

MARIO MENICHELLA

MONDI FUTURI

VIAGGIO TRA I POSSIBILI SCENARI

Copyright © 2005 SciBooks. Tutti i diritti sono riservati

Coordinamento redazionale: Mario Menichella

Progetto grafico: Riccardo Semplici

Illustrazione: Maurizio Tacqui

Prima edizione: ottobre 2005

ISBN 88-901544-3-8

MONDI FUTURI

Per contattarci:

SciBooks Edizioni, Via Sartori 8, 56124 Pisa

E-mail: contact@scibooks.it

Sito web: <http://www.scibooks.it>

Per tutte le riproduzioni grafiche e fotografiche appartenenti alla proprietà di terzi inserite in quest'opera l'Editore è disposizione degli aventi diritto.

INDICE

PREFAZIONE	9
1. IL DOMANI DI IERI	13
Dal Big Bang all' <i>Homo technologicus</i> attuale, 14 - L' <i>Homo sapiens sapiens</i> : una specie molto... speciale, 18 - Una crescita esponenziale e le sue conseguenze, 21 - La prima specie a rischio di autodistruzione, 25 - La futurologia, ovvero l'arte di prevedere il futuro, 30.	
2. UN MONDO DI PROBLEMI	35
Le emergenze planetarie: problemi, minacce, tendenze, 36 - Il <i>boom</i> della popolazione mondiale, 40 - Il preoccupante deterioramento ambientale, 45 - Il progressivo esaurimento delle risorse, 49 - La crescente vulnerabilità alle epidemie, 54 - La proliferazione delle armi di distruzione di massa, 60 - L' <i>escalation</i> mondiale del terrorismo, 68 - L'aumento delle migrazioni internazionali, 73.	
3. LA FINE DELL'UMANITÀ	79
I rischi globali terminali e altri tipi di minacce, 80 - Il rischio di un impatto asteroidale e cometario, 84 - La minaccia di una guerra nucleare globale, 89 - Il pericolo di un effetto serra «a valanga», 98 - La possibilità di un'epidemia planetaria letale, 104 - L'incubo del Ventunesimo secolo: le armi genetiche, 110 - Pericoli della robotica e dell'intelligenza artificiale, 116 - Le minacce delle nanotecnologie, 121 - Una sfida difficile per la nostra civiltà, 126.	
4. IL FUTURO DELLA CIVILTÀ	133
La possibile evoluzione di una civiltà tecnologica, 134 - Il mondo sta andando verso uno schianto..., 139 - ...o verso una lenta crisi su scala globale?, 145 - Il ruolo del progresso scientifico-tecnologico, 155 - La lunga «lista dei desideri» degli ottimisti, 160 - Le colpe del modello di sviluppo occidentale, 165 - La globalizzazione e le sue conseguenze negative, 170 - Le trappole del sistema liberal-capitalistico, 176 - Il futuro della nostra civiltà occidentale, 181 - Il futuro della civiltà tecnologica sulla Terra, 187.	

5. IL FUTURO DELL' <i>HOMO SAPIENS</i>	193
Una fase di transizione: il trans-umanesimo, 194 - Può nascere naturalmente una nuova specie?, 199 - Il declino fisico e intellettuale dell' <i>Homo sapiens</i> , 204 - L'uomo interviene su se stesso con le biotecnologie, 209 - Alla disperata ricerca dell'«elisir di lunga vita», 214 - La nascita di una nuova specie: l'uomo bionico, 220 - Dall' <i>Homo sapiens</i> all'artificiale <i>Robo sapiens</i> , 225 - Verso il post-umano: i nostri possibili discendenti, 234 - Lo spazio ultima frontiera per il genere umano, 239 - La variegata società dei post-umani, 244.	
6. IL DESTINO DELL'UNIVERSO	251
La caduta sulla Terra di asteroidi e comete, 252 - Minacce astrofisiche per il Sistema Solare, 256 - Finché il Sole non distruggerà i suoi pianeti, 259 - Stelle e galassie: una morte assai lenta, 265 - Le ipotesi attuali sulla fine dell'universo, 268 - Qual è il senso dell'evoluzione cosmica?, 273 - La durata della nostra civiltà tecnologica, 279.	
7. UN MONDO IN BILICO	287
La società nella nuova «era globale del rischio», 286 - La gestione del rischio tra ignoranza e incoscienza, 292 - Le nuove incognite del mondo post-guerra fredda, 296 - È forse in vista la fine della civiltà occidentale?, 300 - È davvero questo il tipo di vita che vogliamo?, 305 - Il mondo in bilico tra il pericolo e l'opportunità, 310 - L'umanità sta andando verso un salto evolutivo?, 314 - Dal «superorganismo sociale» al «cervello globale», 320.	
CONCLUSIONE	325
APPENDICE I. QUANDO NASCE UN'EPIDEMIA VIRALE	333
APPENDICE II. L'INCONTRO CON UNA CIVILTÀ ALIENA	337
APPENDICE III. LA TEORIA EVOLUTIVA DELLA VIRULENZA	341
RINGRAZIAMENTI	345
NOTE	347
BIBLIOGRAFIA	389
INDICE DEI NOMI	395

PREFAZIONE

Tutti noi, quotidianamente, prevediamo o tentiamo di prevedere il futuro, spesso senza neanche rendercene conto.

La maggior parte delle persone, però, si interessa esclusivamente ai problemi personali e si limita a guardare verso il futuro immediato. Soltanto pochi individui si spingono più in là, occupandosi dei problemi che riguardano gli altri abitanti del pianeta e relativi ad un futuro non vicino. Eppure, avere una prospettiva globale, prevedere il futuro a lungo termine della società e del mondo intero, non è, per l'«Homo technologicus» attuale, solo il modo per soddisfare delle curiosità innate; bensì, oggi più che mai, rappresenta soprattutto un esercizio utile.

*All'alba del terzo millennio, infatti, l'umanità si trova, per la prima volta nella sua storia, di fronte a una serie di grandi sfide e di problemi globali emergenti – **esplosione della popolazione mondiale, impoverimento delle risorse naturali, deterioramento ambientale, crescente vulnerabilità alle epidemie, proliferazione delle armi di distruzione di massa, escalation del terrorismo ed aumento delle migrazioni internazionali** – che minacciano non solo la sicurezza e il benessere dei paesi più ricchi e industrializzati (come l'Europa e gli Stati Uniti), ma addirittura la sopravvivenza della civiltà tecnologica e dell'intera specie *Homo sapiens* sul nostro sempre più piccolo e fragile pianeta.*

Il solo modo per affrontare adeguatamente tali questioni sta non tanto nel conoscerle, quanto, soprattutto, nel capirle a fondo. Purtroppo, oggi ci troviamo in una crisi di «intelligibilità»: si è creato uno scarto profondo tra ciò che bisognerebbe capire e i mezzi concettuali necessari alla comprensione, dovuto alla diversa velocità di crescita tra la tecnologia e la cultura. Tale

forbice si va sempre più allargando, e rappresenta probabilmente il fattore più destabilizzante per il prossimo futuro della società umana. Ma, poiché non è possibile fermare lo sviluppo tecnologico, l'unica strada percorribile per colmare il divario è quella di realizzare forti «iniezioni» di educazione nei sistemi umani, utilizzando tutti gli strumenti culturali disponibili.

L'obiettivo principale di questo libro è proprio quello di fornire un piccolo contributo in tale direzione: proporre delle semplici chiavi di lettura per capire meglio il mondo in cui viviamo e, soprattutto, il mondo verso cui stiamo andando. Nel libro non mi limiterò, tuttavia, a parlare di ciò che ci sta più a cuore – ovvero del futuro dell'attuale stato di cose sul nostro pianeta – ma collocherò l'argomento di come sarà il domani in un contesto via via sempre più ampio, soffermandomi prima sul futuro della civiltà tecnologica, poi su quello dell'Homo sapiens, della Terra, della Galassia e, infine, sul destino dell'intero universo.

Ecco, dunque, svelato l'itinerario che intendo seguire.

Ero pienamente consapevole, nel momento in cui ho messo mano a questo lavoro, dell'estrema difficoltà del mio compito. Spero che il lettore voglia perdonarmi questa sorta di temerarietà. Mi rendo conto, inoltre, di non presentare altro che una visione personale, inevitabilmente soggettiva, di ciò che sta accadendo intorno a noi e che condiziona l'avvenire dell'umanità. Ed è anche una visione piuttosto limitata del futuro, nella misura in cui getterò un po' di luce soltanto su alcune aree di quella che è l'immensa attività dell'uomo. Ma ho scelto a priori di concentrarmi sulle questioni che appaiono davvero importanti.

Nella nostra società vi sono molti esperti in campi specialistici, ma sono assai poche le persone che hanno una visione integrata e generale del mondo. La principale originalità di questo libro divulgativo – se ne ha una – è quella di partire dalla comune visione frammentaria e parziale del mondo veicolata dai media, la quale è simile a un mosaico smontato, per ricostruire, tessera dopo tessera, l'immagine completa delle tendenze plane-

tarie, cercando di tracciare un quadro generale che permetta di capire meglio le situazioni particolari.

Mi auguro, quindi, che il presente saggio possa tornare utile al lettore; soprattutto, a coloro la cui vita è troppo breve per poter leggere i molti libri citati nella bibliografia, ma abbastanza lunga da poter dare un'occhiata alle poche pagine che seguono.

Buona lettura!

1. IL DOMANI DI IERI

*Il presente non è mai il nostro fine:
il passato e il presente sono i nostri mezzi,
solamente il futuro è il nostro fine.*

(Blaise Pascal)

L'argomento di questo saggio è il futuro del mondo, dove l'espressione «futuro del mondo» è usata qui con due significati: quello, più ristretto, di futuro dell'umanità e dell'attuale stato di cose sulla superficie del nostro pianeta; e quello, assai più ampio, di futuro della Terra e dell'intero universo. D'altra parte, sia gli astronomi sia gli storici sanno che la chiave per tentare di prevedere – sia pure a grandi linee – il futuro si trova nello studio del presente e, soprattutto, del passato. E se guardiamo alla straordinaria evoluzione che in circa 10 miliardi di anni ha portato dal *Big Bang* alla comparsa della vita sulla Terra, e poi dalla nascita dei primi ominidi all'attuale civiltà ipertecnologica, ci accorgiamo che stiamo entrando in un'epoca assolutamente unica nella storia della vita, dell'uomo e della civiltà: un'epoca caratterizzata, come non mai, da grandi promesse per il futuro; ma, per la prima volta gravida di micidiali pericoli per la nostra vita e per il nostro benessere, se non addirittura per la sopravvivenza della specie *Homo sapiens*¹ su questo pianeta.

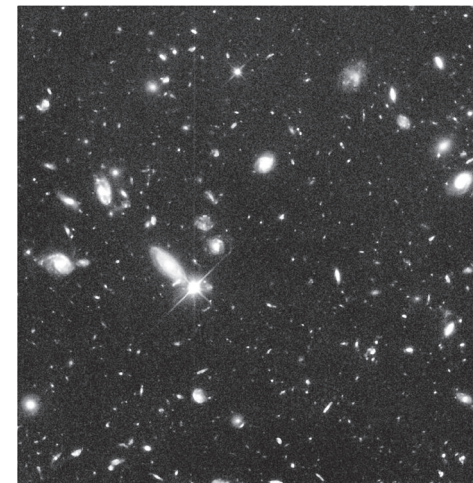
DAL BIG BANG ALL'HOMO TECHNOLOGICUS ATTUALE

In effetti, in un qualsiasi testo di futurologia il punto di partenza consiste nel comprendere l'assoluta originalità del mondo e dell'epoca presente. Ma, per far questo, occorre necessariamente volgere lo sguardo al passato. Ecco perché il nostro libro, una sorta di viaggio nel tempo all'esplorazione del futuro, inizia, in questo primo paragrafo, proprio dagli eventi più remoti per arrivare fino a quelli più recenti, che almeno in parte abbiamo tutti vissuto di persona.

Tutto cominciò circa 14 miliardi di anni fa con il cosiddetto *Big Bang*, la gigantesca «esplosione» da cui l'intero universo sarebbe nato. In realtà, quella del «gran botto» iniziale è una semplice metafora dietro cui si nasconde la nostra più totale ignoranza sulla vera origine del cosmo. Sin dagli anni Venti, infatti, le osservazioni dell'allontanamento delle galassie compiute da Edwin Hubble hanno mostrato che viviamo in un universo in espansione; perciò, estrapolando il movimento odierno di questi oggetti all'indietro nel tempo, se ne dedurrebbe che vi sarebbe stato un istante in cui tutta la materia e l'energia erano concentrati in un unico punto di densità e di temperatura infiniti: il *Big Bang*, appunto. Il problema è che le leggi della fisica oggi note sono valide solo a partire da «quasi» subito dopo – per l'esattezza, da 10^{-43} secondi dopo (dove 10^{-43} è un numero piccolissimo, uguale a uno diviso un uno seguito da 43 zeri) – il presunto *Big Bang*; dunque, l'estrapolazione degli eventi fino all'istante «zero» non è corretta, e l'origine dell'espansione cosmica e dell'universo non sono spiegabili, se non in maniera del tutto speculativa.²

Decisamente più chiare, invece, sono le idee correnti riguardo l'evoluzione del cosmo successiva al *Big Bang*. Meno di un milione di anni dopo l'istante iniziale, l'universo si era già raffreddato abbastanza perché dal «brodo primordiale» di radiazione e di particelle instabili si formassero gli atomi più

Figura 1.1. Una regione della volta celeste ricca di galassie lontane nello spazio e (a causa della velocità finita della luce) nel tempo fotografata dal telescopio spaziale Hubble.



semplici: l'idrogeno e l'elio. A partire da questi due gas, cominciarono assai lentamente a crearsi delle gigantesche nubi, la cui contrazione diede origine, nel giro di 1 o 2 miliardi di anni, a una prima popolazione di stelle, e dunque alla nascita di molte delle attuali galassie. Successivamente, circa 4,6 miliardi di anni fa, in uno dei giovani bracci a spirale della nostra galassia – la *Via Lattea* degli antichi – una piccola nube rotante di gas e polvere cominciò a collassare sotto l'azione della propria forza gravitazionale, dando vita in brevissimo tempo al Sole, ai suoi nove pianeti, alle decine di loro satelliti ed alle miriadi di asteroidi e comete che compongono ancora oggi il nostro Sistema Solare: era nata finalmente anche la Terra.

La vita non tardò a fare la sua comparsa sul nostro pianeta, sebbene la sua origine rappresenti tuttora un mistero. Le prime indicazioni di esseri viventi sono delle anomalie chimiche riscontrate in alcune rocce della Groenlandia, che suggerirebbero la presenza di vita microbica già 3,8 miliardi di anni fa.³ Occorreranno, però, più di tre miliardi di anni perché da questi semplici organismi unicellulari si passi ai grandi organismi pluricellulari, come gli animali e le piante. I fossili di animali

macroscopici, in particolare, abbondano a partire da circa 550 milioni di anni fa, quando, per cause misteriose, la vita conobbe un'«esplosione evolutiva». Nel corso di pochi milioni di anni, comparvero nei mari la trentina di tipi animali di organizzazione corporea, o *phyla*, oggi noti: i semplici celenterati (da cui discendono le attuali meduse e i coralli), gli artropodi (rappresentati ora da insetti, crostacei e aracnidi), i nostri antenati vertebrati (da cui discendono tutti i pesci, gli anfibi, i rettili, gli uccelli e i mammiferi odierni, noi compresi), e così via.

La nascita dell'*Homo sapiens*, o uomo moderno, è storia assai più recente. Intorno a 350 milioni di anni fa, dalla linea evolutiva dei vertebrati rappresentata dagli antichi pesci si separò la linea degli anfibi. Circa 300 milioni di anni fa, dal ramo evolutivo degli anfibi si separò, a sua volta, quello dei rettili, che diventarono così i primi vertebrati a colonizzare la terraferma. Dal ramo degli antichi rettili si separarono, grosso modo 200 milioni di anni fa, sia quello dei mammiferi che quello dei dinosauri. I primati, progenitori delle scimmie attuali, si evolvettero dai mammiferi 60 milioni di anni or sono. Ma i primi ominidi, poco più che scimmie con andatura bipede, si separarono dalla linea evolutiva dei primati solo 5 milioni di anni fa, mentre il genere *Homo* iniziò il suo straordinario sviluppo delle dimensioni cerebrali intorno a 2 milioni di anni fa: un'evoluzione biologica la quale culminerà tra i 200.000 e i 150.000 anni fa



Figura 1.2. La crescita, testimoniata dai fossili, delle dimensioni cerebrali dallo scimpanzè all'uomo moderno, passando per gli antichi ominidi.

nella specie *Homo sapiens*, che si può considerare già anatomicamente uguale all'uomo attuale.

Il sorgere della civiltà fu segnato da eventi importanti come il passaggio, iniziato circa 10.000 anni fa, dall'uomo raccogli-tore-cacciatore nomade al coltivatore e allevatore stanziale, e la comparsa della scrittura, che 5.000 anni fa sancì l'inizio dell'epoca storica propriamente detta. Gli insediamenti stabili che vennero realizzati e la trasmissione più efficiente del sapere da una generazione all'altra favorirono la divisione del lavoro, lo sviluppo del commercio e il progresso tecnico. Ma la grande rivoluzione che ha segnato il passaggio dall'antica civiltà umana alla moderna civiltà tecnologica è stata quella scientifica e industriale iniziata quasi 250 anni fa in Inghilterra con l'invenzione della macchina a vapore. In seguito a quest'ultimo grande balzo culturale, la popolazione mondiale è «esplosa» fino a 6,5 miliardi di abitanti, sono stati inventati ordigni micidiali come le armi nucleari e si è arrivati all'«*Homo technologicus*»:⁴ un uomo sempre più dipendente da protesi meccaniche ed elettroniche, a partire da automobili e computer.

L'*Homo technologicus* che oggi popola i paesi più sviluppati del pianeta rappresenta, dunque, solo l'ultima tappa, in ordine cronologico, di uno straordinario processo evolutivo iniziato miliardi di anni fa con la nascita stessa dell'universo. Per comprendere più facilmente come l'apparizione sulla scena della nostra civiltà tecnologica rappresenti un evento davvero assai recente nella lunga storia del cosmo, della vita e dell'uomo, possiamo comprimere idealmente il tempo che ci separa dall'origine dell'universo in una giornata di 24 ore. In tal caso, scopriremmo che il Sistema Solare è nato circa 16 ore dopo il *Big Bang*, l'inizio della nostra giornata; i primi grandi animali pluricellulari sono apparsi solo un'ora fa, ovvero poco prima della mezzanotte; l'uomo moderno ha fatto la sua apparizione quando mancava un secondo alla mezzanotte; infine, la nascita e lo sviluppo della moderna civiltà tecnologica, cioè il periodo che va dalla

Rivoluzione industriale di fine Settecento a oggi, occupa meno dell'ultimo millesimo di secondo.

L'HOMO SAPIENS: UNA SPECIE MOLTO... SPECIALE

La comparsa dei primi ominidi, risalente a 5 milioni di anni fa, ha segnato l'inizio di un'epoca unica nella lunga storia della vita sulla Terra, perché nei 550 milioni di anni che ci separano dai primi grandi organismi pluricellulari nessun'altra specie animale aveva mai raggiunto un livello di sviluppo culturale anche solo lontanamente paragonabile al nostro, che ci ha consentito in breve tempo di dominare e di comprendere in modo sempre crescente il mondo che ci circonda.

Le scoperte fossili della paleontologia prima, e lo studio del comportamento e dell'evoluzione animale poi, ci hanno permesso, negli ultimi due secoli, di controbilanciare le nostre innate idee antropomorfe e di – per così dire – «deprovincializzare» la nostra visione del mondo. Scendendo da quella sorta di piedistallo su cui ci eravamo arbitrariamente posti, abbiamo imparato che noi esseri umani siamo emersi da un processo evolutivo comune con tutti gli altri animali e le piante del pianeta. I dati scientifici, del resto, parlano chiaro: il patrimonio genetico dell'uomo moderno differisce da quello del nostro parente più stretto oggi vivente, lo scimpanzè, appena dell'1,2 per cento. Gli esseri umani e le scimmie sono morfologicamente più simili fra loro di due generi qualsiasi di coleotteri; eppure, di certo noi non attribuiamo alle scimmie una natura o delle caratteristiche umane. Cos'è, allora, che rende l'*Homo sapiens* una creatura davvero così speciale rispetto ai milioni di altre specie che popolano il nostro mondo animale?

