russell B., *In praise of idleness and other essays*, Londra (1935).

ridurre il ritmo d'impoverimento delle riserve di materie prime;

- migliore progettazione dei vari prodotti, per accrescerne la durata e facilitare eventuali riparazioni, col che si rende minimo il tasso di deprezzamento del capitale;

- utilizzazione delle radiazioni solari, che costituiscono la fonte di energia maggiormente esente da effetti inquinanti;

- metodi di controllo naturali sugli agenti biologici nocivi basati su una più completa conoscenza delle correlazioni ecologiche;

- progressi delle pratiche antifecondative, che sono volti a riportare l'indice di natalità allo stesso valore dell'indice di mortalità, che va invece decrescendo.

E quale migliore incentivo per stimolare tali avanzamenti, della consapevolezza che ogni nuova idea, ogni scoperta si tradurrebbe immediatamente in un miglioramento concreto delle condizioni di vita? Ogni nuova realizzazione, non che essere causa di sovraffollamento, di degradazione dell'ambiente e di maggiori sperequazioni sociali, potrebbe dar luogo a un migliore standard di vita, o aumentare il tempo libero e rendere più soddisfacenti le condizioni generali per tutti gli uomini, se tali risultati fossero anteposti a quello dello sviluppo nella scala dei valori della società.

L'uguaglianza nello stato di equilibrio. Uno dei miti più comunemente accettati è quello secondo il quale l'uguaglianza tra gli uomini sarà realizzata se la società continuerà a svilupparsi secondo gli indirizzi attuali; al contrario, come si è dimostrato più volte, l'incremento di popolazione e di capitale avviene oggi in modo tale da tendere ad accentuare il distacco tra ricchi e poveri. Inoltre, siamo già abbastanza vicini al momento in cui la Terra non sarà più in grado di alimentare un ulteriore sviluppo e ogni passo su questa via ci avvicina al risultato ultimo di una crisi di proporzioni disastrose. L'ostacolo maggiore sulla via di una più equa distribuzione delle risorse della Terra è rappresentato dal moltiplicarsi della popolazione. E principio del tutto generale (e peraltro comprensibile, anche se riprovevole) che quanto più aumenta il numero di individui fra i quali deve essere distribuito un certo ammontare di risorse, tanto più disuguale si fa la distribuzione. D'altra parte, equa suddivisione equivale a suicidio collettivo, se non c'è abbastanza da distribuire per garantire a tutti la sussistenza. Ciò è chiaramente documentato dagli studi della FAO sulla distribuzione degli alimenti. « L'analisi delle curve di distribuzione mostra che, allorché gli alimenti a disposizione di un gruppo sociale diminuiscono, si accentuano le disuguaglianze, e il numero di famiglie sottoalimentate cresce più che in proporzione con lo scostamento dalla media. Si può inoltre osservare che la carenza di alimenti si accentua col crescere delle dimensioni del nucleo familiare a cui si

riferisce: statisticamente, i bambini nati in famiglie numerose sono predestinati alla sottoalimentazione. »*

Nello stato di equilibrio prolungato, i livelli relativi di popolazione e capitale, e i rapporti tra questi e certe entità naturali limitate, e quindi vincolanti – quali terra, acqua dolce, risorse minerali – devono essere prefissati in modo tale da garantire a ogni individuo quanto meno il necessario per vivere. Così sarà stato rimosso un primo ostacolo alla uguaglianza; ma anche l'altro ostacolo, la promessa di uno sviluppo continuo, che in realtà è solo il rifiuto di guardare in faccia la realtà, va eliminato al più presto, come afferma H. E. Daly: « Per una serie di motivi diversi, il problema principale, una volta raggiunto l'equilibrio, sarà rappresentato dalla distribuzione, non dalla produzione. Non è pensabile di continuare a ignorare la questione del benessere relativo, appellandosi allo sviluppo, né si potrà più a lungo rimandarla, osservando che ogni individuo dovrebbe essere soddisfatto di constatare che la propria quota cresce, in assoluto, senza preoccuparsi del vicino... Lo stato di equilibrio ridurrà il contributo richiesto all'ambiente, ma farà appello in misura molto maggiore di quanto non accada oggi alle risorse morali dell'uomo. »**

Naturalmente, non c'è alcuna garanzia che, una volta raggiunto l'equilibrio, le risorse morali dell'uomo siano sufficienti perché venga risolto il problema della distribuzione del reddito; ma le condizioni sono ancor meno favorevoli nell'attuale situazione di sviluppo incontrollato, che mette a dura prova tanto le risorse morali quanto quelle naturali.