Oggi sappiamo che gli umani sono rari in natura in quanto animali sociali, e ancor più rari per il fatto di saper costruire degli utensili, di usare un linguaggio e di possedere una capacità

di pensiero. Si è scoperto che pure altri animali possiedono, in realtà, alcune o tutte queste caratteristiche; ma, in tali specie, esse sono rimaste sempre a un livello assai rudimentale – come è evidente nel caso degli scimpanzè – oppure presentano una diversità di tipo qualitativo piuttosto che quantitativo, come nel caso degli insetti sociali, degli uccelli e dei cetacei. I nostri antichi progenitori, invece, hanno sviluppato le precedenti doti comportamentali e cognitive tutte insieme e ad un grado altissimo, perché ciò costituiva per loro un vantaggio evolutivo immediato, cioè li favoriva nella durissima lotta per la sopravvivenza; e, una volta acquisite queste capacità eccezionali, hanno potuto a quel punto utilizzarle per evolvere culturalmente, raggiungendo presto livelli di assoluta eccellenza in campi disparati quali l'arte, la scienza, la politica, la letteratura.

Per capire meglio come mai solo gli esseri umani siano diventati degli animali così speciali, occorre collocare l'origine e lo sviluppo dei nostri tratti caratteristici in una ben precisa cornice evolutiva. Noi abbiamo cominciato col diventare ominidi – cioè specie distinte dalle altre scimmie arboricole per la novità di un'andatura bipede – circa 5 milioni di anni fa, nell'Africa orientale. A quell'epoca e in quella regione del pianeta le foreste pluviali, i cui alberi rappresentavano la fonte di cibo e il rifugio dai predatori per le scimmie arboricole, si stavano ritirando, lasciando il posto alla boscaglia e alle praterie della savana. Gli alberi della boscaglia erano meno ricchi di frutti e più lontani fra loro, perciò cercare cibo e rifugio significava percorrere maggiori distanze e trascorrere più tempo sul terreno. L'acquisizione dell'andatura bipede costituì quindi, per alcune grandi scimmie arboricole, il naturale adattamento all'esigenza imposta dal nuovo ambiente di spostarsi in modo efficiente da un albero all'altro per procurarsi cibo e riparo.

Circa 2 milioni di anni fa, quando avevano da tempo adottato la postura eretta, gli ominidi erano ancora in concorrenza tra loro per la sopravvivenza. Ma verso est i vasti territori della

savana, popolati da animali carnivori forti e veloci, offrivano dei nuovi habitat per chi fosse stato capace di adattarvisi. Ecco, quindi, che il cooperare in modo stretto coi propri simili per procurarsi cibo e difendersi da questi animali, l'uso come armi e utensili di oggetti in pietra fabbricati con le mani ormai libere, l'impiego per comunicare di un linguaggio rudimentale e la capacità di elaborare rapidamente piani e strategie furono tutti fattori che permisero ad alcuni ominidi di adattarsi sempre più al nuovo contesto ecologico. Questo lento processo di adattamento, accompagnato da un incremento notevole delle dimensioni cerebrali testimoniato dai resti fossili, si è concluso intorno a 200.000 anni fa, quando il cervello ha raggiunto le sue dimensioni attuali e l'evoluzione biologica è praticamente finita,⁵ mentre quella culturale proseguiva inarrestabile.

Ed è proprio l'evoluzione culturale che solo nell'uomo assume una grandissima rilevanza, permettendogli come nessun'altra specie vivente di trasformare sempre più l'ambiente circostante adattandolo ai propri bisogni, di dar vita a società sempre più complesse, di inventare macchine sempre più sofisticate. Il linguaggio, l'uso degli utensili, la socialità e la capacità di pensiero sviluppati in milioni di anni per la sopravvivenza sono, come sottoprodotto, strumenti per un crescente progresso culturale. In pratica, le possibilità umane aumentano di generazione in generazione semplicemente conservando e quindi incrementando le conoscenze via via acquisite: perciò, ad ogni generazione, l'individuo non parte più da zero ma dall'esperienza di tutti coloro che lo hanno preceduto. Questo processo dapprima è lento, ma poi, con il progredire dei sistemi di trasmissione e immagazzinamento dell'informazione – a cominciare dall'introduzione della scrittura – si fa sempre più accelerato, fino a raggiungere il vertiginoso ritmo odierno.

La straordinaria progressione culturale che ha portato da alcune grandi scimmie all'*Homo technologicus* sembra essere stata solo uno stravagante accidente evolutivo, il prodotto inatte-

so di una particolare linea di discendenza che aveva sviluppato un cervello di dimensioni più grandi, un linguaggio più evoluto e una socialità più spiccata per ben altre finalità evolutive, non certo per costruire la cupola di San Pietro, andare sulla Luna o meditare sulle proprie origini. Se l'uomo alcuni milioni di anni fa ha imboccato una via evolutiva completamente nuova nel mondo animale e ciò non è accaduto prima – o allo stesso tempo – ad altre creature, non significa che i nostri lontani progenitori fossero degli esseri speciali: a rappresentare un'eccezione, piuttosto, sono state le condizioni ecologiche e le pressioni ambientali che hanno permesso, soltanto in un dato momento e in un ben preciso luogo, che i benefici di un'andatura bipede e, in seguito, di un cervello e di certe abilità assai più sviluppate del normale, superassero i rispettivi costi evolutivi.

UNA CRESCITA ESPONENZIALE E LE SUE CONSEGUENZE

Attualmente, stiamo vivendo in un'epoca davvero unica anche nella storia dell'uomo, perché solo in tempi recenti l'evoluzione culturale della nostra specie ha iniziato ad accelerare in modo straordinario, provocando un divario tecnologico, demografico ed economico senza precedenti tra paesi ricchi e paesi poveri, e una serie di problemi emergenti a livello mondiale che minacciano il nostro benessere e perfino il nostro futuro su questo pianeta.

Infatti, dalla comparsa dell'*Homo sapiens*, circa 200.000 anni fa, l'evoluzione culturale non è rimasta costante nel tempo, ma è andata lentamente accelerando, finché, negli ultimi 200 anni, si è passati a un ritmo di crescita assai più accentuato, praticamente esponenziale. A partire dall'inizio dell'Ottocento, dopo un graduale incremento avvenuto in migliaia di anni, l'accumulazione delle nostre conoscenze – come pure il numero di abitanti nel mondo, la velocità dei trasporti e delle comunica-

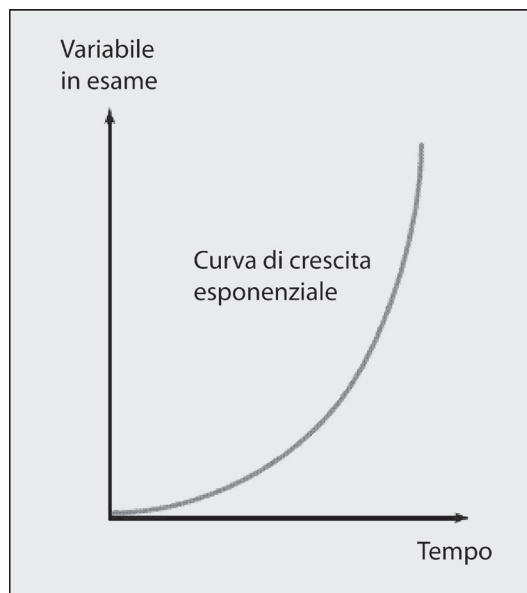


Figura 1.3. La crescita esponenziale è molto veloce e arriva a «grandi numeri» in tempi brevi, perché l'incremento è piccolo nella fase iniziale, ma aumenta sempre più con il passare del tempo, finché a un certo punto diventa esplosivo.

zioni – sono tutti aumentati in modo rapidissimo. Una crescita più o meno simile si è avuta per qualsiasi cosa riguardante l'uomo: dal numero di libri e di articoli scientifici al livello di emissioni inquinanti nell'atmosfera, dalla nascita e diffusione di mode e ideologie al consumo di energia e di altre risorse. Oggi ci troviamo, insomma, nel vivo della rivoluzione più rapida e più profonda mai avvenuta nella storia dell'umanità: una trasformazione che di solito chiamiamo progresso, ma che contiene in sé il germe che un giorno potrebbe divorare tutto.

Il versante di questa rivoluzione più evidente, perché sotto gli occhi di tutti, è quello scientifico-tecnologico, che si è sviluppato in seguito al potente impulso della Rivoluzione industriale e verso la metà del secolo scorso ci ha permesso, tra le altre cose, di imbrigliare l'energia dell'atomo e di penetrare il segreto del codice genetico. In tempi più recenti, grazie al continuo sviluppo dell'elettronica, l'evoluzione tecnologica umana è stata caratterizzata, in particolare, dall'esplosione dell'informatica e

delle comunicazioni, una trasformazione che in poco tempo ha scosso per contatto un po' tutte le attività della nostra società: la ricerca, l'educazione, l'economia, la finanza, il commercio, il lavoro, il divertimento. Ma, nel complesso, si può dire che le principali conseguenze sociali della grande rivoluzione scientifico-tecnologica degli ultimi due secoli sono state la crescita della popolazione mondiale, il fenomeno della globalizzazione e l'aumento del divario economico tra paesi ricchi e paesi poveri, tra il «Nord» e il «Sud» del mondo.

La crescita senza precedenti della popolazione mondiale ha coinciso, inizialmente, con l'espansione economica dei paesi europei e degli Stati Uniti, resa possibile dalla Rivoluzione industriale, che 200 anni fa ha introdotto macchine a vapore in grado di sfruttare in modo assai efficiente le risorse non rinnovabili, incrementando enormemente la capacità della terra di fornire sostentamento agli individui. Oggi questa tendenza alla crescita demografica è ancora più accentuata nei paesi del cosiddetto «Terzo Mondo»,⁶ in seguito ai progressi del Ventesimo secolo sia nella medicina preventiva e curativa sia nella produzione e nel trasporto del cibo, mentre nei paesi industrializzati la popolazione si è assestata su valori quasi costanti. Il numero di abitanti del pianeta è passato nel frattempo dai circa 500 milioni dell'era preindustriale ai 6,5 miliardi attuali (alla data del settembre 2005), e continua a salire. Se si considera che negli ultimi 10.000 anni la popolazione mondiale era cresciuta solo in modo lento e modesto, è chiaro che ci troviamo di fronte a un vero *boom* demografico.

Oltre a essersi fatto sempre più stretto e pieno per l'aumento dei suoi abitanti, con la rivoluzione dell'informatica e delle comunicazioni il mondo è diventato, negli ultimi decenni, sempre più piccolo e interdipendente: è il cosiddetto fenomeno della *globalizzazione*, o mondializzazione, che ha investito, da una parte, il settore dell'economia e della finanza; dall'altra, il settore della cultura e dell'informazione. Grazie all'esplosione delle

reti elettroniche e dei nuovi media, i mercati finanziari e i mezzi di informazione di massa sono diventati i due veri sistemi nervosi della società moderna. La globalizzazione dell'economia ha significato la nascita delle imprese multinazionali, che sono diventate, con il loro crescente potere economico, dei nuovi attori sulla scena internazionale, affiancandosi a quelli tradizionali rappresentati dagli stati-nazione. Ciò è avvenuto sullo sfondo del «villaggio globale» determinato dai nuovi mezzi di comunicazione, divenuti intanto strumenti sempre più importanti nell'influenzare l'opinione pubblica.

Se però, da una parte, il mondo si è fatto più piccolo e inter-dipendente, dall'altra, il divario economico tra il Nord ricco e industrializzato ed il Sud povero o in via di sviluppo è diventato sempre più grande: il quinto della popolazione mondiale che vive oggi nei paesi occidentali o nel resto del mondo sviluppato gode sempre più di ricchezza, tecnologia, benessere e di altri vantaggi, mentre gli altri quattro quinti della popolazione mondiale che abitano nei paesi più arretrati del pianeta conoscono la fame, la malattia, la violenza, l'ignoranza e la povertà. Questo squilibrio economico tra Nord e Sud è allargato dalla globalizzazione, ma soprattutto dal modello di sviluppo occidentale che ne è alla base: il *sistema liberal-capitalistico* fondato sulla legge del profitto a tutti i costi e sul mercato-padrone che regola ogni

cosa. E, come se ciò non bastasse, l'emergere degli integralismi religiosi nel Sud del mondo crea una contrapposizione sempre più forte tra i nostri paesi occidentali e quella parte del pianeta che non si riconosce in questo modello di sviluppo.

Il crescente divario economico si aggiunge a quello tecnologico e demografico tra un Nord che è *tecnologicamente* in crescita e un Sud che è, invece, *demograficamente* in crescita; e questo si traduce in uno squilibrio complessivo sempre più lacerante. Per di più, come vedremo nel prossimo capitolo, le due esplosioni tecnologica e demografica stanno determinando, come contropartita, l'impovertimento delle risorse planetarie, il deterioramento dell'ambiente, la proliferazione delle armi di distruzione di massa e l'*escalation* del terrorismo, una maggiore vulnerabilità alle epidemie e l'aumento delle migrazioni internazionali. Questi *trend* sono assai preoccupanti perché rischiano di causare la rottura di quei delicati equilibri esistenti tra il mondo ricco e industrializzato e il resto degli abitanti del pianeta e, soprattutto, dell'equilibrio che esiste tra uomo e natura da milioni di anni. Ciò mette in serio pericolo non solo la sicurezza e il benessere di noi fortunati cittadini di un ricco paese occidentale, ma anche il futuro e la sopravvivenza dell'intera umanità.

LA PRIMA SPECIE A RISCHIO DI AUTODISTRUZIONE

I precedenti timori sul nostro futuro non sono certamente esagerati se si considera che, a partire da 550 milioni di anni fa, quando si sono sviluppati i primi grandi organismi pluricellulari, sul nostro pianeta sono apparse miliardi di forme viventi profondamente diverse fra loro e che l'*Homo sapiens* rappresenta la prima e unica specie, nella lunga storia del mondo animale, ad aver raggiunto – sia pure solo negli ultimi decenni dell'attuale civiltà tecnologica – la capacità di provocare, più o meno deliberatamente, la sua stessa estinzione.



Figura 1.4. Lo stridente contrasto che esiste sul nostro pianeta tra il Nord ricco e industrializzato e il Sud povero e in via di sviluppo.

L'estinzione è un fenomeno che fa parte dell'ordine naturale delle cose. Esso spiega perché appena 1 su 1.000 dei miliardi di specie animali e vegetali comparse finora sulla Terra è oggi vivente: le altre, dopo essere sopravvissute per un periodo che, in media, è dell'ordine del milione di anni, sono sparite, estinguendosi completamente o trasformandosi in specie nuove che magari meglio si adattavano alle mutate condizioni ambientali (in tal caso si parla, più correttamente, di *pseudoestinzione*). Ciò che predispone una specie alla vera estinzione è la sua rarità, cioè una scarsa diffusione geografica accompagnata da una popolazione composta da un numero ridotto di individui.⁷ Quando le condizioni ambientali si fanno biologicamente o fisicamente difficili, infatti, una specie rara corre davvero grossi rischi: predatori e specie rivali, malattie epidemiche, incendi, violente variazioni climatiche e – se la popolazione è assai piccola – anche il semplice accoppiamento tra consanguinei possono darle l'irrimediabile «colpo di grazia».

Da ciò possiamo dedurre che l'uomo è stato vulnerabile all'estinzione naturale soltanto agli inizi della sua evoluzione, quando le scimmie e gli ominidi nostri progenitori contavano popolazioni poco numerose e vivevano in un'area geografica molto ristretta, confinati come erano nella Rift Valley, in Africa orientale.⁸ In seguito, i nostri antenati migrarono dall'Africa iniziando un'espansione che li avrebbe lentamente portati a colonizzare quasi ogni angolo del globo; e nel frattempo la popolazione è andata crescendo in maniera significativa, soprattutto grazie allo sviluppo degli utensili, e in seguito alla pratica dell'agricoltura e dell'allevamento animale. A quel punto, neppure i peggiori eventi naturali o la ferocia dell'uomo stesso potevano costituire un vero pericolo per la nostra specie: l'ampia distribuzione geografica della popolazione sempre più numerosa, unita all'isolamento fisico tra le comunità più lontane, era la migliore «polizza di assicurazione» contro la scomparsa dell'umanità per guerre, malattie, carestie o quant'altro.

Tale situazione è rimasta sostanzialmente immutata fino alla metà del secolo scorso, quando la specie umana ha acquisito, per la prima volta, la capacità di autodistruggersi grazie al controllo dell'immensa energia racchiusa nell'atomo: una conquista della nostra civiltà tecnologica ben presto impiegata dalle due superpotenze, USA e URSS, per la costruzione di migliaia di micidiali ordigni nucleari. Da allora, la spada di Damocle di una guerra termonucleare globale capace di provocare l'estinzione del genere umano pende sulle nostre teste, sebbene la fine della Guerra fredda abbia creato in molti l'illusione che il pericolo sia cessato. I soli missili strategici esistenti oggi negli Stati Uniti e in Russia montano circa 7.000 testate nucleari, più che sufficienti per distruggere l'intero pianeta, e vengono tenuti ancora in un alto livello di allerta, perpetuando così il rischio di un lancio per errore o non autorizzato, che al momento rappresenta, forse, la causa più probabile di un'eventuale guerra nucleare estesa su scala mondiale.

Per capire l'eccezionalità dell'epoca storica in cui siamo appena entrati, basta riflettere sul fatto che, fino a cinquant'anni fa, l'*Homo technologicus* – anche volendo – non avrebbe mai potuto provocare la propria estinzione: né con una guerra, né



Figura 1.5. Il classico «fungo» prodotto dall'esplosione di una bomba nucleare in un test americano effettuato durante la Guerra fredda.

in alcun altro modo. Perfino i conflitti più violenti della storia recente sono stati, infatti, assai limitati, in termini di potenza distruttiva, rispetto a un moderno missile carico di testate nucleari. La bomba di tipo convenzionale più potente utilizzata durante la Seconda guerra mondiale aveva una potenza di circa 10 tonnellate di TNT (trinitrotoluene, ovvero tritolo), mentre tutte le bombe riversate dagli alleati sulle forze irachene durante l'intera Prima guerra del Golfo non hanno superato, complessivamente, le 85.000 tonnellate di TNT. Una testata nucleare media di un missile balistico ha invece una potenza dell'ordine del megaton, equivalente, cioè, a ben 1.000.000 di tonnellate di TNT. Inoltre, molti missili che fanno parte dell'arsenale strategico delle potenze nucleari sono a testata multipla: hanno, cioè, più testate, indirizzabili ciascuna su un obiettivo diverso.

Prima della rivoluzione portata dal dominio dell'atomo, dunque, nemmeno il peggior Hitler o il più folle bin Laden avrebbero mai potuto mettere in pericolo la sopravvivenza del genere umano, sia pur impiegando in maniera sistematica e massiccia le più temibili tecnologie disponibili, convenzionali e non: missili balistici, cacciabombardieri, armi biologiche o chimiche, e così via. Insomma, come per il mitico vaso di Pandora in cui erano racchiusi tutti i mali del mondo,⁹ «il coperchio è ormai stato tolto»: con l'invenzione dell'arma nucleare, l'umanità è diventata improvvisamente vulnerabile, e purtroppo non si può più tornare indietro. Come se ciò non bastasse, oltre quello nucleare nuovi pericoli mortali per la nostra specie si vanno già profilando all'orizzonte, in conseguenza dei recenti sviluppi scientifici e tecnologici, soprattutto nel campo dell'ingegneria genetica e – in un futuro più lontano – dell'intelligenza artificiale, della robotica e delle nanotecnologie. In altre parole, il vaso di Pandora della tecnologia potrebbe riservare ancora molte terribili minacce ai nostri remoti discendenti.

Oggi l'umanità è costretta a passare attraverso una sorta di «collo di bottiglia» evolutivo, stretto e senza precedenti. È come

se noi stesso conducendo sulla nostra specie un gigantesco esperimento che non ammette possibilità di errore. L'unica strada per uscire davvero da questo collo di bottiglia che abbiamo appena imboccato è quella, troppo lontana nel tempo per rappresentare una soluzione realistica e pratica, di colonizzare prima lo spazio vicino alla Terra e, poi, di espandersi gradualmente nella Galassia: l'emigrazione di un cospicuo numero di persone in zone lontane del Sistema Solare, e in seguito della Via Lattea, libererebbe la specie umana dall'incombente minaccia di estinzione. Infatti, le varie colonie create nello spazio profondo dai nostri discendenti sopravviverebbero a qualsiasi catastrofe terrestre e, grazie alle enormi distanze reciproche che le renderebbero, di fatto, dei mondi isolati dal nostro pianeta e fra loro, potrebbero continuare a percorrere ciascuna una differente strada evolutiva, contro l'unica attuale.

Con la trasformazione del cosmo in un nuovo e sconfinato habitat per l'uomo, il pericolo di una nostra completa estinzione potrebbe venir fugato addirittura per sempre. Ma vi è pure un'altra ragione per cui lo spazio potrebbe un giorno costituire, oltre che una garanzia di salvezza, la frontiera finale del genere umano. Il fatto è che, al ritmo di crescita degli ultimi decenni, l'aumento della popolazione, del consumo delle risorse non rinnovabili, del deterioramento ambientale, ed i numerosi altri *trend* negativi che illustreremo in dettaglio nel prossimo capitolo, non sono sostenibili a lungo sul nostro piccolo pianeta: dunque, lo sviluppo quasi esponenziale che sta caratterizzando, qui sulla Terra, la nostra epoca sembra dover rappresentare soltanto una fase transitoria nella lunga storia dell'uomo e della civiltà. Ma, alla luce di tutte queste riflessioni, che cosa potrà allora succedere all'umanità, sia nel bene che nel male, nei prossimi secoli, millenni o perfino milioni di anni? Quale potrebbe essere, insomma, il futuro a breve, medio e lungo termine della nostra civiltà tecnologica e dell'intera specie umana?