Lo stato di equilibrio delineato in queste pagine è certamente idealizzato; può darsi che non sarà possibile realizzarlo esattamente con le caratteristiche qui attribuitegli, o che la maggior parte degli uomini non scelga di realizzarlo in questa forma. Il solo scopo di questa descrizione è di chiarire che equilibrio non vuol dire arresto del progresso, che anche in tale stato si offrono all'uomo ampie possibilità, che tale obiettivo merita la nostra riflessione e il nostro impegno. Naturalmente, richiederà di sacrificare certe libertà, come quella di mettere al mondo un numero incontrollato di figli o di consumare senza freno le risorse naturali disponibili. D'altra parte, esso potrebbe consentire certe altre libertà: istruzione per tutti sino ai più alti gradi, tempo disponibile per le attività creative, e soprattutto libertà dalla fame e dalla miseria, libertà di cui troppo pochi uomini al mondo possono godere oggi.

* FAO, *Provisional indicative world plan for agricultural development*, Roma (1970).

** Daly H. E., *Toward a stationary-state economy*, in Harte J., Socolow R. (ed.), *The patient earth*, New York (1971).

Il passaggio dalla fase di sviluppo alla condizione di equilibrio globale

Né il modello né la nostra riflessione possono attualmente illuminarci sui problemi concreti che comporta il passaggio dalla fase di sviluppo alla condizione di equilibrio globale, e anche sui passi da compiere per indirizzarsi su questa strada si può dire molto poco; occorreranno ancora analisi approfondite e ampie discussioni. In ogni caso, questo scritto avrà svolto il proprio compito se avrà stimolato ogni lettore a chiedersi come tale passaggio potrebbe effettivamente essere portato a termine.

Le nostre incertezze derivano anche da una carenza di informazione, come si è visto parlando dell'elaborazione del modello: ci mancano dei dati numerici, le misure di alcune grandezze. Le deficienze più gravi si riscontrano nel settore dell'inquinamento: non sappiamo quanto tempo intercorre tra l'emissione di una sostanza inquinante e l'assorbimento da parte dell'uomo; non sappiamo se il livello di inquinamento modifica la capacità di una certa sostanza inquinante di convertirsi in sostanze non nocive; non sappiamo se più agenti inquinanti presenti insieme esaltino i propri effetti sulla salute dell'uomo e neppure conosciamo gli effetti a lunga scadenza di dosi anche ridotte di agenti inquinanti sull'uomo e sugli altri organismi. Anche sui processi di erosione della terra e di sterimento dei suoli occorre approfondire le nostre conoscenze, soprattutto in considerazione dell'intensificarsi delle moderne tecniche agricole.

Come analisti di sistemi, naturalmente, noi consideriamo una ricerca volta soprattutto a stabilire la struttura dei sistemi che è quella che principalmente determina il comportamento di tutti i complessi sociali. L'andamento di questi è determinato principalmente nel contesto di quei rapporti fisici, biologici, psicologici ed economici fra la popolazione umana, il suo ambiente naturale e le sue attività economiche. Senza una profonda conoscenza dei nessi che collegano i vari elementi dei nostri sistemi socio-economici, non si può presumere di riuscire a padroneggiarli e indirizzarli nel senso voluto: ad esempio, potremmo scoprire che l'introduzione nel sistema reale di qualche meccanismo di retroazione, attualmente mancante, provoca degli effetti di stabilizzazione in grado di risolvere molte delle nostre difficoltà. Alcuni interessanti suggerimenti in tal senso sono già stati avanzati: che il prezzo di ogni prodotto includa i costi dell'inquinamento e dell'esaurimento delle risorse, che ogni utente delle acque di un fiume prelevi l'acqua a valle del punto in cui la restituisce. Nel momento in cui si riconosce che non è possibile dare a ognuno il massimo di tutto, bisogna operare delle scelte, e qui si manifestano le più gravi deficienze d'informazione, relativamente ai valori umani. Vogliamo avere più abitanti o più ricchezza, più natura

o più automobili, più alimenti per il povero o più servizi per il ricco? Rispondere a tali domande e tradurre le risposte in provvedimenti concreti è l'essenza dell'attività politica: e tuttavia non sono in molti a rendersi conto del fatto che ogni giorno c'è qualcuno che opera tali scelte, e a chiedersi quali sarebbero le proprie. In condizioni di equilibrio, bisognerà operare per adattarsi alle dimensioni finite della Terra tenendo presenti anche i valori umani delle generazioni future. Bisognerà allora disporre di conoscenze che permettano di precisare quali sono le alternative realistiche che si prospettano, quali gli obiettivi migliori dal punto di vista sociale, quali i provvedimenti più coerenti con tali obiettivi; soprattutto, bisognerà precisare tutti i programmi a lunga scadenza.

Non si può concludere senza ribadire l'urgenza con cui deve essere intrapreso lo studio di questi importanti problemi; anzi, è nostra speranza che un programma di azione immediata possa venire avviato insieme con un'intensa attività di studio e di ricerca. Abbiamo infatti più volte ricordato l'importanza dei ritardi nel sistema mondiale popolazione-capitale: ad esempio, se l'indice di natalità del Messico scendesse gradualmente dal valore attuale a un valore tale da garantire l'esatto ricambio dei suoi abitanti (cioè una media di due figli per famiglia) raggiungendo tale valore nel 2000, la popolazione di tale paese continuerebbe a crescere fino al 2060, passando da 50 milioni a 130 milioni di abitanti.

Se negli USA ogni famiglia cominciasse sin da ora ad avere due soli figli, e se il saldo migratorio netto fosse uguale a zero, la popolazione continuerebbe a crescere fino all'anno 2037, passando da 200 a 266 milioni di abitanti.

Allo stesso modo, supponiamo che nell'anno 2000 la popolazione mondiale (che secondo le stime ammonterà a 5,8 miliardi di abitanti) si assesti sull'esatto valore di ricambio dell'indice di natalità (due figli per famiglia). A causa dei ritardi che caratterizzano il ciclo riproduttivo, l'effettivo livello di popolazione si stabilizzerà, alla fine, sul valore di 8,2 miliardi di abitanti (supponendo che il tasso di mortalità non aumenti prima di allora, ipotesi improbabile secondo i risultati forniti dal modello).

Nel caso di equilibrio globale, non fare niente equivale a fare qualcosa, e di molto grave, per di più: equivale a decidere di aumentare le probabilità della catastrofe, giacché ogni giorno di crescita incontrollata è un giorno di meno che ci separa dalla data in cui avverrà la rottura dei confini naturali. Sulla base delle attuali conoscenze dei limiti fisici del pianeta, non sembra che rimangano più di 100 anni per decidere di mettere sotto controllo il processo di sviluppo: dobbiamo ricordare

ancora che, a motivo dei ritardi del sistema, quando tali limiti fisici si saranno resi manifesti in tutta la loro inequivocabile gravità, sarà ormai troppo tardi per fare qualcosa.

In ogni caso, il problema si presenta gravoso, ma non insolubile: la via da seguire è chiara, e i passi da compiere rientrano nell'ambito delle capacità dell'uomo. Oggi disponiamo della più potente combinazione di conoscenze, strumenti e risorse che il mondo abbia mai conosciuto; disponiamo di tutto ciò che è materialmente necessario per avviare l'edificazione di una nuova società, destinata a durare per generazioni e generazioni.

L'unica cosa che ci manca è un riferimento, realistico ma tuttavia proiettato nel futuro, un obiettivo che possa guidarci verso una condizione di equilibrio; in assenza di tale obiettivo la nostra azione diventa miope, e inevitabilmente produce quella crescita esponenziale che è destinata a sfociare nella rottura dei limiti naturali e nella catastrofe finale.

COMMENTO

I membri del Club di Roma si prefiggevano un duplice obiettivo, allorché decisero di affidare al gruppo del MIT lo studio del sistema mondiale. Innanzitutto si voleva precisare e approfondire la conoscenza dei limiti che il sistema pone alle dimensioni dell'attività umana. Per indagare se, e in quale misura, tale tendenza all'espansione in tutti i campi sia compatibile con le dimensioni limitate della Terra e con alcune esigenze che cominciano a manifestarsi nella collettività umana: dalla riduzione delle tensioni sociali e politiche al miglioramento del tenore di vita per tutti i suoi membri.

In secondo luogo, bisognava identificare e studiare, nel complesso delle reciproche interazioni, i fattori principali che determinano, a lunga scadenza, il comportamento del sistema mondiale: per fare ciò non è sufficiente un'analisi dei sistemi nazionali, per di più estesa a periodi di tempo ristretti, come si fa usualmente. Non si tratta, in ogni caso, di fare della futurologia, ma di analizzare le attuali linee di tendenza e il modo in cui si condizionano vicendevolmente, e le possibili conseguenze, così da dedurre quali siano i cambiamenti nella politica, nell'economia, nella struttura sociale in grado di scongiurare le potenziali crisi di portata mondiale che si avrebbero in assenza di opportuni interventi.