LA FUTUROLOGIA, OVVERO L'ARTE DI PREVEDERE IL FUTURO

Per fortuna, se da una parte l'uomo è l'unica specie animale capace di provocare la propria estinzione, dall'altra è anche la sola creatura vivente in grado di prevedere, o almeno immaginare, il futuro, e quindi teoricamente capace di prevenire una fine disastrosa o un lento regresso delle sue condizioni di vita. Ma come – e fino a che punto – si può davvero prevedere il futuro?

In un lontano passato, la predizione del futuro era affidata ad oracoli e sibille, cui venivano attribuite arti profetiche e divinatorie. In effetti, in ogni epoca sono esistite persone che affermavano di poter leggere il futuro, chiamate ora sciamani o veggenti, ora chiromanti o indovini, per tacere degli astrologi. Oggi, però, vi sono degli scienziati, dei pensatori e degli scrittori che amano esplorare il futuro così come altri esplorano il passato o lo spazio geografico: sono i cosiddetti *futurologi*, studiosi specializzati nella ricerca di come si evolverà e di che cosa ne sarà della nostra società o dell'intera biosfera. Ovviamente la moderna futurologia, che è una disciplina al confine tra scienza e arte e che richiede uno spiccato senso critico, non ha la pretesa di predire il futuro, se con questa espressione si intende la previsione esatta di eventi singoli, specifici; ma, piuttosto, vuole trarre dai sintomi del presente e dall'esperienza del passato indicazioni su ciò che potrebbe accadere in futuro, ovvero cerca di fare luce sui molti possibili futuri.

Noi tutti i giorni cerchiamo, in realtà, di prevedere il futuro di qualcosa: dal prezzo delle azioni di borsa al tempo che farà nel prossimo fine settimana, dai numeri che potrebbero uscire al lotto alla posizione dei pianeti osservabili nel cielo. Il modo più semplice che abbiamo da tempo a disposizione per tentare di indovinare il futuro è quello di estrapolarlo dal passato. In pratica, l'estrapolazione viene compiuta per via matematica, prolungando con la stessa legge la curva lineare o di altro tipo che approssima al meglio l'andamento passato della variabile

che ci interessa. Questa tecnica sfrutta il fatto che molti grossi sistemi – sia nel mondo naturale sia nella complessa società umana – cambiano in maniera lenta semplicemente a causa della loro inerzia. Di conseguenza, la tecnica risulta applicabile ogni qualvolta la variabile da estrapolare sia ben definita, i suoi cambiamenti siano relativamente piccoli e si disponga di una serie temporale di dati piuttosto lunga: è il caso della popolazione umana, della temperatura del pianeta, e così via.

Sul breve termine, questo dell'estrapolazione dal passato è un metodo che in genere funziona piuttosto bene, purché ad alterare gli sviluppi futuri non intervengano nel frattempo delle «sorprese», cioè degli eventi inattesi in grado di modificare bruscamente i cambiamenti che i *trend* in corso sembrano suggerire. Si tratta di un'ipotesi di solito abbastanza ragionevole nel caso dei sistemi fisici e naturali, molto meno nella nostra società o comunque quando entrano in gioco i comportamenti umani. Per definizione stessa, le sorprese sono eventi – spesso di grande impatto e talvolta catastrofici – che non è possibile anticipare perché mai accaduti prima o perché difficilmente prevedibili: ne sono un esempio l'invenzione del transistor e la formazione del buco nell'ozono, la comparsa del morbo della mucca pazza e dell'epidemia di SARS, nonché il terribile attacco terroristico



Figura 1.6. La borsa di New York. Gli operatori cercano di prevedere il futuro delle azioni.

dell'11 settembre. Le sorprese rendono tipicamente poco attendibili le estrapolazioni delle tendenze umane superiori ai 10-20 anni nel futuro, e possono «mandare all'aria» anche le proiezioni a brevissimo termine.

Ovviamente, se ci limitiamo a estrapolare oltre il lecito le tendenze attuali, non arriviamo al futuro ma a una caricatura del presente. Per fortuna, esiste una tecnica predittiva più raffinata, applicabile anche sul medio termine e resa possibile solo in tempi relativamente recenti dall'introduzione del computer: è quella della previsione, per così dire, «scientifica» del futuro. Si tratta di una rivoluzione concettuale, perché occorre vedere tutto in termini di «sistemi»: si parla, così, di sistemi umani o socio-culturali (ad es., famiglia, nazione, società mondiale), di sistemi naturali o biologici (gruppo di specie, ecosistema, biosfera) e di sistemi fisici (Sistema Solare, galassia, universo). In generale, un sistema interagisce con altri sistemi o ne fa semplicemente parte (ad es., una nazione appartiene alla società mondiale), e il suo stato è di solito descritto dal valore di alcune «variabili» o parametri, sebbene non possa essere ridotto soltanto a queste. Prevedere il futuro di un sistema, quindi, significa valutare l'andamento futuro delle sue variabili.

Ebbene, l'approccio scientifico alla predizione del futuro consiste nel compiere le estrapolazioni sulla base di un modello del sistema che ci interessa: si cerca, cioè, di trovare delle relazioni matematiche tra le diverse variabili del sistema in modo da poterlo descrivere il più fedelmente possibile e da poter poi effettuare simulazioni del suo comportamento con l'aiuto del computer. Nel caso dei sistemi fisici, spesso è la teoria stessa che fornisce, attraverso alcune leggi, la relazione matematica tra le diverse variabili: il moto dei pianeti nel Sistema Solare, per esempio, è prevedibile in modo preciso perché descritto dalla legge di gravitazione universale di Newton. Ciononostante, questo e alcuni altri sistemi fisici (e non) esibiscono un comportamento *caotico*: ovvero, un lieve mutamento delle condizioni

iniziali conduce a grandi differenze nel risultato finale. In pratica, se un sistema è caotico, esiste una scala di tempo oltre la quale non si possono fare previsioni accurate, ma solo in termini di probabilità: ad esempio, per il sistema atmosfera – e, più in generale, in meteorologia – essa è di appena cinque giorni.

In linea di principio, il metodo dei modelli e delle simulazioni è applicabile, oltre che ai sistemi fisici, a numerose altre situazioni: economia, ecologia, politica, clima, sviluppo demografico e tecnologico sono tutti campi in cui entrano in gioco sistemi complessi e comportamenti umani che mettono alla prova le nostre capacità predittive. Tuttavia, quando c'è di mezzo l'uomo, di solito le variabili che descrivono il sistema sono tantissime e tutte collegate fra loro da complessi cicli di retroazione, il che complica enormemente qualsiasi tentativo di previsione. In tal caso i modelli, specie su tempi abbastanza lunghi, non possono prevedere quale sarà il futuro, ma consentono di pensare ad esso in modo più concreto e quantitativo. Infatti, variando le condizioni del sistema all'inizio o nel corso della simulazione, si può vedere che cosa accadrebbe sotto una varietà di ipotesi, e quindi imparare moltissimo su uno specifico argomento semplicemente analizzando quali e quanto grandi siano gli effetti prodotti da determinati cambiamenti.

Se il futuro dell'uomo e della civiltà non si può prevedere per via matematica, una tecnica relativamente recente ma ampiamente usata consente di saperne di più, anche sul lungo termine, ed è quella di «ragionare per scenari». Si tratta di fare congetture ragionevoli e alternative fra loro sull'avvenire – gli *scenari*, per l'appunto – usando molta immaginazione e basandosi sulla conoscenza dei punti fermi, delle incertezze e delle tendenze principali del nostro tempo in campo sociale, economico, politico, tecnologico, eccetera. Naturalmente, se per ogni tendenza si adotta un *trend* estremamente positivo, si ottiene uno scenario positivo, e in effetti gli scenari più semplici da ottenere sono quelli totalmente ottimistici o pessimistici, ma si possono

immaginare scenari intermedi. Dunque gli scenari permettono, più che di prevedere un ben preciso futuro, di capire meglio la situazione nella sua globalità, di valutare l'importanza di certi eventi o di loro combinazioni, nonché di ipotizzare i vari possibili mondi futuri tenendo conto delle sorprese.

La fantascienza, in questo contesto, si inserisce non come un tecnica predittiva *tout court*, ma piuttosto come un prezioso e insostituibile ausilio nella costruzione degli scenari. Infatti essa, pur essendo diretta maggiormente alla scienza e alla tecnologia, aiuta a sviluppare nuove idee uscendo dai nostri rigidi schemi mentali, e a guardare le situazioni da una prospettiva nuova. È dunque una tecnica molto utile per il lontano futuro, dove la difficoltà sta proprio nell'«andare al di là» scatenando la propria fantasia, ma in maniera razionale, coerente e plausibile. In effetti, l'errore più grosso che possiamo fare volendo tentare di immaginare il futuro è quello di non essere abbastanza arditi o fantasiosi: se una cosa è tecnicamente possibile, in fondo, è verosimile che prima o poi accada, come pure è possibile che in futuro si scoprano altre leggi fisiche oggi sconosciute. E gli scrittori di fantascienza sono meglio attrezzati di scienziati ed esperti per capire il modo in cui tali novità scientifiche e tecnologiche influenzeranno il nostro modo di vivere.

2. UN MONDO DI PROBLEMI

*È questo il modo in cui finisce il mondo:
non con un'esplosione,
ma con un gemito.*

(Thomas S. Eliot)

Al rischio di una catastrofe planetaria dovuta all'impatto di asteroidi o comete, con il quale l'uomo convive da sempre, si sono aggiunte per la prima volta, negli ultimi decenni, nuove e spesso altrettanto gravi emergenze a livello globale – **il boom della popolazione mondiale, l'impovertimento delle risorse naturali, il deterioramento ambientale, la crescente vulnerabilità alle epidemie, la proliferazione delle armi di distruzione di massa, l'escalation mondiale del terrorismo, l'aumento delle migrazioni internazionali** – che rappresentano, in un certo senso, lo «scotto da pagare» per le strabilianti conquiste compiute recentemente dalla nostra civiltà tecnologica. Si tratta di una sorta di «sfide», tutte assai diverse l'una dall'altra ma di vastissima portata, che, proprio a causa dei loro importanti risvolti di carattere ecologico, geopolitico, economico e sociale, più di tante altre rischiano di abbassare, in questo Ventunesimo secolo, il livello della qualità della vita nei nostri paesi occidentali ricchi e industrializzati; e, nel complesso, minacciano la sopravvivenza sulla Terra dell'intera specie *Homo sapiens*.

LE EMERGENZE PLANETARIE: PROBLEMI, MINACCE, TENDENZE

Nel lontano passato, l'uomo doveva guardarsi da numerosi mortali pericoli: in particolare, dai classici e temutissimi «cavalieri dell'Apocalisse» (pestilenze, guerre e carestie) e dalle grandi calamità naturali (terremoti, eruzioni vulcaniche, uragani, inondazioni, eccetera). Eppure, nessuna delle sventure possibili a quei tempi costituiva una seria minaccia per l'avvenire dell'umanità, ad eccezione della poco probabile caduta sul pianeta di un grosso corpo extraterrestre.

Oggi, nel pieno dell'esplosione tecnologica della nostra civiltà, la situazione è completamente diversa. La prospera società occidentale da una parte, e i paesi del Terzo Mondo dall'altra, si trovano ad affrontare una gran quantità di *problemi emergenti*, ovvero che si stanno manifestando per la prima volta o con



Figura 2.1. L'uomo da sempre deve guardarsi dalle forze della natura, come testimonia il recente maremoto in Asia. Nella moderna società tecnologica a questi pericoli si sono aggiunti quelli, talvolta ben più gravi, provocati dall'uomo stesso.

una portata senza precedenti. A questo proposito, occorre distinguere in modo chiaro quelli che sono i *problemi immediati*, cioè almeno in parte già presenti, dalle *minacce*, i problemi che rischiano di concretizzarsi solo in un futuro più o meno lontano. Tra i problemi immediati rientrano la sovrappopolazione, il cambiamento climatico, la perdita della biodiversità, gli attentati terroristici, l'emergere di nuovi virus, l'immigrazione clandestina. Tra le potenziali minacce, invece, le più temibili per l'Occidente¹ sono quella di una guerra termonucleare globale, di un'epidemia mondiale altamente letale, di migrazioni di massa di diseredati verso le nostre prospere nazioni e, sul più lungo termine, di un effetto serra a valanga.

L'altra novità è che quelle odierne sono sfide *globali*. Questo perché i problemi emergenti presenti e futuri coinvolgono con i loro effetti su ampia scala l'intero pianeta, come ad esempio nel caso del riscaldamento terrestre, della comparsa di nuove malattie e dello scoppio di parecchi ordigni nucleari. Oppure perché si tratta di emergenze su scala regionale che riguardano ormai un po' tutti i paesi del mondo, come succede per la crescita dell'inquinamento locale e per l'eccessivo sfruttamento di alcune risorse non rinnovabili. O, infine, perché sono questioni che contrappongono il Nord ricco e industrializzato – Europa e Stati Uniti in testa – al Sud povero e in via di sviluppo, come nel caso dell'esplosione demografica, del terrorismo internazionale e dell'immigrazione clandestina. Negli ultimi decenni, i problemi e le minacce globali sono andati via via aumentando per quantità, qualità e visibilità; e ora i relativi sviluppi strategici, ecologici, economici e sociali, nel loro complesso interagire, modificano ogni giorno il volto del pianeta.

Le sette grandi *tendenze* di carattere demografico, ambientale, geopolitico o sociale poste in evidenza all'inizio di questo capitolo non sono state scelte a caso: esse sono all'origine dei principali problemi globali che già affliggono il mondo e, soprattutto, delle più serie minacce per il nostro prossimo futuro.

Purtroppo, l'uomo non è né biologicamente né culturalmente preparato a percepire – e tantomeno ad affrontare – le tendenze graduali ed insidiose come queste ora in atto, che paiono spingerci verso un mondo più affollato, più caldo, più violento e conflittuale, più povero di risorse e più ricco di malattie. Ma oggi i segnali delle nuove e ben più gravi crisi planetarie che si vanno prospettando sono sempre più evidenti, per coloro che sanno leggerli. Nella nostra vita quotidiana si presentano, ad esempio, sotto forma di eventi climatici estremi, smog e piogge acide, guerre per l'acqua o per il petrolio, attentati terroristici eclatanti con armi non convenzionali, episodi di intolleranza razziale e malattie in passato sconosciute.

Le preoccupanti e ben assodate tendenze a medio termine oggetto del presente capitolo, le quali investono l'intero pianeta e contribuiscono pesantemente nel determinare il futuro del mondo, sono purtroppo all'origine, oltre che dei problemi immediati e di varie minacce prevedibili riguardanti l'avvenire, anche di numerose «sorprese», cioè di problemi del tutto inattesi, più o meno gravi. La comparsa del buco nell'ozono, dovuto alle emissioni antropogeniche nell'atmosfera di clorofluorocarburi, e del morbo della mucca pazza, scatenato dall'alimentazione con farine animali dei bovini, sono probabilmente due fra gli esempi più significativi in tal senso. Tra i problemi futuri, in effetti, i più importanti – e potenzialmente catastrofici – potrebbero essere quelli che ci sono ancora sconosciuti. In fondo, appena all'inizio degli anni Settanta, fenomeni oggi sulla bocca di tutti – come il riscaldamento globale e l'assottigliamento dello strato di ozono – e malattie come l'AIDS, l'Ebola e la SARS, ci erano ancora completamente alieni.

Comunque si vogliano classificare gli innumerevoli problemi e le minacce globali che causano il peggior danno o affliggono il maggior numero di persone, una qualche semplificazione della realtà – tipo quella qui adottata, che li lega a sette distinte e potenti forze transnazionali di cambiamento – risulta di fatto

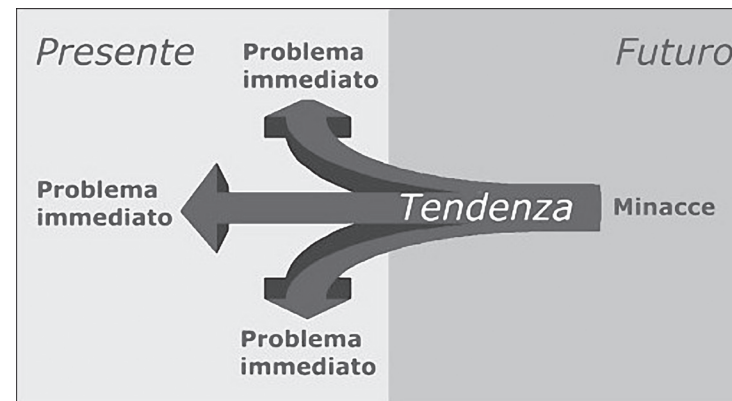


Figura 2.2. La nostra società tecnologica si trova ad affrontare numerosi problemi o emergenze, alcuni dei quali già ora presenti (problemi immediati), mentre altri si concretizzeranno solo in futuro e rappresentano oggi soltanto delle minacce più o meno prevedibili. Come sarà illustrato nel corso di questo capitolo, sette importanti tendenze di carattere demografico, ambientale, geopolitico e sociale sono all'origine della maggior parte dei problemi immediati odierni e delle peggiori minacce per l'avvenire.

inevitabile. Queste tendenze planetarie, infatti, mascherano un più profondo livello di complessità che tiene conto degli aspetti regionali del mutamento. Inoltre, è evidente che le priorità del «Sud economico del mondo», cioè dei paesi poveri o in via di sviluppo, rappresentate di solito dalla miseria, dalla malnutrizione, dall'inedia e dalla guerra, risultano ben diverse dalle priorità nell'agenda del «Nord ricco e industrializzato» – e specialmente delle società occidentali – che si preoccupano soprattutto di ciò che mette, o rischia di mettere, in pericolo la propria sicurezza e il proprio benessere. Il nostro sforzo, nel corso del libro, sarà dunque quello di inserire le differenti problematiche locali, o regionali, in una prospettiva globale.

Ciò risulterà certamente assai utile, perché le interazioni e i rapporti di causa-effetto sia tra le singole linee direttrici del

cambiamento, sia tra i singoli problemi e minacce ad esse legati, sono molteplici, ed è importante comprenderli. Per esempio, la rapida crescita demografica del Sud del mondo e la «sovrappopolazione» già raggiunta nel Nord sono intimamente connessi con la maggior parte degli aspetti della grave situazione in cui si trova l'umanità: una realtà caratterizzata sempre più da eccessivi consumi, degrado ambientale, scarsità di risorse, tensioni internazionali, conflitti etnici o religiosi, improvvise epidemie, emigrazioni forzate; tutti fenomeni a loro volta strettamente e variamente collegati fra loro. E, come se ciò non bastasse, negli ultimi decenni vi è stato un aumento senza precedenti della velocità, dell'ampiezza e della complessità delle diverse interazioni. Vale quindi ora la pena illustrare in un certo dettaglio l'origine storica delle numerose sfide ed emergenze planetarie, mettendo in evidenza le loro principali relazioni reciproche.

IL BOOM DELLA POPOLAZIONE MONDIALE

Cominciamo la nostra discussione parlando dell'incremento demografico dell'umanità attualmente in corso, che rappresenta una delle tendenze più importanti del nostro tempo e tra le principali conseguenze in campo sociale della grande rivoluzione scientifico-tecnologica degli ultimi due secoli, insieme al fenomeno della globalizzazione e all'aumento del divario economico tra Nord e Sud del mondo.

Più che di incremento, si deve in realtà parlare di un vero e proprio *boom* demografico. Infatti, nell'arco dei passati 10.000 anni, la crescita della popolazione mondiale è stata lenta e piuttosto costante, mentre si è impennata negli ultimi 250 anni. Anzi, se allarghiamo l'orizzonte temporale all'intera storia dell'uomo, secondo il demografo americano Edward S. Deevey la popolazione sarebbe cresciuta soprattutto durante tre fasi, ciascuna coincidente con una rivoluzione tecnologica che avrebbe

notevolmente incrementato le capacità della Terra di sostenere gli individui. Il primo grande aumento, da circa 150.000 nostri antichi antenati a quasi 5 milioni, si ebbe con lo sviluppo degli utensili, cominciato un milione di anni fa. La seconda ondata, da 5 a 500 milioni di individui, fu avviata dall'introduzione dell'agricoltura e dell'allevamento animale, avvenuta intorno a 10.000 anni fa. E ora ci troviamo nella terza ondata di crescita – da poco più di 500 milioni ai circa 6,5 miliardi odierni – dovuta allo sviluppo della civiltà industriale.

Quest'ultima ondata demografica è senza dubbio, delle tre, di gran lunga la più importante, perché caratterizzata da un in-

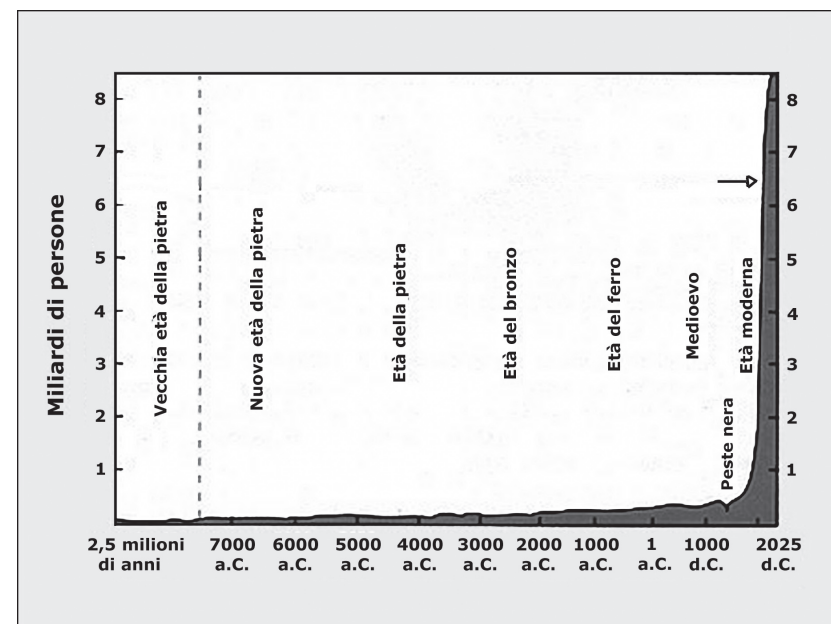


Figura 2.3. La crescita della popolazione mondiale nel corso della Storia a partire da 2 milioni e mezzo di anni fa, fino alle stime relative al 2025 d.C. Tale crescita è correlata con le fasi di sviluppo della società dominante. L'esplosione demografica è relativamente recente e si lega al periodo industriale che inaugura la moderna società tecnologica.

cremento straordinario, per rapidità e accelerazione, del numero di abitanti del pianeta. Di questi, che nell'anno zero erano 250 milioni, si è avuto il primo raddoppio dopo 1650 anni. Il raddoppio successivo c'è stato dopo 150 anni: 1 miliardo nel 1800. Poi l'*escalation*, con i 4 miliardi raggiunti nel 1950. E se l'aumento continuerà, come si prevede, per almeno alcuni decenni (sia pure più lentamente che in passato) nel 2050 si arriveranno a sfiorare i 10 miliardi di persone. La storia della popolazione umana, pertanto, può essere divisa in due parti: un periodo lunghissimo di crescita lenta che va dagli albori della nostra specie fino al 1750 circa, seguito da una fase brevissima di incremento esponenziale che arriva sino al giorno d'oggi. Quest'ultima fase rappresenta solo lo 0,0002 per cento della storia dell'uomo, eppure in essa sono nati l'85 per cento (cioè oltre i quattro quinti) di tutti gli individui apparsi finora sulla Terra.

Dal punto di vista della crescita demografica, le nazioni sviluppate e quelle in via di sviluppo hanno storie molto diverse. Verso la fine del Settecento, con il processo di modernizzazione avviato dalla Rivoluzione industriale in Europa e negli Stati Uniti, si è avuta una grossa diminuzione del tasso di mortalità, fatto precipitare dal miglioramento dell'alimentazione e dell'igiene pubblica, e in seguito dai progressi della medicina. Diversi anni dopo, il passaggio da una società rurale e analfabeta a una società urbana, industriale e scolarizzata, ha dato il via anche a una diminuzione della natalità, grazie soprattutto al cambiamento nella valutazione dell'opportunità di avere figli – tramutatisi da un'«assicurazione per la vecchiaia» in un peso economico crescente – e alla disponibilità di metodi contraccettivi efficaci e a buon mercato. Fu proprio questo sfasamento temporale tra la diminuzione dei tassi di mortalità e di natalità, noto come *transizione demografica*, il fenomeno responsabile dell'esplosione numerica del mondo occidentale.

La transizione demografica è ormai conclusa nei paesi del «Nord economico del mondo» (Europa, Stati Uniti, Giappone,

Canada, Australia e Nuova Zelanda), sebbene si sia svolta con tempi abbastanza diversi in quanto a data di inizio e durata. Pertanto il numero totale dei loro abitanti – pari a un quinto dell'umanità – è oggi, in sostanza, costante. Nelle nazioni in via di sviluppo, invece, la transizione demografica è iniziata assai più tardi, in molti casi nel Ventesimo secolo, ed è diventata quantitativamente predominante intorno al 1920. A determinare il calo della mortalità, sono stati soprattutto i mezzi di prevenzione e di cura delle malattie infettive, ed i progressi nella produzione e nel trasporto del cibo, trasferiti con successo dai paesi ricchi. Tali interventi hanno evitato che epidemie e carestie decimasero le popolazioni più povere e arretrate come in passato. Tuttavia, in gran parte del Sud economico si è ridotta la mortalità, ma ancora solo parzialmente la natalità: perciò la popolazione mondiale continua, nel complesso, ad aumentare.

La rapida crescita demografica in atto nei paesi in via di sviluppo del Sud e la sovrappopolazione già raggiunta dal Nord ricco e industrializzato non costituiscono – come risulterà chiaro nei prossimi paragrafi – un problema o una minaccia di per sé, ma per le loro molteplici implicazioni. Nei paesi più sviluppati del Nord, ad esempio, pur rimanendo stazionario il già ragguardevole numero di abitanti, vanno continuamente crescendo i consumi e le manipolazioni tecnologiche di risorse naturali, energia e materie prime destinate alla produzione e all'uso di beni materiali spesso superflui, un fenomeno sempre più incentivato dal nostro modello di sviluppo consumistico. Ciò scatena una serie di inaccettabili «effetti collaterali» dannosi per l'uomo e per l'ambiente, a cominciare da sempre più diffusi inquinamenti di tipo chimico e biologico. In questo senso il Nord è «sovraffollato»: non per un problema di spazi, come in un cinema, ma perché la scala di attività della sua attuale popolazione è sempre meno in equilibrio con l'ambiente.

Nel Sud del mondo, invece, l'aumento in corso del numero di individui comporta grandi incrementi nella produzione e nel

consumo dei necessari beni primari (cibo, acqua, energia, etc.), favorendo – tendenzialmente – l'esaurimento di risorse naturali non rinnovabili e il deterioramento ambientale. Nelle nazioni in via di sviluppo, come le popolose Cina e India, a preoccupare è il fatto che esse vorranno presto raggiungere un livello di vita analogo a quello occidentale, mettendo in crisi l'intero ecosistema terrestre. Così nei paesi più poveri, che non dispongono di altri mezzi di sussistenza, il rischio è rappresentato dall'instaurarsi di un circolo vizioso che peggiorerà sempre più la situazione, alimentando terribili epidemie, sanguinosi conflitti etnici o interstatuali e imponenti flussi migratori. Se a ciò si aggiunge che molti paesi del Sud sono dotati di armi di distruzione di massa nucleari o di altro tipo, si intuisce perché vadano ormai emergendo delle serie minacce transfrontaliere da cui anche il Nord non può affatto considerarsi immune.

Purtroppo, tentare di agire sull'andamento della popolazione attraverso una politica di controllo delle nascite, con l'obiettivo di arrestare la crescita demografica al Sud e magari ridurre il sovraffollamento al Nord, non sembra una strada praticabile – o almeno, non in tutti i paesi – e richiederebbe comunque molti decenni a causa della grande inerzia che caratterizza le dinamiche demografiche. Quindi non si può pensare di affrontare solo così i numerosi problemi dell'umanità, e non si può in alcun modo prevedere se tra uno, due o tre secoli la popolazione mondiale sarà in aumento, in declino o stazionaria. Oggi ci troviamo nell'ultima fase di una grande ondata di crescita demografica, vale a dire di una transizione da un mondo caratterizzato da alti indici di natalità e di mortalità a un mondo con bassi indici. Ma quale sarà davvero l'andamento futuro o quello sul più lungo termine della popolazione (oggi le proiezioni ipotizzano una stabilizzazione sui 12 miliardi di individui nel 2100) dipenderà, in ultima analisi, da una serie di scelte di natura culturale, politica e sociale, e – specie nel male – dalle eventuali sorprese.

IL PREOCCUPANTE DETERIORAMENTO AMBIENTALE

Una delle più gravi tendenze planetarie legate all'esplosione demografica in atto nel Sud e, in misura maggiore, all'aumento dei consumi pro-capite nel Nord è il crescente degrado dell'ambiente: l'aria, l'acqua, il suolo, gli ecosistemi e l'intera biosfera sono sempre più alterati e sconvolti dall'attività su larga scala e spesso sconsiderata dell'uomo. Ciò contribuisce all'esaurimento di importanti risorse naturali, minaccia la nostra salute e – soprattutto – quella del fragile pianeta su cui viviamo.

Responsabile del deterioramento ambientale oggi in atto su scala globale è il forte inquinamento creato non solo dalla parte più povera dell'umanità come conseguenza della sua eccessiva popolazione, ma, soprattutto, dalla parte più ricca a causa dei suoi grandi sprechi.² L'uomo, infatti, ormai usa e trasforma sempre più ingenti quantità di risorse naturali, di energia e di materie prime che ritornano poi agli ecosistemi dai quali provengono in forme e composizioni assai diverse da quelle originarie, e sovente sono «inquinanti»: cioè capaci di provocare danni alla salute umana, ad altri esseri viventi o all'ambiente in generale. Ma, sebbene vi siano molte legittime ragioni di preoccuparsi degli effetti nocivi dei pesticidi, dello smog e dei rifiuti radioattivi sulla nostra persona, ben più allarmante è la minaccia indiretta per noi stessi e per le generazioni future portata da alcuni inquinanti alla salute degli ecosistemi naturali e dei cosiddetti «sistemi di sopravvivenza» da cui maggiormente dipendiamo, come l'atmosfera, i suoli coltivabili, gli oceani e le falde acquifere.

Spesso i problemi collegati al degrado dell'ambiente sono scoperte del tutto inattese, come nel caso del famoso «buco» nella fascia di ozono che circonda la Terra proteggendola dai pericolosi raggi ultravioletti solari. L'idea che i clorofluorocarburi (o CFC), i gas contenuti nelle bombolette spray e nei circuiti di raffreddamento di frigoriferi e condizionatori, potessero distruggere le molecole di ozono presenti nella stratosfera venne

avanzata sul piano teorico nel 1974; ma fu solo nel 1985 che i satelliti osservarono il fenomeno, già ben evidente, sopra l'Antartide, attirando sul problema l'attenzione generale. Oggi l'erosione della fascia di ozono – la cui completa scomparsa potrebbe mettere in grave sofferenza gli ecosistemi terrestri e marini, già sottoposti a forti stress – pare relativamente sotto controllo, sebbene il buco non appaia «chiudibile», nella migliore delle ipotesi, prima di 50 anni; tuttavia, il fenomeno rimane uno dei più chiari indici del cambiamento, o meglio, del deterioramento ambientale in corso a livello della biosfera.

Ben più preoccupante dell'assottigliamento dello strato di ozono è l'aumento dell'effetto serra, che è causa dell'attuale riscaldamento del pianeta e del cambiamento climatico globale. La Terra, infatti, che per la sua distanza dal Sole dovrebbe avere, in mancanza di un'atmosfera, una temperatura di -18°C , ha una temperatura media di 15°C grazie alla presenza nell'atmosfera di gas «serra» (quali il vapore acqueo, l'anidride carbonica, il metano e altri), che trattengono sul pianeta il calore ricevuto dal Sole e che verrebbe altrimenti riemesso nello spazio. Questo «effetto serra» del tutto naturale è oggi in aumento, come testimoniato dalla rapida crescita, osservata negli ultimi decenni, della temperatura media planetaria e del livello dei mari. La temperatura più elevata favorisce l'aumento delle precipitazioni e contribuisce alla formazione di uragani, tempeste e inondazioni più distruttive; quest'ultimo è, insieme ai due precedenti, uno degli aspetti più evidenti del mutamento climatico in atto e, senz'altro, ben percepibile anche nel nostro paese.³

L'uomo pare contribuire, almeno in parte, all'aumento dell'effetto serra attraverso l'immissione nell'aria di gas serra – in particolare dell'anidride carbonica prodotta bruciando combustibili fossili nelle centrali elettriche e con le automobili – e, in misura minore, attraverso la deforestazione. Permanendo i trend odierni, nei prossimi 100 anni la temperatura del pianeta potrebbe crescere di 2-3 gradi, il livello dei mari potrebbe

innalzarsi di parecchi centimetri inondando molte isole e città costiere, ed i climi regionali potrebbero modificarsi in maniera drastica, provocando gravissime conseguenze ecologiche, sociali ed economiche che oggi sono soltanto parzialmente prevedibili. Inoltre, se l'attività umana è davvero responsabile in larga misura del riscaldamento globale, sul lungo termine minaccia di materializzarsi anche uno scenario assai più fosco, su cui torneremo più avanti: quello di un inarrestabile effetto serra a cascata che ridurrebbe la Terra a un pianeta simile a Venere, dove tale fenomeno si è già verificato qualche miliardo di anni fa.

L'inquinamento causato dall'uomo non colpisce comunque soltanto l'aria, ma anche l'acqua e il suolo. Un recente segnale che non potrebbe essere più esplicito è quello delle rane deformi che stanno nascendo da qualche anno in alcune zone degli Stati Uniti e del Canada. Scoperte per la prima volta nel 1995 da alcuni studenti nei laghi del Minnesota, sono «mostri» con zampe, appendici e occhi in più oppure mancanti. Oggi sappiamo che queste malformazioni sono indotte dai contaminanti chimici



Figura 2.4. Alcune delle rane deformi scoperte di recente nei laghi del Minnesota (USA). Sono soltanto un esempio dei gravi danni causati dall'uomo agli ecosistemi e in fondo, sia pure in maniera meno appariscente, a se stesso.

presenti nell'acqua e nel suolo, in particolare fungicidi e pesticidi. Le rane deformi non sono, però, un caso isolato. Sempre per l'inquinamento da noi prodotto dell'acqua e del suolo, i primitivi uomini Inuit di alcune zone della Groenlandia e del Quebec artico presentano nel loro corpo tassi assai elevati dei pericolosi composti chimici detti PCB, o policlorobifenili, assunti attraverso la catena alimentare: il risultato è che la fertilità del loro sperma va gradualmente diminuendo.⁴ E infine gli esemplari maschi di diversi animali (pesci, uccelli, orsi), sempre nella regione artica, stanno addirittura nascendo ermafroditi.

Vere e proprie «sentinelle ambientali», accomunate dalla caratteristica di percepire per prime gli effetti del progressivo degrado ecologico planetario, le rane deformi, le popolazioni meno fertili e gli animali ermafroditi rappresentano la «punta dell'iceberg», alcuni dei più evidenti segnali premonitori – insieme all'assottigliamento dello strato di ozono e all'aumento dell'effetto serra – della catastrofe ecologica a cui l'uomo rischia di andare incontro. E solo per ragioni di spazio non staremo qui a illustrare i gravi effetti provocati sui laghi e sulle foreste di mezzo mondo dalle piogge acide, che depositano al suolo l'anidride solforosa e gli ossidi di azoto immessi nell'aria da centrali elettriche, automobili e incendi. Né ci soffermeremo sulle sempre rilevanti conseguenze sull'ambiente ecosistemico prodotte da una varietà di altri gas e di sostanze chimiche tossiche, o sui danni causati dai rifiuti urbani e industriali, dagli incidenti a petroliere o ad impianti nucleari, eccetera.

Il buco nell'ozono, il rapido aumento dell'effetto serra, le piogge acide e l'avvelenamento generale del pianeta costituiscono fenomeni completamente nuovi nella storia dell'umanità, che sottolineano il pericolo insito nel superare la capacità della Terra nell'assorbire sia i nostri prodotti di scarto sia le conseguenze di attività compiute su larga scala. Purtroppo, è sempre più difficile identificare le conseguenze precise dei nostri singoli

inquinamenti, perché i loro effetti diretti sulla flora e sulla fauna si combinano in modo sinergico: vale a dire che non si sommano semplicemente, ma gli uni aggravano gli effetti degli altri. Certo è che il maggiore flusso di raggi ultravioletti, il mutamento climatico, le deposizioni acide e le sostanze tossiche che immettiamo nell'ambiente rendono le piante e gli animali meno resistenti agli stress «naturali» come le malattie, gli attacchi di parassiti e le condizioni meteorologiche avverse. E l'impatto sugli ecosistemi di questo attacco combinato è ogni giorno più evidente agli occhi dei ricercatori.

Come se ciò non bastasse, alle forme di inquinamento attuali se ne potrebbe aggiungere nei prossimi decenni una nuova, rappresentata dall'introduzione in massa nell'ambiente di organismi geneticamente modificati (OGM), di cui ben poco si sa dal punto di vista del comportamento ambientale, oltre che degli effetti sulla salute.⁵ Si tratta di nuovi batteri, virus, piante e animali creati artificialmente in laboratorio inserendo nel loro DNA geni estranei prelevati da altre specie viventi: ciò per scopi commerciali che vanno dalla produzione di maggiori quantità di cibo a quella di combustibili alternativi, dalla prevenzione di malattie veicolate da insetti alla sintesi dei farmaci. L'introduzione negli ecosistemi di queste nuove forme di vita comporta una serie di rischi di cui oggi non possiamo valutare la portata. Soprattutto, se talune di queste innovazioni provocassero dei danni inattesi, la propagazione nella biosfera dei relativi OGM potrebbe essere irreversibile e non conoscere frontiere, costituendo una minaccia paragonabile all'inquinamento chimico e nucleare.

IL PROGRESSIVO ESAURIMENTO DELLE RISORSE

Un'altra preoccupante tendenza planetaria legata all'esplosione demografica nel Sud del mondo e, soprattutto, all'aumento dei

consumi pro-capite nel Nord è l'esaurimento – o almeno l'impovertimento – di importanti risorse naturali non rinnovabili (acqua, suolo, foreste, combustibili fossili, biodiversità, eccetera): un fenomeno dovuto al crescente utilizzo di materie prime e di energia, ma aggravato dal deterioramento ambientale in atto, che contribuisce a dissipare molte risorse.

Come abbiamo appena visto, negli ultimi anni i problemi di carattere globale connessi con l'inquinamento hanno evidenziato i rischi che si corrono oltrepassando la capacità del pianeta di assorbire i nostri prodotti di scarto. Si è prestata, tuttavia, minore attenzione alle conseguenze che derivano dal superare i livelli di rifornimento sostenibili delle risorse essenziali, cosa che in quest'epoca storica sta per la prima volta accadendo. La questione è invece rilevante perché, mentre il Nord ricco e industrializzato può in parte supplire all'esaurimento di risorse materiali ed energetiche grazie allo sviluppo di nuove (seppure in genere assai costose) tecnologie, nei paesi più poveri e arretrati del Sud la crescente competizione per le scarse risorse rischia di provocare una serie di carestie, epidemie, conflitti e migrazioni di massa dagli effetti potenzialmente pericolosi e senza precedenti per la stabilità e la sicurezza del nostro mondo sviluppato, soprattutto se le nazioni in cui si muore non sono molto distanti o posseggono armi di distruzione di massa.

Per milioni di anni l'uomo è vissuto – come accade per gli altri animali – in equilibrio con la natura, utilizzando per la sua sopravvivenza risorse rinnovabili che vengono continuamente reintegrate da processi che coinvolgono piante, animali e microrganismi. Le cose sono però cominciate a cambiare alcune migliaia di anni fa con la scoperta dei metalli, che rappresentano il primo utilizzo di risorse non rinnovabili. Questo cambiamento è andato accelerando con l'avvento della civiltà industriale, che all'uso dei metalli ha aggiunto quello cospicuo di combustibili fossili. Negli ultimi decenni, inoltre, lo sfruttamento eccessivo di risorse rinnovabili come l'acqua potabile, il suolo coltivabile

e le foreste, che hanno cominciato a venire utilizzate più rapidamente di quanto potessero rigenerarsi, ha reso di fatto tali risorse *non* rinnovabili. Metalli, combustibili fossili, falde, suoli e foreste rappresentano, così, un patrimonio naturale preziosissimo che l'uomo sta oggi velocemente depauperando con i suoi crescenti consumi e inquinamenti.