Questo studio va inteso come un primo passo, poiché vi figurano solo le principali limitazioni di carattere fisico imposte allo sviluppo dalla finitezza del pianeta; ma le restrizioni si fanno ancora più severe quando si considerino i fattori di ordine politico, sociale, istituzionale, l'ineguale distribuzione della popolazione e delle risorse naturali, l'incapacità da parte dell'uomo di governare sistemi complessi di grandi dimensioni.

I risultati di questo studio sono stati resi noti nel corso di due riunioni internazionali, tenute nell'estate del 1971, una a Mosca e l'altra

a Rio de Janeiro: a parte i numerosi interrogativi sorti e le inevitabili critiche, possiamo dire che non si manifestò alcun sostanziale disaccordo sulle indicazioni di fondo. Inoltre, una prima stesura dello studio venne sottoposta al giudizio di una quarantina di persone, perlopiù membri del Club di Roma; può essere interessante riportare alcune delle critiche più frequenti.

1) Qualsiasi modello non può comprendere che un numero limitato di variabili, e quindi le interazioni risultano solo parzialmente studiate; venne altresì fatto notare che in un modello di tipo globale come questo il grado di aggregazione è necessariamente elevato. Nonostante ciò, gli interpellati in genere riconobbero che anche un modello semplice del mondo permette di studiare l'effetto di un cambiamento delle ipotesi fondamentali, o di simulare le conseguenze di politiche diverse, per vedere come tali modificazioni riescano a influenzare il comportamento del sistema nel tempo. Condurre esperimenti di tal genere sul mondo reale sarebbe in molti casi impossibile, e comunque assai lungo e costoso.

2) Venne osservato che non è stata tenuta nel giusto conto la possibilità che i progressi della scienza e della tecnica forniscano la soluzione di alcuni importanti problemi: anche se essa, si convenne, sopravverrebbe probabilmente troppo tardi, per scongiurare un disastro demografico o ecologico, e se, in ogni caso, l'effetto sarebbe quello di ritardare piuttosto che evitare la crisi: la problematica ha in sé qualcosa che richiede soluzioni non meramente tecniche.

3) Il modello apparve ad alcuni viziato da eccessivo 'tecnocraticismo', nel senso che in esso non vengono presi in considerazione certi fattori sociali di estrema importanza (ad esempio, il subentrare di sistemi di valori totalmente diversi): il presidente della riunione di Mosca osservò che « l'uomo non è soltanto un apparato biocibernetico », concetto facilmente accettabile. In realtà, nel modello quale è attualmente, non è stato possibile introdurre i più significativi fattori sociali, e perciò l'uomo viene considerato solo nei suoi rapporti materiali con il sistema globale: ma, nonostante ciò, le conclusioni dell'indagine additano chiaramente la necessità di un cambiamento radicale dei principi fondamentali che ispirano e determinano l'agire degli uomini.

In complesso, però, si può dire che la maggioranza di coloro che hanno avuto modo di leggere il rapporto si sono trovati d'accordo sul criterio informatore; e se gli argomenti esposti sono ritenuti validi in linea generale (anche dopo aver tenuto nel debito conto le comprensibili critiche) è difficile che ne venga sopravvalutata l'importanza.

Molti fra i consultati mostrarono di condividere l'opinione che l'importanza del progetto risieda essenzialmente nella globalità della concezione,

poiché è la comprensione del tutto che consente di conoscere la funzione delle parti, e non viceversa. Dall'esame non di un singolo paese o di una singola popolazione, ma di tutti i paesi e di tutti i popoli del mondo, il lettore è costretto ad ampliare il proprio angolo visuale fino ad abbracciare tutto il pianeta.

È ben vero che le cose, nel mondo, accadono sporadicamente, nei punti di tensione e non simultaneamente su tutto il pianeta, e quindi se, per l'inerzia degli uomini e impedimenti di natura politica, le previsioni del modello si avverassero, si concreterebbero inizialmente in una serie di crisi e di calamità localizzate, ma non è probabilmente men vero che tali crisi si ripercuoterebbero sul mondo tutto e che i singoli paesi, adottando contromisure affrettate o rifugiandosi nell'isolazionismo per tentare di raggiungere una propria autosufficienza, finirebbero con l'aggravare le condizioni del sistema nel suo complesso.

Infine, significativo merito del rapporto è stato quello di mettere in evidenza il carattere esponenziale dello sviluppo delle attività umane all'interno di un sistema chiuso, un concetto che, nonostante le grandissime implicazioni che ha per il futuro del nostro limitato pianeta, è stato raramente tenuto presente e adeguatamente valutato, nel momento in cui ci sono state decisioni da prendere. I ricercatori del MIT hanno invece fornito un'esposizione ragionata e sistematica di alcune tendenze che la gente solo oscuramente intuisce.

Le conclusioni chiaramente pessimistiche del rapporto continueranno per certo a essere motivo di dibattito.

Noi vediamo con favore questo dibattito e lo incoraggiamo, giacché ci sembra importante accertare le dimensioni reali della crisi che si addensa di fronte all'umanità e il grado di violenza che potrebbe toccare nei prossimi decenni.

Sulla base delle reazioni suscitate dal rapporto preliminare, riteniamo che la lettura di questa documentazione spingerà un sempre maggior numero di persone, in tutti i paesi, a chiedersi seriamente se l'incremento dell'attuale sviluppo non rischi di andare oltre le capacità fisiche di adeguamento del pianeta, e a considerare le agghiaccianti prospettive di un simile travolgimento per noi stessi, per i nostri figli, per i nostri nipoti.

E ora le valutazioni di chi ha promosso il rapporto. Noi non possiamo parlare a nome di tutti i membri del Club di Roma poiché anche tra essi esistono disparità di interessi, di impegno, di giudizio, ma, malgrado il carattere preliminare dell'indagine, l'approssimazione di alcuni dati, l'intrinseca complessità del sistema mondiale che si tenta in questo modo di descrivere, noi siamo persuasi dell'importanza delle indicazioni di fondo. Crediamo vi sia contenuto un messaggio che va oltre il semplice raffronto di dati, che interessa tutti gli aspetti della condizione umana attuale.

Consci che molta riflessione e molto lavoro di sistemazione saranno ancora necessari prima di poter esprimere un giudizio fondato, possiamo tuttavia sin d'ora formulare alcune considerazioni preliminari su cui concordiamo.

1) Siamo convinti che per dare inizio a nuove forme di pensiero che conducano a una revisione sostanziale del comportamento umano e, implicitamente, dell'intera struttura della società attuale, sia essenziale acquistare consapevolezza dei limiti dell'ambiente naturale e delle tragiche conseguenze che comporterebbero il travalicarli.

2) Siamo altresì convinti che la pressione demografica abbia ormai raggiunto nel mondo un livello così elevato, e per di più con una distribuzione talmente disuguale, che dovrebbe da sola spingere l'umanità alla ricerca di un nuovo stato di equilibrio.

Esistono ancora regioni sottopopolate ma, considerando il mondo nel suo complesso, il punto critico dell'incremento della popolazione è ormai vicino, se non già raggiunto. Naturalmente non c'è un unico valore ottimale per il livello di popolazione, a lungo termine, ma esiste piuttosto un serie di punti di equilibrio tra livelli di popolazione, tenore di vita materiale e sociale, libertà individuale e altri elementi che concorrono a determinare la qualità della vita.

D'altra parte, nessuno dei valori umani fondamentali verrebbe compromesso da una riduzione dell'incremento demografico.

3) Noi riconosciamo che l'equilibrio mondiale può divenire realtà solo se i molti cosiddetti paesi in via di sviluppo progrediranno sostanzialmente, sia in senso assoluto sia in confronto ai paesi già sviluppati: ma affermiamo che questo può ottenersi solo ricorrendo a una strategia globale.

Al di fuori di un tentativo su scala mondiale le disparità, che già oggi hanno carattere esplosivo, continueranno ad accentuarsi: il risultato non può che essere la catastrofe, sia essa dovuta all'egoismo dei singoli paesi che continuano ad agire solo per il proprio interesse sia a un conflitto di potere tra paesi in via di sviluppo e paesi più ricchi. Il sistema mondiale, semplicemente, non è né abbastanza ampio né abbastanza generoso da supportare un simile comportamento egocentrico e aggressivo dei suoi abitanti.

4) Noi pensiamo tuttavia che il tema dello sviluppo sia così strettamente connesso con le altre questioni da dover essere necessariamente affrontato in modo globale, in particolare considerando il problema dei rapporti tra l'uomo e l'ambiente in cui vive. Infatti, entrambi i termini dell'equazione uomo-ambiente sembrano tendere verso un pericoloso peggioramento: né v'è da sperare che la tecnologia riesca da sola a spezzare questo circolo vizioso. Pertanto, la strategia degli interventi in questi due settori chiave, sviluppo e ambiente naturale, va concepita come un tutto unico.