L'approvvigionamento di metalli non costituirà, sul breve termine, un problema; mentre, per quanto riguarda i combustibili fossili (petrolio, carbone, gas naturale), la questione del loro progressivo impoverimento si pone senz'altro, perché si tratta di risorse che al ritmo di consumo attuale si esauriranno in un tempo relativamente breve: circa 50 anni per il petrolio,⁶ 70 per il gas naturale e 200-300 anni per l'assai inquinante carbone. Inoltre, la domanda mondiale di energia va continuamente crescendo. Secondo gli esperti, comunque, con un maggior numero di centrali a gas e di impianti nucleari magari di nuova concezione, e con un crescente sfruttamento sia delle fonti di energia rinnovabili (idroelettrica, solare, eolica) sia di nuovi combusti-



Figura 2.5. La domanda di energia è in continua crescita e porterà, prima o poi, all'esaurimento dei combustibili fossili. La grande sfida è quella di come affrontare al meglio la transizione energetica verso l'era della fusione nucleare.

bili, l'umanità potrebbe tirare avanti ancora per qualche secolo, in attesa che diventi finalmente realtà la fusione nucleare: una fonte di energia quasi inesauribile e «pulita», che dopo 40 anni di costose ricerche sembra però ancora lontana da risultati concreti, rischiando di crearci, così, notevoli grattacapi.⁷

Più drammatico è il problema della diminuzione dei suoli coltivabili e dell'acqua potabile, che nei prossimi anni affliggerà molti paesi poveri del Sud economico del mondo. Al fenomeno contribuisce non solo il *boom* della popolazione, ma anche l'attività dell'uomo: da una parte, vi è una continua erosione della superficie coltivabile legata all'uso troppo intensivo del terreno, alla desertificazione, alla siccità, alla salinizzazione e alle piogge acide; dall'altra, l'acqua dolce potabile e irrigante disponibile sta diventando insufficiente per l'eccessivo prelievo, per l'accumulo di sali e di composti tossici e per l'alterazione del ciclo naturale. Già nel 2015, quasi metà della popolazione mondiale vivrà in paesi dell'Africa, del Medio Oriente o dell'Asia con carenze croniche di acqua. Poiché nel mondo in via di sviluppo l'80 per cento dell'acqua è usata per l'agricoltura, tutto ciò comporterà una minore disponibilità di cibo e un abbassamento della qualità della vita, aumentando la possibilità di conflitti e il divario economico con il Nord.

Se l'esaurimento delle precedenti risorse rischia, più che altro, di far saltare i delicati equilibri attuali tra gli uomini e tra le nazioni, l'antico equilibrio tra l'uomo e la natura è messo a repentaglio soprattutto dalla riduzione, oggi in atto, della biodiversità, cioè di quell'immenso patrimonio di forme viventi che popolano il nostro pianeta: non solo animali e piante superiori, ma anche insetti, funghi, alghe, batteri, eccetera. Le ragioni dell'impoverimento di questa preziosissima risorsa non rinnovabile sono diverse. In primo luogo, la distruzione sistematica delle foreste tropicali – dove vivono gran parte delle specie terrestri – per ottenere nuovi suoli coltivabili e pascoli: deforestazione che procede al ritmo dello 0,5 per cento annuo. A questo scem-

pio si aggiunge la lenta distruzione, in tutto il mondo, di altri importanti habitat (tra cui le barriere coralline e le zone umide) e di singole specie, provocata dall'uomo spesso indirettamente attraverso il cambiamento climatico, l'immissione di inquinanti, l'introduzione di specie esotiche, l'alterazione del territorio e dei cicli naturali, lo sfruttamento intensivo di caccia e pesca.

Il tasso di estinzione attuale, ovvero la rapidità con cui le specie spariscono, è ben 1.000 volte superiore a quello precedente la comparsa dell'uomo: in pratica, secondo alcune recenti ricerche, ogni anno si estinguerebbero circa 27.000 specie, e si prevede un'accelerazione di questo tasso di estinzione di un ulteriore fattore 10 nel corso del prossimo secolo. Se si considera che il numero complessivo di specie che popolano la Terra è stimato nell'ordine dei 10 milioni (di cui solo un decimo sono quelle note e catalogate), questo equivale a dire che già entro la metà di questo secolo si estingueranno circa il 30 per cento delle specie. Ciò ci pone, di fatto, sull'orlo di quella che è ormai chiamata la *sesta grande estinzione* nella storia del pianeta, con riferimento alle cinque estinzioni di massa naturali che negli ultimi 500 milioni di anni hanno segnato la storia della vita sulla Terra.⁸ Ma questa volta si tratterà di un evento provocato dall'uomo e che sarà paragonabile all'estinzione di massa di 65 milioni di anni fa, legata alla scomparsa dei dinosauri.

Le ragioni per preoccuparsi di questa sorta di «olocausto biotico» sono molteplici, e riguardano tutti noi. Innanzitutto, l'incredibile diversità genetica contenuta nelle svariate specie e popolazioni è la materia prima della rivoluzione biotecnologica di domani, nonché la possibile fonte di nuovi farmaci e alimenti. Inoltre, non sappiamo quali sarebbero le conseguenze sulla biosfera del crollo o della scomparsa in massa di interi ecosistemi, di una vasta gamma di popolazioni geneticamente diverse, che rappresentano peraltro la migliore arma di difesa posseduta dall'ambiente per minimizzare i danni prodotti dall'attività dell'uomo. Ma, al di là dei discorsi strettamente utilitaristici, vi

sono soprattutto delle ragioni morali per cui il mondo sviluppato dovrebbe salvaguardare per le generazioni future non solo ogni «capolavoro» frutto di un'evoluzione iniziata miliardi di anni fa – quale ogni specie è – ma l'evoluzione stessa sul nostro piccolo e fragile pianeta della vita non umana, che continuando di questo passo sarà sempre più a rischio.

LA CRESCENTE VULNERABILITÀ ALLE EPIDEMIE

La quarta grande tendenza planetaria, in buona parte legata alle precedenti, è la crescente vulnerabilità della popolazione mondiale alle «epidemie»: cioè all'improvvisa apparizione, in una zona più o meno vasta, di una nuova malattia infettiva, o alla crescita considerevole del numero dei contagiati attesi di malattie note, causate da agenti patogeni quali virus, batteri o altri microrganismi naturali. Ciò contribuisce a limitare la speranza di vita nel Sud nel mondo e, come vedremo, mette in teoria a repentaglio la sopravvivenza addirittura dell'intera umanità.

Cominciamo dai virus, unità subcellulari costituite da un acido nucleico (DNA o RNA) racchiuso in un involucro proteico: di per sé sono inerti, non hanno vita, ma quando entrano in una cellula possono diventare «vivi», perché sono in grado di replicarsi usando le istruzioni contenute nel loro materiale genetico e i materiali presenti nella cellula ospite. Siccome non possono vivere per conto proprio nell'ambiente naturale, i virus sono ospitati dai «serbatoi» animali, cioè da popolazioni di una qualche specie animale in cui possono sopravvivere indefinitamente saltando da animale a animale e infettando sempre nuovi arrivati. All'epoca dei nostri remoti antenati africani, di tanto in tanto, questi virus colpivano l'uomo, cui erano trasmessi dal contatto occasionale con la specie ospite. Ma poiché i nostri antenati vivevano in gruppi assai piccoli e sparpagliati sul territorio, l'epidemia in genere si estingueva rapidamente, in quanto il virus a

un certo punto non trovava più nuovi individui da infettare per mantenere attivo il contagio fra umani: perciò, il «salto di specie» del virus era di breve durata.

Con l'introduzione dell'agricoltura e la domesticazione degli animali, circa 10.000 anni fa iniziò il passaggio dall'uomo raccoglitore-cacciatore nomade al coltivatore e allevatore stanziale. Le mandrie, grazie alla loro popolazione assai numerosa, divennero nuovi serbatoi di virus che ben presto poterono passare definitivamente all'uomo, quando le comunità umane superarono a loro volta una certa dimensione e concentrazione in termini di popolazione, con la nascita di villaggi e poi di città (si veda, sulle condizioni che portano alla nascita, al propagarsi e al mantenimento di un'epidemia, l'Appendice I). Apparvero così molte malattie virali tuttora presenti, tra cui il morbillo e il vaiolo, trasmessi dai bovini, e l'influenza, che proviene dai maiali. La specie umana divenne allora, a sua volta, serbatoio di virus, che col tempo, in seguito alla coevoluzione parassita-ospite, divennero specifici dell'*Homo sapiens*. L'uomo, pertanto, oggi può contrarre nuove epidemie virali entrando in contatto non solo con nuovi serbatoi animali, ma anche con comunità umane abbastanza grandi rimaste geograficamente isolate per lungo tempo, ed è sostanzialmente indifeso contro l'attacco di questi micidiali agenti patogeni.

Purtroppo ancor oggi, nonostante i notevoli progressi compiuti dalla medicina negli ultimi due secoli, le malattie virali non sono state affatto debellate dall'uomo, sia perché per molte di esse non si è potuto ancora mettere a punto vaccini specifici, sia perché ormai da una trentina d'anni si assiste, sporadicamente, all'improvvisa comparsa di «nuovi» virus, soprattutto in Africa: l'HIV, l'Ebola, il Marburgo, il Lassa, solo per citarne alcuni, ne sono un classico esempio. In effetti, i virus conosciuti sono migliaia, ma ben di più sono quelli esistenti in natura ancora ignoti, che si trovano soprattutto nei serbatoi animali di cui sono ricche le foreste tropicali, e che possono venire trasmessi

all'uomo dando origine a epidemie più o meno gravi ed estese. Da alcuni decenni, a causa principalmente delle alterazioni ecologiche legate all'attività umana (deforestazione e coltivazione di nuove terre, creazione di dighe e laghi artificiali, mutamento del clima, eccetera), le occasioni di contatto fra serbatoi animali in precedenza isolati e l'uomo stanno aumentando, favorendo l'emergere di nuovi virus e lo scoppio di focolai epidemici.⁹

I virus «emergenti», cioè apparsi nell'uomo per la prima volta negli ultimi decenni, e per i quali non esistono in genere cure o vaccini, sono più di una trentina, fra cui l'HIV e l'Ebola. Quest'ultimo – reso famoso al grande pubblico da film come *Virus letale* e da libri come *Area di contagio* – è al centro dell'attenzione generale per il suo altissimo tasso di letalità: uccide fino al 90 per cento degli infettati, con il paziente che muore in seguito a terribili emorragie interne. Comparso la prima volta nel 1976 in Zaire, questo virus, ospitato da un serbatoio animale ancora ignoto, riappare di tanto in tanto in Africa centrale, ma finora ha ucciso in totale «solo» un migliaio di persone. Al contrario l'HIV, il virus responsabile dell'AIDS, definita la «peste del Duemila», ha innescato una pandemia che in vent'anni ha già ucciso 22 milioni di persone, soprattutto nei paesi poveri di Africa e Asia, e minaccia di fare ancora molte vittime in futuro. Apparso nel 1981 tra alcuni omosessuali e trasmesso



Figura 2.6. Il temibile virus dell'Ebola come appare al microscopio elettronico.

all'uomo probabilmente da qualche scimmia africana, l'HIV si trasmette attraverso il sangue o i rapporti sessuali non protetti, e ha un periodo di incubazione di vari anni, durante i quali il virus è latente nell'ospite.

Il vorticoso incremento della popolazione mondiale perturba solo in maniera indiretta – attraverso i suoi numerosi effetti sull'attività umana e sull'ambiente – ecosistemi un tempo stabili, facilitando, soprattutto nel Sud del mondo, i contatti fra gli animali portatori di nuovi pericolosi virus e l'uomo; ma gioca invece un ruolo più diretto, insieme all'aumento dei viaggi intercontinentali e della velocità dei trasporti, nell'accrescere la possibilità di diffusione di virus in precedenza localizzati. Infatti, l'incremento della densità urbana soprattutto nelle megalopoli del Terzo Mondo e i mezzi di trasporto sempre più rapidi hanno reso mondiale il *pool* degli individui vulnerabili. Se dunque nuove malattie emergono in regioni ad alto afflusso turistico o di grande importanza commerciale, vi è ora il rischio di una loro rapida diffusione a livello globale, senza distinzioni tra Nord e Sud economico del pianeta, dal momento che le epidemie si diffondono indipendentemente dai confini politici e geografici. C'è, pertanto, la possibilità di una futura pandemia altamente letale: un'epidemia estesa all'intera Terra e in grado di minacciare tutti noi.

Quanto sia concreta una simile possibilità lo si è visto con la recente epidemia della SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*), o «polmonite atipica», iniziata nel novembre 2002 nella provincia del Guandong, in Cina, ma riconosciuta come emergenza sanitaria dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) solo nel febbraio 2003, quando minacciò di diffondersi in pochi mesi nel mondo intero. Causata da un coronavirus – una famiglia di virus responsabili del comune raffreddore – «saltato» dagli animali all'uomo, la SARS ha una mortalità elevata soprattutto nei soggetti in età più avanzata, e si trasmette per via aerea o per contatto con particelle e oggetti infetti. Essa si è diffusa princi-

palmente in Cina (5.327 casi e 348 morti) e a Hong Kong (1.755 casi e 298 morti), interessando anche molti paesi limitrofi e un paese occidentale come il Canada (251 casi, 41 morti). Soltanto nel luglio 2003, essendo state interrotte grazie a una reazione rapida e appropriata delle autorità sanitarie mondiali e locali tutte le catene note di trasmissione da persona a persona, l'epidemia è stata dichiarata conclusa dall'OMS.

Benché le nuove malattie catturino di più la nostra attenzione, le vecchie sono tutt'altro che debellate e inoffensive. Con la scoperta, nel 1928, della penicillina da parte di Alexander Fleming, l'umanità si riteneva ormai al sicuro dalle grandi epidemie batteriche, visto che i batteri (a differenza dei virus) sono organismi unicellulari assai semplici – la maggior parte dei quali innocui per l'uomo – sensibili agli antibiotici. Ma da diversi anni, ormai, si assiste nel mondo al «riemergere» di vecchie malattie batteriche, le quali, almeno nei paesi industrializzati, sembravano sconfitte: la tubercolosi, la meningite, il colera, eccetera. Nei paesi occidentali, questa recrudescenza è stata causata dall'AIDS (che favorisce le infezioni «opportuniste»), dai flussi turistici e migratori (che ci legano ai paesi poveri in cui tali malattie sono endemiche), e dalla crescente resistenza sviluppata dai batteri ai trattamenti antibiotici: una resistenza dovuta all'uso-abuso di questi farmaci sia sull'uomo sia sugli animali da allevamento, a cui gli antibiotici vengono somministrati uniti al cibo non per curarne le infezioni, bensì per stimolarne la crescita.

Ciò non deve, in fondo, meravigliare. I mangimi di vitelli, vacche e maiali, imbottiti, in nome del profitto, di farine ricavate da carcasse animali e «drogati» con ormoni e antibiotici sono gli stessi responsabili del cosiddetto *morbo della mucca pazza* – o encefalopatia spongiforme bovina (BSE) – che ha fatto la sua prima comparsa nel 1986, nelle vacche inglesi. L'emergere, circa dieci anni dopo, di una chiara correlazione tra la BSE bovina e una nuova variante della vecchia malattia di Creutzfeldt-

dt-Jakob dell'uomo, di cui nel frattempo si erano manifestati in Inghilterra una decina di casi, fece temere che si fosse all'inizio di un'epidemia su vasta scala.¹⁰ A causare sia la malattia animale sia la variante umana, infatti, erano agenti infettivi «non convenzionali» e, specie all'epoca, poco conosciuti, i *prioni*: piccole particelle proteiche prive, a differenza di virus e batteri, di materiale genetico, ma capaci di riprodursi indirettamente, in caso di alterazione biochimica della loro molecola, inducendo altri prioni sani ad assumere la medesima struttura alterata, trasformandosi così nella versione «maligna» di una proteina che nella sua forma normale è innocua e fisiologicamente presente sulle cellule cerebrali.

In conclusione, le malattie infettive non sono affatto in declino e, malgrado i progressi della medicina, rappresentano oggi la prima causa di morte a livello mondiale, causando circa 13 milioni di vittime l'anno. Ciò è in contrasto con l'ottimo stato generale di salute dei paesi ricchi e industrializzati, dove in testa alle cause di morte ci sono malattie degenerative, quali le patologie cardiovascolari e il cancro. Più fattori possono spiegare questa diffusione delle malattie infettive, che affliggono soprattutto il Sud economico del mondo: l'aumento della povertà e della malnutrizione, l'urbanizzazione crescente, l'inquinamento di acqua, aria e terra, le guerre e le migrazioni massicce. Per fortuna, nei paesi occidentali le malattie infettive mettono meno paura di una volta, perché le preveniamo e combattiamo con l'igiene e con i farmaci. Tuttavia, complice lo sconvolgimento degli ecosistemi e la corsa al massimo profitto, sull'umanità aleggia il rischio di future sorprese simili a quelle dell'Ebola, dell'AIDS e della SARS (e forse del morbo di Creutzfeldt-Jakob e dei «super-batteri» prodotti dalla resistenza agli antibiotici): insomma, potrebbe all'improvviso emergere una nuova grave malattia infettiva su scala planetaria, che si aggiungerebbe a quelle «attese», come l'*influenza aviaria*.¹¹

LA PROLIFERAZIONE DELLE ARMI DI DISTRUZIONE DI MASSA

La quinta grande tendenza che caratterizza la società mondiale è la proliferazione delle micidiali armi di distruzione di massa, che in un mondo sempre più diviso in occidentali e antioccidentali, in ricchi e poveri, in integrati ed esclusi, va assumendo una particolare rilevanza. Questa proliferazione, infatti, mette in prospettiva a rischio non soltanto la sicurezza e il benessere dell'Occidente, ma minaccia anche gli equilibri geopolitici locali in diverse aree del globo; e, in definitiva, mina la stabilità e la sicurezza a livello planetario.

Le «armi di distruzione di massa» (o WMD, dall'inglese *Weapon for Mass Destruction*), sono tutti quegli strumenti di offesa capaci di arrecare devastazione, morte o malattie su vasta scala, a differenza delle armi «convenzionali» – dai coltelli alle pistole, dai cannoni agli esplosivi chimici – che possono, invece, provocare solo danni relativamente limitati, e locali, a uomini e a cose. In pratica, le WMD comprendono armi chimiche, biologiche, radiologiche e nucleari, dette in breve armi «CBRN», le quali creano danni sfruttando, rispettivamente, agenti chimici letali, agenti biologici letali, materiali radioattivi ed esplosioni nucleari (si veda, per una loro descrizione e comparazione sommaria, la *box* a pag. 65). In realtà, esistono decine e decine di possibili armi CBRN, e ciascuna ha le sue caratteristiche specifiche, esponendo di conseguenza l'umanità a rischi molto diversi fra loro: da quello di un piccolo attentato destinato a seminare il panico tra la gente a un attacco a sorpresa su grande scala, mirato a uccidere il maggior numero possibile di persone, e al cui confronto gli attentati dell'11 settembre 2001 parrebbero nulla.

Le armi convenzionali e le tecnologie civili possono, all'occorrenza, diventare armi di distruzione di massa. Proprio nel caso degli attacchi aerei suicidi a New York e a Washington, ad esempio, non è stato nemmeno necessario usare esplosivi o armi da fuoco: ai terroristi sono bastati dei semplici coltellini

di fortuna! Grazie ad essi e alla determinazione di un manipolo di moderni *kamikaze*, strumenti civili e «innocenti» come gli aerei delle grandi compagnie di volo sono stati trasformati in potenti missili o armi da guerra. Dal punto di vista tecnologico, dunque, non si è visto nulla di particolarmente sofisticato: avanzata era, piuttosto, la tecnologia civile degli aerei, che è stata usata per scopi diversi da quelli per cui era stata sviluppata. Nonostante ciò, l'attentato multiplo dell'11 settembre ha rappresentato un gigantesco salto di qualità, sovrastando tutti gli attentati terroristici precedenti in quanto a portata dei danni, grado di pianificazione, complessità dell'azione, livello di teatralità e successo riscosso. Più che agli strumenti utilizzati, quindi, per poter definire un'arma «di distruzione di massa» bisogna guardare agli effetti della sua azione.

L'uso di armi di questo tipo non è certo nuovo nella storia. Le armi biologiche, ad esempio, risalgono ai tempi dei Romani, che usavano le carcasse di animali morti per appesantire i pozzi d'acqua nemici o le città assediate; e dei Greci, che però le trovarono così brutali da creare delle leggi per vietarne l'uso in guerra. Le armi chimiche, invece, hanno assunto una certa importanza in ambito militare solo nel Ventesimo secolo, in particolare nella Prima guerra mondiale e nel conflitto Iran-Iraq del 1980-88,



Figura 2.7. Un Boeing 767, il grande aereo di linea schiantatosi sulle Torri Gemelle e nei dintorni di Pittsburgh negli attentati dell'11 settembre 2001.

mai determinando, però, l'esito finale; tuttavia, già mille anni prima di Cristo, i cinesi usavano fumi avvelenati all'arsenico per portare morte tra le fila nemiche. Rispetto alle armi convenzionali, l'uso bellico (e terroristico) delle armi di distruzione di massa e il numero di vittime prodotto è stato abbastanza limitato, soprattutto se si considera il loro impatto potenzialmente devastante. Ciò è accaduto in parte per ragioni pratiche, quali l'estrema incertezza degli effetti prodotti e le difficoltà di gestione sul campo, in parte per un rifiuto morale: queste armi, infatti, sono percepite dal grande pubblico e dai militari stessi come più ripugnanti ed efferate di quelle convenzionali.

Con le armi di distruzione di massa, la cui capacità di creare danni aumenta di pari passo con il migliorare della tecnologia, il confine tra guerra e terrorismo è destinato sempre più a sbiadirsi, poiché il grado di devastazione raggiungibile è paragonabile agli effetti di una guerra convenzionale: intere città possono venire distrutte, interi Stati tenuti in ostaggio. Per gruppi o singoli terroristi, dunque, l'uso delle armi CBRN può rappresentare un salto di qualità ulteriore rispetto agli attacchi dell'11 settembre. Naturalmente, la capacità delle organizzazioni terroristiche di seminare violenza su larga scala cresce in modo considerevole laddove esse possono contare sul supporto logistico e finanziario di governi amici. I potenziali paesi sostenitori del terrorismo sono i cosiddetti «Stati-canaglia», ritenuti pericolosi anche di per sé, in quanto possessori di armi di distruzione di massa e guidati da personaggi o governi inaffidabili e colpevoli in passato di comportamenti biasimevoli: Iran, Siria, Libia, Sudan, Iraq – che hanno svolto in epoche diverse questo ruolo di «Stati-sponsor» – ma anche Corea del Nord e Cuba.

I vincoli posti, negli ultimi decenni, allo sviluppo di armi chimiche, biologiche e nucleari con trattati internazionali sottoscritti da gran parte delle nazioni non paiono aver scalfito la politica bellica di molti Stati-canaglia e non, che continuano a studiarle e a fabbricarle, sia pure di nascosto: ci riferiamo a Iran,

Corea del Nord, Pakistan, India e Israele. L'Iraq di Saddam Hussein era il paese che ormai da parecchi anni faceva più paura, proprio per i suoi sospetti rapporti col terrorismo, per l'irrazionalità del suo dittatore e per l'arsenale chimico e biologico di cui poteva già disporre e che tentava di espandere anche sul versante del nucleare.¹² Con la guerra del Golfo del 1991, gli Stati Uniti e una coalizione alleata hanno liberato il Kuwait occupato dall'Iraq distruggendone l'intero arsenale di armi per lo sterminio di massa. La non completa distruzione di tali armi, peraltro smentita dalle ispezioni dell'ONU del 2003, rappresenta il motivo «ufficiale» che ha spinto l'America di George Bush alla recente guerra contro l'Iraq di Saddam Hussein: una sorta di guerra «preventiva», secondo la giustificazione della Casa Bianca, che ha portato alla cattura del rais e al tentativo di preparare la strada all'instaurarsi di un governo democratico, cioè filoamericano, al posto del precedente regime dittatoriale.

Il fatto che oggi una decina di nazioni possiedano o stiano sviluppando armi di distruzione di massa – spesso in violazione a trattati da loro stesse siglati, come era successo nel caso dell'Iraq – è preoccupante sia di per sé sia per il rischio che nuovi paesi o gruppi terroristici possano, in un futuro prossimo, acquisirle: cioè, che vi sia una proliferazione *orizzontale* di queste armi. Fra l'altro, il crollo dell'Unione Sovietica ha, dal 1991, accentuato questo pericolo, a causa di due fattori: da una parte, gli immensi arsenali nucleari tattici, biologici e chimici dell'ex-Patto di Varsavia, sempre più deteriorati, poco controllati e vulnerabili ai furti insieme alle strutture di ricerca e di produzione delle armi; dall'altra, l'improvvisa disoccupazione, sempre per mancanza di fondi, di scienziati e tecnici militari. Armi e materiali, come l'uranio arricchito e virus letali, potrebbero quindi essere rubati o rivenduti di contrabbando a Stati pericolosi o a terroristi, mentre gli scienziati potrebbero «vendersi» al miglior offerente: molti biologi, in effetti, sarebbero già andati in Stati quali l'Iran e Israele, portando con sé i segreti della ricerca genetica.

Per giunta, i materiali e il sapere specialistico necessario per paesi, gruppi terroristici o semplici individui esperti che desiderassero realizzare armi di distruzione di massa sono oggi sempre più disponibili. Le sostanze occorrenti per un gas letale, essendo usate in molte produzioni industriali, in quantità piccole sono facilmente acquistabili per posta da un «finto» professionista e assemblabili da uno studente universitario di chimica; analogamente, batteri e virus letali sono ordinabili per posta da biologi e medici a una delle numerose «banche dei germi» esistenti al mondo. Inoltre, patogeni di ogni tipo si trovano già in decine di laboratori civili e militari: qualsiasi bravo virologo molecolare che potesse disporre anche di attrezzature sofisticate grazie all'inarrestabile proliferazione delle moderne biotecnologie, potrebbe riuscire a trasformarli in micidiali armi genetiche. Sulla letteratura scientifica, infine, vengono talvolta pubblicate ricerche di ingegneria genetica di cui si potrebbe fare un cattivo uso, mentre su Internet abbondano informazioni e manuali su come fabbricare un esplosivo, una bomba «sporca» e perfino una bomba atomica, sebbene quest'ultima sia un'arma al di là della portata di terroristi non appoggiati da uno Stato.¹³

Per quanto la letalità dipenda da vari fattori, tra cui il tipo e la quantità d'arma impiegata, le armi di distruzione di massa in grado di provocare più vittime risultano quelle biologiche, seguite da quelle nucleari, mentre ancora meno letali si rivelano le armi chimiche e, naturalmente, quelle convenzionali. Tuttavia, per qualsiasi gruppo terroristico, gli agenti biologici, a fronte del basso costo e della facile reperibilità, presentano lo svantaggio di essere difficili da manipolare, purificare e trasformare in armi efficaci da disperdere nell'aria che respiriamo o nell'acqua che beviamo. Ciò sembra rendere oggi poco probabile un attacco CBRN altamente distruttivo da parte di organizzazioni terroristiche non «statali»: da parte loro, sono più probabili attacchi più limitati, di piccola o media intensità, con armi biologiche, chimiche o radiologiche. Piuttosto che costruiri

re una bomba atomica, infatti, è più semplice procurarsi un po' di radioisotopi ad alta attività (come quelli usati in campo medico e in alcuni laboratori di ricerca) e confezionare con essi una bomba sporca, che con la radioattività liberata può paralizzare un'intera città. O magari attaccare con un aereo «suicida» una centrale nucleare, un'azione che può provocare più vittime dell'incidente di Chernobyl e liberare una quantità di radioattività decine di volte maggiore.

IL CAMPIONARIO DELLE ARMI DI DISTRUZIONE DI MASSA

In base a una classificazione fornita già nel 1947 dal Consiglio di sicurezza delle Nazioni Unite, si possono distinguere quattro diverse tipologie di armi di distruzione di massa:

1) *Le armi chimiche*. Costituite da agenti chimici, sono le più facili da realizzare e usare. Le moderne armi chimiche, che si producono in laboratorio, sono derivate dai gas nervini della Seconda guerra mondiale, che attaccavano il sistema nervoso dell'uomo provocandone la morte. Tra le più potenti prese in considerazione per usi bellici, troviamo il sarin, il vx e il soman. Secondo alcune classificazioni rientrano fra le armi chimiche, non essendo in grado di riprodursi, anche le tossine, cioè le sostanze velenose – come il veleno della vipera o la botulina generata dal batterio *Clostridium botulinum* – prodotte da animali, vegetali o batteri. Per il minor peso e la maggiore aggressività, le tossine si prestano più dei gas nervini ad usi terroristici, ma in un contesto bellico questi ultimi risultano facili da produrre, hanno costi ragionevoli ed effetti rapidi e letali. Contro ciascuna di queste sostanze esistono degli antidoti specifici. L'uso bellico delle armi chimiche è formalmente proibito dal 1925, quando a Ginevra venne firmato un protocollo al riguardo, ma solo nel 1993 la *Chemical Weapons Convention* (cwc) ne ha vietato la produzione e lo stoccaggio, prevedendo la distruzione di quelle

già esistenti entro il 2007. La CWC è stata sottoscritta da 162 nazioni delle 200 aderenti all'ONU e ratificata da 75, inclusi i paesi dell'Unione Europea, gli Stati Uniti e la Russia.

2) *Le armi biologiche.* Sono costituite da agenti biologici. Comprendono almeno una cinquantina tra virus e batteri. A differenza delle armi chimiche, possono riprodursi e diffondersi da persona a persona scatenando un'epidemia, per cui il numero di individui colpiti può essere più ampio usandone una quantità minore. È facile procurarsele e sono economiche, donde l'appellativo di «atomiche dei poveri». Alcuni dei microrganismi impiegabili nel bioterrorismo – antrace, vaiolo, peste, febbri emorragiche quali Ebola, Marburgo e Lassa – sono classificati come «categoria A», la più pericolosa. Esistono vaccini e antibiotici solo contro una parte degli agenti patogeni conosciuti. Una moderna evoluzione delle armi biologiche è rappresentata dalle *armi genetiche*, che sono ottenute con le tecniche dell'ingegneria genetica modificando microbi preesistenti o creandone di nuovi. L'uso delle armi biologiche fu proibito dal protocollo di Ginevra del 1925, ma solo nel 1972 la *Biological Weapons Convention* (BWC) ne ha vietato lo sviluppo e il possesso, se non in piccole quantità per ricerche a scopo di difesa non meglio specificate; inoltre, non sono previsti meccanismi di controllo e ispezione, come per le armi chimiche e nucleari. I firmatari della BWC sono oltre cento, tra cui gli Stati Uniti, l'Unione Sovietica, l'Iraq e i paesi membri del Consiglio di sicurezza dell'ONU.

3) *Le armi nucleari.* Sono armi di tipo esplosivo, che liberano una grande quantità di energia grazie alla reazione a catena di fissione (bombe «A», o *atomiche*) o, in quelle più potenti, di fusione (bombe «H», o *termonucleari*) del nucleo atomico. La potenza può andare dai pochi chiloton di un'arma atomica *tattica*, di supporto ad azioni militari limitate, alle decine di megaton di una testata nucleare *strategica*, destinata a un attacco su vasta

scala sul territorio nemico. A seconda della potenza, queste armi hanno differenti effetti immediati e a lungo termine, locali e globali, dovuti all'esplosione e alle radiazioni prodotte. La *bomba a neutroni*, o «bomba N», con un piccolo impatto esplosivo ma con una gran quantità di radiazioni letali prodotte, è un'arma tattica, costruita dagli Stati Uniti negli anni Settanta. Il Trattato di non proliferazione (TNP) del 1968, firmato da tutte le nazioni escluse Israele, India e Pakistan, vieta ai suoi aderenti al di fuori del «club dei Cinque» (USA, URSS, Inghilterra, Francia, Cina), di acquisire armi nucleari e materiali fissili, e obbliga a consentire ispezioni da parte dell'AIEA, l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica. Nel 1996, è stato approvato il *Comprehensive Test Ban Treaty* (CTBT), che sancisce l'interdizione completa dei test nucleari, ma non potrà diventare operativo finché non sarà firmato da Israele, India e Pakistan e ratificato da tutte le potenze nucleari. Nel gennaio 2003, la Corea del Nord ha annunciato il ritiro «con effetto immediato» dal TNP e gli Stati Uniti ritengono che essa si sia già dotata di qualche bomba nucleare.

3) *Le armi radiologiche.* Sono una variante molto più debole delle armi nucleari, che comprende tutti i dispositivi e i metodi che uccidono per i danni biologici prodotti sul lungo termine dalle radiazioni sprigionate, anziché per gli effetti dell'esplosione. La più nota arma di questo tipo è la «bomba sporca» (*dirty bomb*), costituita da una bomba convenzionale in cui un esplosivo chimico classico è mescolato con i rifiuti radioattivi prodotti da un impianto nucleare, un ospedale, un'industria o un laboratorio di ricerca. In alternativa, per spargere la radioattività nell'ambiente, si può contaminare con tali sostanze il cibo o l'acqua delle reti idriche, oppure colpire con un aereo di linea una centrale nucleare, provocando una nuova e più grave Chernobyl. Le armi radiologiche, in alcuni casi realizzate – ma non usate mai – da governi o gruppi terroristici, sono in teoria

meno letali perfino di quelle chimiche. Tuttavia, l'impatto emotivo ed economico del loro eventuale utilizzo in un attentato terroristico potrebbe essere notevole, perché se un'area abitata venisse colpita andrebbe decontaminata, se non addirittura abbandonata. I trattati sulle armi nucleari, di fatto, limitano la proliferazione anche di quelle radiologiche.

L'ESCALATION MONDIALE DEL TERRORISMO

Una delle tendenze che rendono più preoccupante la proliferazione delle armi di distruzione di massa è il parallelo aumento – percepito in Occidente – del terrorismo nel mondo, che rappresenta sempre più un palcoscenico sul quale gruppi nazionali od organizzazioni internazionali, oppure singoli individui, possono agire per richiamare l'attenzione dei media al fine di rivendicare dei diritti espropriati, o anche solo per mettere in atto un gesto di follia con qualsiasi arma a loro disposizione.

Sono ancora nei nostri occhi le drammatiche immagini degli attentati dell'11 settembre 2001 alle Torri gemelle e al Pentagono. Quel giorno, tra le 8.45 e le 9.05 del mattino, ora locale, due Boeing 767 di linea dirottati ciascuno da cinque terroristi si infilano, a distanza di venti minuti l'uno dall'altro, il primo nella torre nord e il secondo nella torre sud, incendiandole. Nel frattempo un terzo aereo civile, anch'esso dirottato, punta verso il Pentagono e vi si schianta infine contro, causando la morte di 184 persone. Intanto, i passeggeri di un quarto aereo di linea riescono a impedire ai dirottatori, pagando con la vita a causa della caduta del velivolo, che esso vada a colpire, forse, il Campidoglio. Dopo un'ora e un quarto dal primo attacco, la torre sud crolla, seguita dopo mezz'ora dalla torre nord: le vittime sotto le macerie sono 2.823. Quest'attentato multiplo, sferrato

contro i maggiori simboli del potere economico, militare e politico americano, è il più devastante attacco agli Stati Uniti dopo quello giapponese a Pearl Harbour di sessant'anni fa, durante la Seconda guerra mondiale (allora vi furono 2.403 morti).

L'attacco terroristico dell'11 settembre ha rappresentato, in effetti, un'improvvisa *escalation* del terrorismo internazionale, perché è stato un vero e proprio atto di guerra compiuto con aerei di linea usati come bombe, i quali hanno provocato in totale 3.047 vittime civili: un numero più grande di ben una decina di volte del numero massimo di morti che si poteva riscontrare negli attentati con maggior spargimento di sangue compiuti fino ad allora nel mondo con l'uso di armi convenzionali e non. Oggi, dunque, il terrorismo su scala globale, capace di condurre azioni di portata storica come un attacco multiplo dal cielo, che fino a ieri sarebbe stato la trama dei libri di fantapolitica, è una realtà. Negli attentati dell'11 settembre, fra l'altro, si riscontrano molte caratteristiche importanti del terrorismo del passato e, insieme, di quello che potrebbe essere il terrorismo del prossimo futuro: dalla spettacolarizzazione dell'evento al sacrificio uma-



Figura 2.8. New York, 11 settembre 2001. Le due Torri Gemelle del World Trade Center in fiamme dopo che il secondo aereo ha appena colpito la torre sud.

no di attentatori *kamikaze*, dall'emulazione successiva dell'atto all'impiego (o alla sola minaccia di utilizzo) di qualsiasi arma utile alla distruzione di massa.

Lo scopo principale di un terrorista, infatti, è quello di attrarre e mantenere l'attenzione del pubblico nel paese preso di mira o nel mondo intero, per poter trasmettere un messaggio simbolico oppure avanzare richieste concrete o minacce. Per creare emozione in una platea così vasta ed eterogenea, i terroristi compiono di solito una qualche azione drammatica: un attentato, un dirottamento, l'invio di una lettera-bomba. E, per tenere avvinto il pubblico, si valgono dell'aiuto dei media, che fungono da cassa di risonanza per il loro gesto. L'attacco alle Torri gemelle, in cui le fasi più spettacolari – dall'impatto aereo fino alla caduta dei due grattacieli – sono state trasmesse in diretta dalle televisioni di tutto il mondo come se fossero un film, e nelle settimane successive sono state riproposte al pubblico in maniera martellante, è stato esemplare in tal senso. Ma la ripetizione di un'azione terroristica del genere, anche se abilmente messa in scena, annoierebbe: la necessità di attirare l'attenzione, pertanto, potrebbe indurre prima o poi i terroristi a compiere nuovi atti più micidiali ed «emozionanti», se solo ne avranno l'opportunità.

Il mondo del terrorismo presenta una gamma di esponenti ampia e variegata. A uno degli estremi, abbiamo il terrorismo ad opera di gruppi, che hanno sempre alle spalle una giustificazione ideologica – politica, etnica o religiosa – e i cui membri spesso hanno atteggiamenti fanatici e sono disposti a morire in nome di una sopravvivenza superiore (come nel fanatismo islamico), di un'autorità superiore o di un principio morale superiore.¹⁴ Questi gruppi possono essere interni, nazionali, o grandi organizzazioni internazionali. Negli Stati Uniti, esistono gruppi estremisti antiabortisti e organizzazioni razziste di destra responsabili in passato di gravi attentati dinamitardi (a Oklahoma City, nel 1995, un furgone esplosivo provocò ben 168 vittime).

Nel resto del pianeta, il terrorismo, talvolta fomentato da qualche Stato-canaglia, è altrettanto vario: si va dai fanatici arabi della rete Al Qaeda di Osama bin Laden, autrice degli attentati dell'11 settembre, ad altri gruppi fondamentalisti di matrice islamica e non, dai Mujahiddin ceceni agli Hezbollah libanesi, dai palestinesi di Hamas ai baschi dell'ETA e al GIA algerino.

All'estremo opposto, abbiamo il singolo individuo, la figura del terrorista isolato, magari un lunatico scienziato-pazzo coltivato «in casa», nei laboratori delle nostre università. Di fanatici, mitomani e malati di mente che compiono gesti omicidi o criminalmente folli il mondo abbonda. Lo abbiamo visto bene anche in alcune «emulazioni» seguite all'11 settembre: le mortali lettere all'antrace inviate in varie città americane da un attentatore sconosciuto, provocando 5 vittime; i 13 omicidi seriali di John Allen Williams, il «cecchino di Washington» convertito all'Islam; il fallito attentato dell'inglese Richard Reid all'aereo Parigi-Miami con l'esplosivo nascosto nelle scarpe; il suicidio di Luigi Fasulo, che a Milano si schianta col suo aereo contro il grattacielo Pirelli. Ma è, in particolare, di solitari e folli *tecnoterroristi* – cioè di persone esperte in grado di provocare danni in virtù del loro lavoro (magari presso laboratori di ricerca avanzata o arsenali militari) e della loro *expertise* tecnica – che più dobbiamo avere paura. I loro eventuali gesti non avrebbero necessariamente una giustificazione razionale e potrebbero sfidare o tenere in scacco un intero paese, se non provocare guai ben peggiori e irreparabili.

Un tipico esempio di tecnoterrorista isolato è rappresentato dall'americano Theodore Kaczynski, il famoso «Unabomber» (anche tutti i suoi emuli sono stati soprannominati così). Ex brillante matematico delle università di Harvard e di Berkeley, Kaczynski era un luddista anarchico ed ecologista: odiava il progresso tecnologico, riteneva che le macchine stessero distruggendo sempre più l'uomo, di cui ne vedeva in pericolo il futuro. Ciò lo portò a fabbricare nella sua casa sperduta nel Montana

una serie di piccole bombe e a spedirle per posta a scienziati e a tecnici, uccidendo tre persone e ferendone molte altre. Nel 1995, dopo aver inutilmente bersagliato di lettere non esplosive docenti universitari, riviste e quotidiani, Unabomber pose fine alla sua diciassettennale campagna del terrore in cambio della pubblicazione integrale sul *New York Times* e sul *Washington Post* di un suo «Manifesto» contro la civiltà tecnologica. Fu proprio leggendo tale documento, basato su argomenti discutibili ma ricco di illuminazioni, che il fratello di Kaczynski riconobbe l'autore e lo denunciò alla polizia, permettendone l'arresto.