5) Noi riconosciamo che la complessa problematica del mondo si compone, in buona parte, di fattori che non sono misurabili; tuttavia riteniamo che l'impostazione prevalentemente quantitativa adottata per il rapporto rappresenti uno strumento indispensabile per comprendere il funzionamento del sistema mondiale e per cercare di padroneggiarlo.

Sebbene tutti i principali problemi che affliggono l'umanità siano sostanzialmente interconnessi, nessun metodo è stato ancora elaborato per affrontarli efficacemente nel loro insieme. L'impostazione da noi adottata può riuscire particolarmente utile per riformulare su basi nuove il nostro modo di concepire globalmente le difficoltà in cui ci dibattiamo: esso consente di farsi un'idea degli equilibri che devono essere mantenuti all'interno della società umana e tra la società umana e il suo habitat, nonché delle conseguenze che possono derivare dalla distruzione di questi equilibri.

6) È nostra convinzione unanime che, al momento attuale, la situazione mondiale sia già così pericolosamente squilibrata da imporre con assoluta urgenza un tempestivo, radicale riassetto.

Non ci si può attendere alcun sostanziale miglioramento da una combinazione di misure puramente tecniche, economiche o legali. Occorrono impostazioni completamente nuove per riorganizzare la società intera intorno a obiettivi di equilibrio e non di sviluppo incontrollato; né ciò potrà avvenire senza un enorme sforzo di comprensione e di immaginazione, senza un fermo impegno politico e morale. Non v'è nulla d'impossibile in tutto questo, e noi speriamo che il nostro studio servirà a mobilitare delle forze in tale direzione.

7) Questo sforzo immane è la sfida che la nostra generazione deve accettare, che non può essere rimandata alla generazione successiva, che deve essere risolutamente affrontata senza ritardi: e un cambiamento di indirizzo deve venire realizzato già nell'attuale decennio. Confidiamo che la nostra generazione raccolga la sfida, se si capiranno le conseguenze tragiche a cui potrebbe portare il sottrarsi.

8) Non dubitiamo che, se l'umanità dovrà intraprendere un nuovo corso, si renderanno necessari accordi e programmi internazionali a lungo termine, in una misura e per obiettivi assolutamente senza precedenti.

Un'impresa simile richiede l'impegno comune di tutti i popoli, quali che siano il loro patrimonio culturale, il loro sistema economico o il loro grado di sviluppo, ma il peso principale ricadrà sui paesi più sviluppati, e ciò non perché essi abbiano maggiore intuizione o sensibilità umana, ma perché, oltre ad aver dato origine e diffusione alla sindrome dello sviluppo, sono tuttora la sorgente del progresso che la mantiene. Approfondendo la conoscenza delle condizioni e del funzionamento del sistema mondiale, questi paesi diverranno via via più consapevoli del fatto che, in un mondo che fundamentalmente ha bisogno di stabilità, il loro già elevato

livello di sviluppo può essere giustificato o tollerato solo se non fa da trampolino per raggiungerne di ancora più elevati, ma se viene concepito come una piattaforma dalla quale organizzare una più equa distribuzione della ricchezza e del reddito a livello mondiale.

9) Sosteniamo con chiarezza che il freno da imporsi alle spirali dello sviluppo demografico ed economico del mondo non deve in alcun modo tradursi in un congelamento dell'attuale status quo dello sviluppo economico.

Una simile proposta da parte dei paesi più ricchi sarebbe solo un decisivo atto di neocolonialismo. Promuovere un armonioso stato di equilibrio globale economico, sociale ed ecologico deve essere un'impresa comune, basata su convinzioni comuni, tesa al vantaggio di tutti. Occorrerà che i paesi più ricchi frenino e orientino diversamente l'incremento della propria produzione materiale, contemporaneamente assistendo i paesi in via di sviluppo nei loro sforzi sulla via dello sviluppo economico.

10) Affermiamo da ultimo che ogni consapevole sforzo per arrivare a uno stato di equilibrio duraturo mediante provvedimenti pianificati invece di abbandonarsi al caso o soggiacere alla catastrofe, deve fondarsi su un radicale cambiamento di valori e di obiettivi, a livello di individui, di paesi, del mondo.