Un discorso a parte meritano le sette religiose, alcune delle quali a metà strada fra i gruppi terroristici veri e propri ed i folli isolati. Nel 1984, negli Stati Uniti i discepoli della setta Rajneesh shee scatenarono un attacco batteriologico – con 751 intossicati, ma nessuna vittima – ai danni dei cittadini di The Dalles, nell'Oregon, infettando i cibi di un self-service con la salmonella, un patogeno acquistato per posta da un medico loro adepto. Lo scopo era quello di provocare nella cittadina un'inabilità di massa per far vincere il proprio candidato a una locale elezione. Un attacco letale si ebbe invece nel marzo 1995, quando l'oscura setta giapponese Aum Shinrikyo liberò nella metropolitana di Tokyo del sarin, un potente gas nervino, provocando la morte di 12 persone e intossicandone migliaia. Si scoprì poi che questa setta religiosa, fondata negli anni Ottanta dal guru Shoko Asahara e con 50.000 seguaci sparsi in sei paesi, disponeva di oltre un miliardo di dollari per la sua teologia apocalittica, che approvava le uccisioni in massa e si proponeva di affrettare la fine del mondo scatenando una guerra tra Russia e Stati Uniti.

I danni provocati dagli uomini di Al Qaeda, dalla Aum Shinrikyo e da Kaczynski non sono niente in confronto a quelli che un abile esperto isolato e malato di mente, o un gruppo terroristico armato e finanziato clandestinamente da uno Stato sovrano dotato di armi di distruzione di massa, potrebbero fare in futuro, se riuscissero a sfruttare appieno la potenza crescente

della tecnologia a loro disposizione. La crescita del terrorismo, d'altra parte, è andata di pari passo con una costante *escalation* dei mezzi di violenza impiegati, ed esiste il rischio che questa tendenza prosegua anche in futuro. Del resto, la stessa necessità di conquistarsi la vetrina internazionale potrebbe indurre ad atti sempre più micidiali: se una lettera-bomba, il sequestro di un aereo o l'attentato con il classico esplosivo chimico non attirerà abbastanza l'attenzione dei media, ciò non succederà di certo con l'avvelenamento chimico di un acquedotto, il rilascio nell'aria di un virus altamente letale o l'esplosione di un piccolo ordigno nucleare, che creerebbero non solo un effetto clamoroso nell'immediato, ma anche un impatto diffuso e prolungato.

L'AUMENTO DELLE MIGRAZIONI INTERNAZIONALI

La sesta e ultima importante tendenza planetaria, collegata agli andamenti in materia di popolazione, risorse, ambiente, malattie e guerre nel Sud del mondo, è l'aumento dei flussi migratori internazionali; in particolare, di quelli diretti dai paesi più poveri o in via di sviluppo verso i paesi del Nord ricco e industrializzato, come gli Stati Uniti e l'Europa occidentale. Una situazione, questa, che pone all'Occidente una sfida difficile, da cui dipende molto del proprio futuro.

In passato, le migrazioni hanno permesso di popolare praticamente l'intero globo, e anche oggi rappresentano un fenomeno planetario che riguarda la complessità dei paesi e dei popoli del mondo. La spinta alla migrazione, in effetti, è assai diffusa e virtualmente perpetua, in quanto di solito conseguenza di significative differenze economiche e socio-demografiche tra le diverse aree geografiche, che danno origine ai cosiddetti *migranti economici*. Di tanto in tanto, tali differenze vengono aggravate, specie nei paesi più poveri, da carestie, disastri ambientali, epidemie, conflitti etnici o religiosi, guerre fra stati, generando

flussi instabili di *profughi*. Naturalmente, le migrazioni possono avvenire sia all'interno di uno stesso paese (è il caso, ad esempio, dell'urbanizzazione, che nel Terzo Mondo vede le persone spostarsi dalle campagne nelle sempre più degradate megalopoli), sia fra nazioni differenti, più o meno lontane. Per quanto riguarda queste ultime – le migrazioni internazionali – occorre inoltre distinguere tra immigrati legali, o *regolari*, immigrati clandestini, o *irregolari*, e richiedenti asilo, o *rifugiati*.

Le odierne tendenze migratorie mostrano che il 70 per cento dei circa 100 milioni di migranti internazionali che si stimano esistere nel mondo si muovono lungo flussi crescenti Sud-Sud, che avvengono in gran parte nell'ambito dell'Africa subsahariana, del Medio Oriente e del sud-est asiatico. Il restante 30 per cento dei migranti internazionali è invece diretto dal Sud economico del pianeta verso i paesi ricchi e industrializzati del Nord America e dell'Europa, che offrono senza dubbio maggiori possibilità di lavoro, di ricchezza e di benessere. Poiché tutti questi paesi hanno di recente introdotto politiche che lasciano poco spazio all'immigrazione legale, la migrazione regolare dal Sud verso il Nord è ora in calo, dominata dai flussi di ricongiungimento familiare, mentre va aumentando l'immigrazione illegale



Figura 2.9. Rifugiati ruandesi si dirigono in Congo durante il genocidio del 1994, una delle maggiori tragedie umanitarie dell'ultimo mezzo secolo, costata la vita a quasi un milione di persone.

e clandestina. Inoltre, nei paesi di accoglienza più meridionali dell'Europa occidentale – come l'Italia, la Spagna, il Portogallo, la Grecia – va da anni crescendo il flusso di arrivi spontanei dei richiedenti asilo, costituito in misura sempre maggiore da migranti economici, piuttosto che da rifugiati veri e propri.

Negli Stati Uniti, nonostante il periodico verificarsi di episodi d'intolleranza razziale, il fenomeno immigratorio, che vede fin dagli anni Ottanta una marea di «nuovi stranieri» provenienti in gran parte dall'America Latina e dall'Asia, è nel complesso percepito abbastanza positivamente. In questo paese, dove l'immigrazione è stata libera sino alla fine della Prima guerra mondiale, nel corso dell'ultimo mezzo secolo il «crogiolo» (*melting pot*) in cui si realizza l'americanizzazione degli ultimi venuti – che prima degli anni Sessanta erano per la maggior parte di origine europea, e dunque si integravano perfettamente con la componente dominante bianca, anglosassone e protestante – è in pratica scomparso. Esso ha lasciato il posto a un «mosaico» multiculturale di diverse comunità (bianchi, neri, ispanici, asiatici, indiani d'America), ciascuna delle quali conserva la propria identità. Ma tale varietà è, in un certo senso, una garanzia di stabilità, perché permette di assorbire più facilmente ogni ulteriore diversità etnica, linguistica, religiosa o culturale, sebbene negli Stati Uniti sia già rappresentato un po' tutto il mondo.

Nell'Europa occidentale, invece, la situazione è alquanto diversa. Infatti, i paesi centro-settentrionali più industrializzati, che tra gli anni Cinquanta e Settanta, nella fase di ricostruzione postbellica e di *boom* economico, hanno incoraggiato o almeno approvato l'immigrazione, si trovano oggi ad ospitare popolazioni numerose di immigrati extraeuropei irregolari e, in molti casi, scarsamente integrati giunti negli anni Settanta, quando in seguito alle politiche di stop all'immigrazione questa è diventata in prevalenza illegale. Inoltre, soprattutto i paesi dell'Europa meridionale, in passato esportatori di manodopera (quali l'Italia e la Spagna) e – non fosse altro che per «osmosi» e per l'aboli-

zione delle frontiere – tutti i paesi dell'Europa occidentale si trovano, sin dall'inizio degli anni Ottanta, a subire un'immigrazione continua, «indesiderata» e in qualche misura incontrollata, di migranti economici clandestini e di rifugiati, che arrivano attraverso canali illegali e chiedendo asilo. In Italia, anzi, si arriva spesso a situazioni drammatiche, legate ai tentativi di «sbarco» di migliaia di profughi, troppe volte finiti in tragedia.

In linea di principio, un intenso flusso di lavoratori immigrati può essere considerato come una straordinaria opportunità per molti paesi europei, tra cui l'Italia, che stanno già subendo gli effetti di un prolungato calo delle nascite, in quanto consente loro di colmare in poco tempo – senza dover aumentare il numero di nuovi nati – la riduzione della popolazione (specie di quella in età lavorativa e impegnata in occupazioni di basso livello), e il rapido invecchiamento di quest'ultima: due fenomeni ai quali si assisterà sempre più nei prossimi decenni. Ma c'è un problema spesso sottovalutato, e cioè che l'afflusso di immigrati accresce la popolazione indigena sia direttamente sia indirettamente, come risultato del naturale incremento degli immigrati, che in genere presentano tassi di natalità più elevati dei nativi. Di conseguenza, l'effetto principale a lungo termine dell'immigrazione, sia in Nord America sia in Europa, si ha non sulla crescita della popolazione locale, bensì sul cambiamento della sua composizione. Ora, fino a che punto l'Italia e l'intera Europa sono pronti a diventare in pochi decenni *multirazziali*?

Gli immigrati, finché costituiscono minoranze relativamente piccole – in Germania e in Austria, comunque, già il 10 per cento della popolazione è straniera, mentre in Italia gli immigrati (regolari e non) sono circa 3 milioni – non possono provocare problemi molto gravi per i paesi ospiti.¹⁵ Ma il rischio che l'Europa corre, a differenza degli Stati Uniti – e che rappresenta la grande sfida di domani per il Vecchio Continente – è quello di un forte aumento futuro delle pressioni migratorie dal Nord Africa, dall'Europa dell'Est, dall'Asia e, in generale, dalle

regioni meno sviluppate del mondo, il quale potrebbe tradursi in incontrollabili immigrazioni di massa, con effetti potenzialmente devastanti per i paesi di accoglienza. Un'immigrazione di massa che ridisegni etnograficamente il nostro continente, e di cui quello che vediamo oggi sarebbe solo un piccolo «assaggio», rappresenta senza dubbio una possibilità concreta, sul lungo periodo, almeno fin quando esisteranno da noi opportunità di guadagnarsi da vivere (in modo più o meno sommerso e legale): se non altro, perché l'attuale divario demografico e socio-economico tra l'Europa e i paesi del Nord Africa tenderà ad aumentare parecchio nei prossimi decenni.

Ciò che preoccupa non è il flusso di immigrazione attuale o le dimensioni raggiunte in Europa dalle comunità di stranieri – entrambi abbastanza modesti, sebbene l'Italia detenga il primato della più alta presenza di irregolari – quanto una futura immigrazione massiccia e incontrollata da paesi extraeuropei etnicamente e culturalmente lontani, che potrebbe portare a pericolose tensioni sociali, con il rischio che il malessere degeneri poi in razzismo, visto che la maggior parte dell'immigrazione futura proverrà, verosimilmente, dal Terzo Mondo. In effetti, c'è chi vede nell'irruzione nel Vecchio Continente di una massa costituita da una bassa plebe estranea ai nostri valori addirittura l'arrivo di «nuovi barbari», con riferimento all'ondata migratoria che fu tra le cause della fine dell'Impero romano. I più pessimisti, inoltre, temono le conseguenze di un'immigrazione massiccia allargata ai musulmani: in Medio Oriente e in Nord Africa, difatti, prospera il fondamentalismo religioso e culturale islamico, e nei paesi europei esponenti di movimenti radicali potrebbero in futuro innescare pericolosi fenomeni terroristici, o mobilitare una sorta di «quinta colonna» interna formata da milioni di immigrati islamici.

L'Italia e l'Europa probabilmente diverranno – volenti o nolenti – sempre più multirazziali. Se i costi finanziari e sociali immediati della presente e futura immigrazione possono diven-

tare o meno, sul lungo termine, un guadagno per l'economia e per la società italiana ed europea dipenderà, essenzialmente, dal grado di integrazione degli immigrati. Poiché è ora utopistico (salvo qualche eccezione) intervenire sulla pressione migratoria direttamente nei luoghi d'origine e poiché gli immigrati, una volta arrivati, in genere restano, occorrerà che le politiche governative mostrino di saper controllare in maniera decisa i flussi di clandestini e irregolari, e permettano di regolare e indirizzare le immigrazioni, «scegliendo» gli ospiti desiderabili in base a criteri quali la loro qualificazione e professionalità, il grado di omogeneità culturale e religiosa, la situazione dei paesi di provenienza, eccetera.¹⁶ In tal modo, si favorirà l'integrazione dei nuovi immigrati e di quelli già presenti, creando le premesse per un clima cosmopolita e tollerante, per condizioni di vita e di lavoro adeguate, e si eviterà l'insorgere nell'opinione pubblica di reazioni psicologiche ostili, xenofobe.

3. LA FINE DELL'UMANITÀ

*Il dovere più importante che abbiamo
nei confronti dei nostri discendenti
è quello di sopravvivere.*

(Harold W. Lewis)

In questo capitolo prenderemo in considerazione l'ipotesi di gran lunga peggiore per il futuro dell'umanità: quella di una rapida e improvvisa scomparsa dal nostro pianeta di gran parte della popolazione mondiale o, addirittura, dell'intera specie *Homo sapiens*. Oggi, infatti, secondo gli scienziati esistono tre diversi tipi di eventi che, se si verificassero, potrebbero condurre a un simile risultato nel giro di poche settimane, mesi o al massimo anni: una guerra nucleare globale, un'epidemia su scala planetaria eccezionalmente letale e la caduta di un grosso corpo extraterrestre. Ma, come se ciò non bastasse, all'orizzonte si va già lentamente profilando un nuovo incubo: la possibilità di creare in laboratorio delle micidiali armi genetiche, manipolando con le moderne biotecnologie i geni di virus preesistenti. Qui concentreremo l'attenzione soprattutto sui problemi del presente e del futuro prossimo, non rinunciando però a qualche previsione relativa al futuro più remoto, legata all'intelligenza artificiale, alle nanotecnologie e al famigerato effetto serra.

I RISCHI GLOBALI TERMINALI E ALTRI TIPI DI MINACCE

Le nostre più potenti tecnologie del Ventesimo secolo, che hanno permesso, da una parte, di trarre energia dall'atomo, di esplorare lo spazio vicino e, in generale, di migliorare la qualità della vita, ma, dall'altra, di realizzare armi per la distruzione di massa – in particolare nucleari, biologiche e chimiche, o NBC – hanno fatto degli esseri umani una specie a rischio di auto-eliminazione.

L'uomo, in fondo, sin dalle sue origini è stato esposto a varie minacce relative alla sua sopravvivenza – malattie, guerre, carestie, eccetera – ma si è sempre trattato di pericoli superabili dall'umanità nel suo insieme. Oggi, invece, per la prima volta nella Storia, sta emergendo una categoria di rischi completamente nuova: quella dei *rischi globali terminali*, cioè delle minacce in grado di causare la scomparsa in breve tempo dell'intero genere umano, oppure di compromettere in modo drastico e permanente il suo potenziale di sviluppo futuro. Un *bang*, o «botto», che provochi l'estinzione rapida e improvvisa dell'*Homo sapiens*, è l'esito più ovvio e concettualmente facile da capire di un rischio globale terminale. Due modi in cui già ora il mondo potrebbe finire in un botto sono una guerra mondiale combattuta con armi termonucleari e la caduta sulla Terra di un grosso corpo asteroidale o cometario. Ma un *crunch*, o «lento declino», della civiltà, come sarebbe quello provocato da un inarrestabile effetto serra a valanga, non sarebbe meno grave di un botto, se portasse la società a un arresto tecnologico senza fine.

Inoltre, mentre alcuni degli eventi che descriveremo in questo capitolo sono in grado di spazzare direttamente via l'*Homo sapiens* dal pianeta, altri possono provocare «solo» il rapido collasso della moderna civiltà, in quanto almeno una piccola parte degli esseri umani riuscirebbe a sopravvivere. È il caso di un'epidemia assai diffusa e letale, di una guerra termonucleare dagli effetti limitati, o magari della caduta di un corpo extraterrestre dalle dimensioni non troppo grosse. Ora, però, non è det-

to che, una volta collassata, la civiltà possa risorgere e superare i livelli di sviluppo pre-crisi, anche se la specie umana dovesse sopravvivere ancora a lungo. Noi potremmo, ad esempio, aver già esaurito o consumato troppe delle risorse facilmente disponibili di cui una società tornata a vivere alle condizioni dell'età della pietra avrebbe bisogno per raggiungere il nostro livello di tecnologia. Per di più, una razza umana precipitata in uno stato primitivo sarebbe vulnerabile ai processi naturali di estinzione né più né meno di qualsiasi altra specie animale.

I rischi terminali vanno poi ben distinti dai *rischi globali sopportabili*, cioè quelli che non provocano né l'estinzione dell'umanità, né il suo retrocedere permanente a uno stato di barbarie o a un livello (più basso rispetto all'attuale) di civiltà «quasi non tecnologica». Questo tipo di rischi include, ad esempio, una recessione economica mondiale senza precedenti, un riscaldamento globale moderato, una consistente perdita della biodiversità planetaria, una guerra su larga scala combattuta con armi convenzionali. Purtroppo, la soglia critica che per un dato tipo di evento separa le conseguenze terminali da quelle sopportabili – cioè che distingue un botto «finale» da uno che non lo è – risulta sempre assai difficile da determina-



Figura 3.1. L'esplosione al decollo dello Shuttle Challenger, avvenuta nel 1986, è un esempio dei rischi presenti anche nelle tecnologie più avanzate. Queste ultime sono oggi talmente potenti da minacciare l'intera umanità.

re. Naturalmente, il fatto che un rischio globale sia sopportabile non significa che sia accettabile o non particolarmente serio, ma solo che l'umanità può alla fine riprendersi e che gli effetti, per quanto gravi, sono da considerarsi transitori. D'altra parte, è anche vero che un rischio globale sopportabile potrebbe costituire un rischio terminale per molti individui o, soprattutto localmente, per intere popolazioni.

I rischi globali terminali e i rischi globali sopportabili, in effetti, non sono altro che due delle categorie in cui si possono classificare qualitativamente i rischi. In base alle *conseguenze* dell'evento e alla sua *portata*, cioè alle dimensioni del gruppo di persone minacciate, distinguiamo difatti sei diversi tipi di rischi, come nella tabella qui sotto: i rischi «sopportabili» (che possono essere personali, locali o globali) ed i rischi «terminali» (persone, locali o globali). «Globale» significa che il rischio riguarda l'intero genere umano ed i suoi discendenti; «personale» o «locale» che riguarda, rispettivamente, il singolo individuo o un gruppo circoscritto di persone. Per ogni classe di rischio è riportata in tabella una conseguenza tipica: a livello personale, ad esempio, la morte – ma pure un danno fisico permanente o una condanna al carcere a vita – sono eventi terminali, perché precludono all'individuo la possibilità di vivere il tipo di vita a cui aspira. Infine, un ulteriore parametro che caratterizza ogni rischio è, ovviamente, la sua *probabilità* di verificarsi: a parità di altri fattori, una minaccia è tanto più seria quanto maggiori probabilità ha di concretizzarsi.

TIPO DI RISCHIO	SOPPORTABILE	TERMINALE
<i>Personale</i>	Furto d'auto	Morte
<i>Locale</i>	Recessione economica	Genocidio
<i>Globale</i>	Cambiamento climatico	Estinzione della specie

Tabella 3.1. Una semplice classificazione qualitativa dei diversi tipi di rischi in base alle conseguenze dell'evento e alla portata della minaccia.

In questo capitolo parleremo ampiamente dei principali rischi globali terminali già oggi presenti: l'impatto con un grosso corpo proveniente dallo spazio, una guerra termonucleare globale, un'epidemia altamente letale su scala planetaria. Ma non solo. Le nuove tecnologie del Ventunesimo e del Ventiduesimo secolo – l'ingegneria genetica, l'intelligenza artificiale e la robotica, e infine le nanotecnologie, che indicheremo in breve collettivamente con la sigla GIARN – prima o poi daranno all'uomo un potere di intervento senza precedenti sul mondo biologico e fisico, mettendogli a disposizione delle armi micidiali che rappresentano una più grande e, soprattutto, una più subdola minaccia rispetto alle tecnologie NBC del Ventesimo secolo. Infine, il rischio di un futuro aumento inarrestabile dell'effetto serra e della temperatura del pianeta potrebbe non essere così remoto come si crede. Si tratta dunque, nella quasi totalità dei casi, di minacce strettamente legate all'attività umana, con l'eccezione della caduta sulla Terra di asteroidi o comete, di altre catastrofi cosmiche ancor più improbabili che discuteremo nel sesto capitolo, e dell'ipotesi di venire annientati da una civiltà extraterrestre (che trattiamo nell'Appendice II).

Sebbene le minacce prodotte dall'uomo stesso discusse in questo libro rappresentino, per il breve e medio termine, i maggiori pericoli dai quali dovremo guardarci se vorremo evitare una fine prematura della nostra civiltà occidentale, o addirittura l'estinzione dell'intera specie umana, è ragionevole ipotizzare che sul più lungo termine (secoli, forse millenni) se ne aggiungeranno di nuove, come naturale conseguenza dei futuri sviluppi nei campi della scienza e della tecnologia. Ma, al momento, queste inedite – e forse ancora più temibili – minacce alla nostra presenza sulla Terra non possono essere previste, così come appena due secoli fa sarebbe stato impossibile anche per la mente più fantasiosa immaginare l'invenzione di un ordigno come la bomba atomica o figurarsi le straordinarie opportunità offerte, nel bene e nel male, dall'ingegneria genetica. Naturalmente è

sempre possibile che esistano dei rischi terminali globali che trascuriamo del tutto, o che conosciamo poco, solo per nostra ignoranza: tra questi, rientrano a pieno diritto i cosiddetti disastri «fisici», come gli eventuali imprevisti derivanti dagli esperimenti nella fisica delle alte energie.