Di questo cambiamento si può forse cogliere nell'aria qualche timido segno; e però la nostra formazione culturale, il nostro metro di giudizio, le attività abituali e gli interessi, renderanno penosa e lenta la trasformazione. Quindi solo l'effettiva comprensione di quella che è la condizione dell'umanità, arrivata ormai a una svolta storica, potrà indurre gli uomini ad eccettare le necessarie modifiche delle strutture di potere economiche e politiche, e a comportarsi individualmente in modo da raggiungere uno stato di equilibrio. Solo così essi potranno convincersi a dedicare le proprie energie alla causa di un progresso di tipo assolutamente nuovo.

Rimane naturalmente il dubbio che la situazione mondiale possa non essere in realtà così seria, come lo studio del MIT e il nostro commento lascerebbero supporre. Crediamo che tutti gli ammonimenti che vi sono contenuti siano pienamente giustificati e che procedendo secondo l'indirizzo attuale la nostra società potrà solo aggravare i problemi di domani. Saremmo solo troppo felici se le nostre valutazioni provvisorie si rivelassero eccessivamente pessimistiche.

In ogni caso, siamo molto preoccupati ma non disperati. Alla fine del rapporto è descritta un'alternativa all'attuale, disastroso processo di sviluppo incontrollato e vengono avanzati alcuni suggerimenti sugli interventi che potrebbero portare l'umanità a una situazione di equilibrio stabile. Il rapporto suggerisce anche che si potrebbe dare a una popolazione ragionevolmente numerosa un tenore di vita adeguato e a ciascuno le occa-

sioni per un illimitato progresso individuale e sociale. Su questo siamo sostanzialmente d'accordo, anche se siamo abbastanza realistici da non lasciarci fuorviare da speculazioni di carattere astrattamente scientifico o etico.

Può sembrare facile afferrare l'idea di una società in stabile equilibrio ecologico ed economico, e invece è tanto lontana dalla nostra esperienza da richiedere una vera e propria rivoluzione copernicana nella mentalità umana: un conto è assuefarsi all'idea, un altro passare ai fatti e alle azioni concrete. Per impostare seriamente il problema e partire correttamente è necessario che il contenuto dei 'limiti dello sviluppo' venga accettato, con tutta la sua urgenza, da un largo strato di opinione pubblica, di scienziati, di uomini politici.

È probabile che la fase di transizione sia in ogni caso gravosa, e che metta a dura prova l'ingegnosità e la costanza degli uomini. Si è già detto più di una volta che solo dalla convinzione che non vi è altra strada per sopravvivere possono scaturire le forze morali, intellettuali e creative necessarie ad avviare questa impresa umana senza precedenti.

Ma è la posta in gioco che va sottolineata, non la difficoltà dell'impresa. Noi confidiamo che un numero insospettabilmente grande di uomini e donne di ogni età e condizione accetteranno presto la sfida e si appassioneranno non al 'se', ma al 'come' si possa creare questo nuovo futuro.

Il Club di Roma si è impegnato a sostenere tale attività in molti modi. Secondo i programmi fatti, le ricerche sulla dinamica del sistema mondiale iniziate presso il MIT continueranno nello stesso istituto e verranno sviluppate anche in altri paesi, Europa, Canada, Giappone, America Latina, URSS.

Inoltre, dal momento che ogni indicazione di studiosi rimane sterile se non si traduce in atti politici, il Club di Roma vuole promuovere la creazione di un'assise mondiale in cui statisti, uomini politici e scienziati possano discutere, al di fuori delle strettoie dei rapporti formali, i pericoli e le promesse del futuro sistema mondiale.

Un'ultima osservazione: è necessario che l'uomo analizzi dentro di sé gli scopi della propria attività e i valori che la ispirano, oltre che pensare al mondo che si accinge a modificare, incessantemente, giacché il problema non è solo di stabilire se la specie umana potrà sopravvivere, ma anche, e soprattutto, se potrà farlo senza ridursi a un'esistenza indegna di essere vissuta.

gennaio 1972

Il Comitato esecutivo del Club di Roma
ALEXANDER KING, SABURO OKITA, AURELIO PECCEI,
EDUARD PESTEL, HUGO THIEMANN, CARROLL WILSON

Bibliografia

Holdren J. P., *Global thermal pollution*, in Holdren P. J., Ehrlich P. R. (ed.), *Global ecology*, New York (1971); Starr C., *Energy and power*, in *Scientific American*, CCXXV, 2, 42 (1971); Wallace R. A., Fulkerson W., Shults W. D., Lyons W. S., *Mercury in the environment*, Oak Ridge (1971); *Commodity data summary*, Government Printing Office, Washington, D. C. (1971); US Bureau of the Census, *1970 census of population and housing, general demographic trends of metropolitan areas 1960-70*, Government Printing Office, Washington, D. C. (1971); Commission on Population Growth and the American Future. *An interim report to the president and the congress*, Government Printing Office, Washington, D. C. (1971); *Inadvertent climate modification. Report of the study of man's impact on climate*, MIT Press, Cambridge, Mass. (1971); Arkley R. J., *Urbanization of agricultural land in California*, Berkeley (1970); Berelson B., *The population council annual report, 1970*, New York (1970); Bolin B., *The carbon cycle*, in *Scientific American*, CCXXIII, 3, 124 (1970); Bourgeois-Pichat J., Taleb S. A., *Un taux d'accroissement nul pour les pays en voie de développement en l'an 2000: rêve ou réalité?*, in *Populations*, settembre-ottobre (1970); Ehrlich P. R., Ehrlich A. H., *Population, resources, environment*, San Francisco (1970); Lave L. B., Seskin E. P., *Air pollution and human health*, in *Science*, CLXIX, 3947, 723 (1970); Shaw R. d'A., *Jobs and agricultural development*, Washington, D. C. (1970); FAO, *The state of food and agriculture*, Roma (1970); ONU Department of Economic and Social Affairs, *Statistical yearbook 1969*, New York (1970); US Agency for International Development, *Population program assistance*, Government Printing Office, Washington, D. C. (1970); US Bureau of Mines, *Mineral facts and problems, 1970*, Government Printing Office, Washington, D. C. (1970); American Metal Market Company, *Metal statistics*, Somerset, N. J. (1970); *Man's impact on the global environment*, MIT Press, Cambridge, Mass. (1970); Chenery H. B., Taylor L., *Development patterns: among countries and over time*, in *Review of Economics and Statistics*, 50, 391 (1969); Clark J. R., *Thermal pollution and aquatic life*, in *Scientific American*, CCXX, 3, 18 (1969); Kormandy E. J., *Concepts of ecology*, Englewood Cliffs (1969); Ranford E. P. e altri, *Statement of concern*, in *Environment*, settembre, 22 (1969); Sen S. R., *Modernizing indian agriculture*, I, Expert Committee on assessment and evaluation, New Delhi (1969); Patterson C. C., Salvia J. D., *Lead in the modern environment*, in *Scientist and Citizen*, aprile, 66 (1968); *World population data sheet 1968*, Population Reference

QUESTO VOLUME È STATO IMPRESSO
NEL MESE DI GIUGNO DELL'ANNO MCMLXXII
PRESSO LA ALFIERI & LACROIX SPA
SETTIMO MILANESE - MILANO



STAMPATO IN ITALIA - PRINTED IN ITALY
BEST

BIBLIOTECA DELLA EST

Volumi pubblicati:

STEREOCHIMICA di G. Natta e M. Farina

LINGUAGGIO E CIBERNETICA di J. Singh

I PROBLEMI DELLA PSICOLOGIA di G. A. Miller. *VI edizione*

RAPPORTO SU VENEZIA a cura dell'UNESCO. *II edizione*

BIOGRAFIA DELLA FISICA di G. Gamow. *IV edizione*

L'ENIGMA DELLA GRAVITAZIONE di P. Bergmann

LE IDEE DELLA BIOLOGIA di J. T. Bonner. *III edizione*

LA GEOFISICA di O. M. Phillips

LA NUOVA METEOROLOGIA di O. G. Sutton. *III edizione*

LE IDEE DELLA RICERCA OPERATIVA di J. Singh

DINAMICA DELLA PERCEZIONE di L. Ancona

LA FISICA DELLE PARTICELLE di K. W. Ford. *II edizione*

LE BASI BIOCHIMICHE DELLA VITA di F. R. Jevons. *II edizione*

LA CELLULA struttura di M. Durand e P. Favard

LA CELLULA fisiologia di A. Berkaloff, J. Bourguet, P. Favard, M. Guinebault

LA TEORIA DELL'INFORMAZIONE di J. R. Pierce. *IV edizione*

IL CASO E LA NECESSITÀ di J. Monod. *IV edizione*

INTRODUZIONE ALLA GENETICA di C. Auerbach. *IV edizione*

BIOLOGIA MOLECOLARE di C. M. Smith

GENETICA E EVOLUZIONE di C. Petit e G. Prévost

PALEONTOLOGIA GENERALE di A. Brouwer

In preparazione:

EREDITÀ, EVOLUZIONE E SOCIETÀ di M. Lerner