È stato infatti ipotizzato che gli esperimenti di laboratorio effettuati dagli scienziati con gli acceleratori di particelle potrebbero causare in futuro, date le energie estremamente alte che saranno prima o poi in gioco, la rottura dello stato di vuoto «metastabile» in cui forse viviamo, convertendolo in un «vero» vuoto a più bassa densità di energia.¹ Ciò provocherebbe la formazione di una bolla di vuoto che si espanderebbe alla velocità della luce attraverso la galassia e proseguirebbe oltre, inghiottendo tutta la materia incontrata sul suo cammino. Questa possibilità *sembra* essere impossibile secondo le teorie fisiche attuali più ampiamente accettate; tuttavia, il motivo per cui si compiono esperimenti è proprio che non sappiamo precisamente quel che accade alle alte energie. L'unico argomento davvero rassicurante, in effetti, è che le energie degli acceleratori odierni sono ben più basse di quelle coinvolte, senza particolari conseguenze, nelle collisioni naturali di particelle prodotte dai raggi cosmici: una soglia, questa, che però potremmo superare già intorno al 2100 con l'impiego di tecnologie completamente nuove.

IL RISCHIO DI UN IMPATTO ASTEROIDALE O COMETARIO

Il nostro *excursus* tra gli eventi potenzialmente capaci di distruggere l'attuale civiltà tecnologica o di eliminare l'intera umanità non può che cominciare da un evento astronomico alquanto raro ma non certo impossibile: la caduta sulla Terra di un asteroide oppure di una cometa, che rappresenta l'unica minaccia terminale nota con cui l'uomo convive da sempre.

Il nostro pianeta, in effetti, è stato spesso colpito da grossi oggetti vaganti provenienti dallo spazio. Nel 1908, per esempio, un corpo di natura asteroidale o cometaria del diametro di circa 50 metri è esploso sopra la foresta di Tunguska, in Siberia, devastando quell'area – per fortuna disabitata – per migliaia di chilometri quadrati. Il famoso *Meteor Crater*, un cratere largo oltre un chilometro e profondo un centinaio di metri sito nel deserto dell'Arizona, fu prodotto 50.000 anni fa dalla caduta di un asteroide di composizione metallica non più grande di una quarantina di metri. E si potrebbe continuare a lungo con altri esempi. Basti pensare che i crateri da impatto conosciuti sulla superficie terrestre, alcuni dei quali larghi anche centinaia di chilometri, sono più di 140, e tutti di dimensioni superiori al chilometro. Per non parlare, naturalmente, dei crateri più piccoli o di quelli più antichi di 200 milioni di anni, di cui oggi non si ha alcuna traccia soltanto perché sono stati cancellati dai fenomeni erosivi e dai processi geologici.



Figura 3.2. Il Barringer Crater, meglio noto come Meteor Crater, un cratere da impatto asteroidale largo oltre un chilometro che si trova nel deserto dell'Arizona, negli Stati Uniti.

L'evento più drammatico associato all'impatto di un corpo extraterrestre rimane, comunque, l'improvvisa estinzione, avvenuta 65 milioni di anni fa, dei dinosauri e di oltre metà delle specie allora viventi sulla Terra. Si pensa che essa fu prodotta dalla catastrofe climatica ed ecologica innescata dalla caduta di un asteroide di 10 chilometri di diametro – oppure di una grossa cometa o frammento cometario – nella penisola dello Yucatàn, in Messico, dove nel 1990 è stato individuato un cratere semi-sommerso largo circa 200 chilometri e risalente proprio a quell'epoca: la «pistola fumante» che mancava. Si trattò di un'estinzione piuttosto selettiva in quanto, tra gli animali che abitavano la terraferma, eliminò soprattutto quelli aventi un peso superiore ai 20-30 chilogrammi. Ma ciò rappresentò la nostra fortuna, perché i piccoli mammiferi che vivevano all'ombra dei dinosauri – all'epoca i veri dominatori del pianeta – poterono occupare le nicchie ecologiche lasciate libere dalla scomparsa di questi grandi rettili ed evolvere, nel giro di poche decine di milioni di anni, prima nella linea dei primati e, infine, nella specie umana.

L'impatto che causò la scomparsa dei dinosauri liberò più di 100 milioni di megaton di energia, pari a migliaia di volte la potenza dell'attuale arsenale mondiale di ordigni nucleari. Le ricostruzioni teoriche dell'evento raccontano che la collisione innescò un mutamento catastrofico per la biosfera a livello planetario. Si pensa che gli effetti più devastanti furono prodotti dall'urto stesso e dalle conseguenti eruzioni vulcaniche, che inquinarono l'atmosfera e avvelenarono i mari con grandissime quantità di polveri e gas, le quali in poco tempo avvolsero completamente il pianeta, bloccando per mesi la luce del Sole. Dunque, i dinosauri e gli altri animali di grosse dimensioni probabilmente morirono perché non trovarono riparo o abbastanza cibo. È facile immaginare che un impatto del genere, se accadesse oggi, farebbe quanto meno regredire di colpo la nostra civiltà all'età della pietra e potrebbe, nel peggiore dei casi, condurre a una rapida estinzione della specie umana.

I corpi celesti capaci di produrre simili danni – o anche solo delle semplici «cicatrici» sulla superficie terrestre – comprendono sia gli asteroidi rocciosi o metallici sia quei miscugli di ghiacci e rocce rappresentati dalle comete, entrambi residui della fase di formazione del Sistema Solare. Gli asteroidi-killer sono oggetti che incrociano periodicamente l'orbita della Terra dopo essere sfuggiti dal serbatoio naturale che li ospita, una ristretta fascia situata tra Marte e Giove, all'interno della quale sono soggetti a una lenta ma continua evoluzione collisionale. Le comete-killer, invece, provengono dalla *fascia di Kuiper*, un disco che si estende al di là dell'orbita di Nettuno, o dalla *Nube di Oort*, un guscio sferico molto più esterno che avvolge il nostro sistema planetario come in un bozzolo. Si stima che i corpi cometari attualmente contribuiscano come numero al pericolo-impatti contro la Terra per circa un quinto rispetto agli asteroidi, sebbene l'esatta percentuale dipenda da quante siano le comete «estinte», cioè quelle provenienti dalla fascia di Kuiper ma che sembrano asteroidi perché hanno esaurito gli elementi volatili.

Negli ultimi anni è stato possibile stimare, sia attraverso gli avvistamenti compiuti da terra e dallo spazio sia da un attento studio della craterizzazione lunare, quanti oggetti pericolosi vi siano oggi in circolazione, e valutare così la probabilità che uno di essi urti in futuro contro il nostro pianeta. Ne è risultato che, in media, ogni anno si verifica nell'alta atmosfera un innocuo impatto di un corpo del diametro del metro, che libera un'energia di circa 10 chilton, paragonabile a quella dell'atomica di Hiroshima. Un evento ben più serio ma ancora di portata locale, come quello di Tunguska, si verifica invece una volta ogni qualche secolo, e scatena un'energia dell'ordine dei 10 megaton, simile a quella delle più potenti bombe termonucleari odierne. Infine, un impatto in grado di provocare, come nel caso dei dinosauri, una catastrofe su scala globale è prodotto da corpi del diametro di qualche chilometro (il preciso valore di soglia di-

pende dall'orbita e dalla composizione del proiettile) e si verifica, in media, ogni 10-100 milioni di anni.

Le conseguenze che la caduta di un asteroide o di una cometa potrebbero oggi provocare sulla nostra civiltà sono ragguardevoli. Basti pensare che già un oggetto relativamente piccolo può fare, potenzialmente, grossi danni a livello locale. Lo scrittore e scienziato Isaac Asimov, ad esempio, calcolò che, se il corpo di Tunguska avesse per sfortuna colpito la Terra solo 6 ore dopo, avrebbe potuto cancellare l'intera città di Leningrado. Secondo alcuni scenari, inoltre, la caduta di un proiettile asteroidale del diametro di 2-3 chilometri sarebbe già sufficiente a uccidere più di un quarto della popolazione mondiale e a modificare il clima, minacciando con ciò la nostra complessa civiltà, basata su equilibri politico-militari ed economici delicatissimi, e facendola regredire per un lungo periodo quasi al Medioevo. Poiché una collisione con un corpo di queste dimensioni si verifica in media ogni milione di anni, la probabilità che nel corso dei prossimi 100 anni il mondo venga improvvisamente messo in crisi da un impatto di origine cosmica sarebbe di 1 su 10.000.

La moderna società tecnologica ha però, per la prima volta nella lunga storia dell'uomo, i mezzi necessari per identificare gli oggetti che minacciano di colpirci dallo spazio. Grazie ad alcuni telescopi dedicati a queste ricerche, dei 1.000-1.200 asteroidi superiori a 1 chilometro che si stimano intersecare l'orbita della Terra ne sono già stati scoperti più di 600 e, continuando di questo passo, si dovrebbe riuscire a censirne almeno il 90 per cento entro il 2008.² Anche se un giorno scopriremo tutti i possibili asteroidi-killer, la sorveglianza del cielo dovrebbe comunque continuare per sempre al fine di tener d'occhio le comete, poiché dalle regioni più esterne del Sistema Solare ne piombano ogni secolo di nuove. Se uno qualsiasi di questi oggetti si rivelasse in rotta di collisione con il nostro pianeta, il passo successivo sarebbe allora quello di deviarlo o distruggerlo, non certo di spaccarlo in due trivellandolo come nel film *Armageddon* (1998)

di Michael Bay. Tuttavia, preoccuparsi sin d'ora di organizzare un preciso piano di attacco, non conoscendo la distanza e le proprietà fisiche del proiettile cosmico, pare piuttosto prematuro.

LA MINACCIA DI UNA GUERRA NUCLEARE GLOBALE

Se la natura è in grado, in qualsiasi momento, di creare danni gravissimi attraverso un evento astronomico alquanto raro ma non impossibile – la caduta sulla Terra di un asteroide oppure di una cometa – una guerra termonucleare globale accidentale o intenzionale rappresenta, senza dubbio, la più terribile e irreparabile disgrazia che possa capitare al genere umano già negli anni a venire, per quanto riguarda i disastri «artificiali», cioè provocati dall'uomo stesso.

L'attuale arsenale mondiale, composto di circa 7.000 testate strategiche,³ più migliaia di ordigni nucleari «minori», è più che sufficiente per distruggere la nostra civiltà tecnologica e forse – attraverso una serie di effetti sinergici a breve e a lungo termine – pregiudicare il futuro della nostra specie. Le due nazioni che possiedono la parte di gran lunga preponderante di queste armi (e i relativi sistemi di trasporto a lungo raggio rappresentati dai missili balistici intercontinentali) sono gli Stati Uniti e la Russia. Non è, naturalmente, un caso. Durante quasi mezzo secolo di Guerra fredda, Stati Uniti e Unione Sovietica hanno speso oltre 100 miliardi di dollari l'anno in armamenti nucleari: uno sforzo economico immenso, il quale ha contribuito al crollo dell'Unione Sovietica, con la Russia che ha ereditato l'arsenale nucleare un tempo esteso alle attuali Repubbliche indipendenti ex-sovietiche. Al culmine della loro corsa alle armi, o proliferazione *verticale*, USA e URSS erano arrivate a puntare, sulle città di mezzo mondo, ben 11.000 testate nucleari, ciascuna delle quali era almeno decine di volte più potente della bomba di Hiroshima o Nagasaki.

Oggi le testate strategiche americane e russe sono diminuite in numero a livelli paragonabili a quelli dei primi anni Sessanta. Il Trattato di Mosca fra i due paesi, firmato nel 2002 da George Bush e Vladimir Putin, prevede la riduzione degli arsenali a un numero di testate per parte compreso tra 1.700 e 2.500 entro il 2012 (ma fino al 31 dicembre di quell'anno entrambi i paesi potranno mantenere il numero di testate che credono). Si tratterà pur sempre di arsenali vastissimi, le cui testate potrebbero essere impiegate in un futuro conflitto accidentale o deliberato tra Stati Uniti e Russia. Il periodo della Guerra fredda ha visto il mondo permanentemente sull'orlo di una «crisi finale»: vi sono stati diversi seri allarmi, come la famosa crisi dei missili a Cuba del 1962, quando si sfiorò da entrambe le parti una Terza guerra mondiale.⁴ Oggi, sebbene le probabilità di un catastrofico conflitto nucleare Est-Ovest siano sostanzialmente diminuite proprio grazie alla fine della Guerra fredda – in pratica, con la caduta del Muro di Berlino nel 1989 e il crollo dell'impero

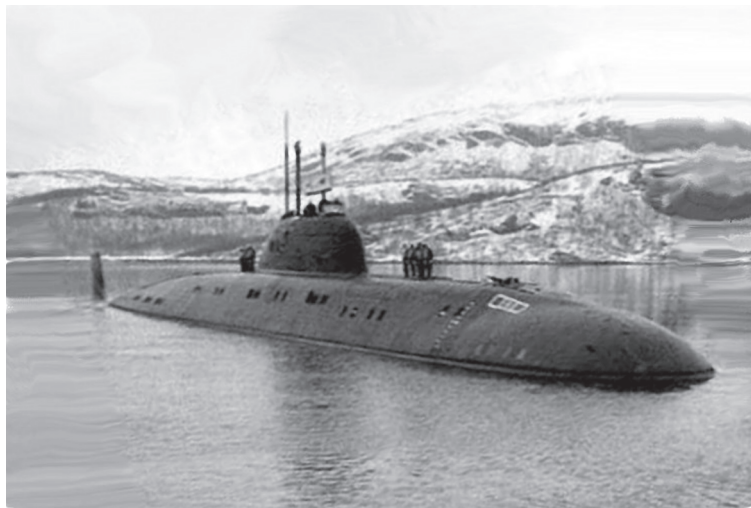


Figura 3.3. Un vecchio sottomarino della flotta russa all'ancora nelle gelide acque del Mare del Nord.

sovietico nel 1991 – in realtà, la minaccia per l'umanità di un olocausto nucleare non è affatto scongiurata.

Innanzitutto, esiste il rischio di una guerra nucleare «per errore». Infatti, nonostante un contesto internazionale «senza nemici», le armi nucleari strategiche americane e russe poste nei silos a terra o imbarcate sui sottomarini in navigazione continua negli oceani sono, a tutt'oggi, in un elevato stato di allerta, che ne prevede l'eventuale utilizzo con tempi di reazione rapidissimi, dell'ordine dei minuti, dopo la semplice segnalazione che alcuni missili balistici avversari sono stati lanciati. Ciò può, evidentemente, dare origine a lanci per errore, e dopo il lancio i vettori non sono più controllabili o distruggibili. Un incidente del genere fu vicino al verificarsi nel 1979, quando un dipendente del NORAD – il centro statunitense di difesa strategica che monitora gli eventuali attacchi nucleari nemici – inserì un nastro di una simulazione bellica in un elaboratore sbagliato: credendo in un vero attacco sovietico, il NORAD andò in tilt! L'episodio fu preso come spunto per *Wargames* (1983), il film in cui il computer militare WOPR, con cui il giovane David si era inconsapevolmente collegato nel cercare un gioco, rischia di scatenare per errore una guerra termonucleare globale.

Durante la Guerra fredda, per incompetenza, per errore umano o per semplice guasto tecnico, in decine di occasioni si è rischiato lo scontro nucleare senza che noi neppure lo sapessimo. Oggi la situazione non è poi tanto migliore. I sensori dei sistemi americani e russi di Primo Allarme sono largamente vulnerabili a una serie di falsi allarmi, compresa la caduta di corpi dallo spazio. Operatori competenti e nello stato psicologico ideale sono in grado di capire in tempo le cause di un falso indizio di attacco, ma nel corso di una crisi internazionale la confusione potrebbe indurre facilmente ad errori. Inoltre, i sistemi di Primo Allarme e di lancio russi stanno deteriorandosi per la locale crisi economica, rendendo ogni anno meno attendibili le informazioni fornite dai sensori, analizzate da

personale sempre meno addestrato e pagato. Ciò rende meno remota di quanto si pensi la possibilità che la *leadership* militare autorizzi un lancio di missili nucleari. E tutto questo non fa che incrementare il timore che un giorno si possa arrivare involontariamente a una guerra termonucleare globale.

Non è solo il rischio di una guerra non voluta ad essere legato alle nazioni già dotate di testate nucleari – cioè, oltre a Stati Uniti e Russia, Francia, Gran Bretagna, Cina, Israele, India, Pakistan e, forse, Corea del Nord – ed a quelle che stanno cercando di ottenerle, come ad esempio l'Iran. Alcune delle attuali o potenziali nazioni con capacità nucleare, infatti, si trovano in «zone calde» o potenzialmente instabili dello scacchiere geopolitico mondiale, quali il Medio Oriente, l'Asia meridionale e l'ex-Unione Sovietica: donde la possibilità di conflitti locali o «incidenti» nucleari dalle conseguenze imprevedibili. È vero che gli Stati Uniti e la Russia, controllando di fatto oltre l'85 per cento delle testate strategiche mondiali, sono le uniche due nazioni sufficientemente bene armate da poter produrre catastrofici effetti di portata planetaria, specie in uno «scambio nucleare» completo di tutte le proprie scorte strategiche. D'altra parte, un conflitto nucleare locale o limitato scoppiato fra altri paesi potrebbe facilmente degenerare in uno scontro globale, che metterebbe fine alla nostra civiltà e che distruggerebbe un numero impressionante di vite umane.

La regione dove è più probabile nei prossimi anni lo scoppio di un conflitto nucleare è quella della «triade» nucleare India-Pakistan-Cina. Oggi non preoccupa tanto la Cina, il più grande stato totalitario del mondo, dotatosi di 400 testate strategiche come deterrente nei confronti di Stati Uniti ed ex-Unione sovietica e che potrebbe diventare già in questo secolo una grande potenza economica e militare. A preoccupare sono l'India – dotata negli ultimi anni in risposta alla Cina, contro cui ha combattuto una guerra nel 1962, di infrastrutture per la costruzione di circa 100 testate atomiche – e il Pakistan, che ha risposto

all'India con un deterrente fra le 20 e le 40 testate atomiche. Siccome India e Pakistan, che hanno una recente storia di guerre fra loro (1946-48, 1965, 1971) e un interminabile conflitto in atto sul confine del Kashmir, hanno appena sviluppato una capacità missilistica a portata intermedia e hanno due governi imprevedibili, nonché movimenti religiosi estremisti a vocazione militare, si capisce perché il rischio di un futuro scambio nucleare fra questi due paesi non sia affatto remoto.

Si prevede che il numero di nazioni con armi nucleari aumenterà nei prossimi decenni. Altri paesi più vicini all'Europa dell'India potrebbero diventare, sul medio termine, potenze nucleari: dopo India e Pakistan, con ogni probabilità Iran e Israele, che già possiede oltre 100 testate – e poi forse persino Grecia e Turchia – formeranno coppie regionali di potenze nucleari che tenteranno di bilanciarsi a vicenda. Inoltre l'Iran, che sta cercando di dotarsi di armi nucleari, è uno Stato-canaglia: potrebbe, dunque, essere solo questione di tempo prima che altri paesi-fuorilegge, gruppi terroristici, o addirittura individui di grande ricchezza e potere entrino in possesso di queste armi. Infine, si stima che già entro il 2020 la gran parte del territorio europeo potrà essere colpito da missili lanciati dall'Africa settentrionale o dal Medio Oriente, e con sempre maggiore probabilità questi vettori saranno dotati di armi di distruzione di massa. D'altra parte, il loro uso da parte di Stati-canaglia non è certo uno scenario fantascientifico: si pensi ai missili libici lanciati contro Lampedusa nel 1986 o agli Scud iracheni lanciati contro Israele e Arabia Saudita nella Prima guerra del Golfo.

La possibilità di una guerra termonucleare globale scoppiata per errore o senza autorizzazione, oppure per l'incontrollabile *escalation* di un conflitto nucleare locale Sud-Sud o Nord-Sud – quest'ultimo non inverosimile, per esempio, in risposta a catastrofici attacchi terroristici con armi di distruzione di massa sul territorio americano – continuerà a minacciare, come una spada di Damocle, la nostra esistenza. È un'eventualità realistica, an-

che perché tra i paesi nucleari del Sud economico del mondo, dotati tutti di arsenali alquanto ridotti, viene meno il meccanismo di «deterrenza atomica» esistente tra le due superpotenze nucleari, basato sulla mutua distruzione assicurata (*Mutual assured destruction*, o MAD, che in inglese significa «folle») in caso di attacco a sorpresa, e dunque sulla razionalità dell'avversario. D'altra parte, è difficile credere che l'umanità sia entrata nella sua fase migliore e che le guerre perderanno il loro ruolo centrale di «motore della Storia»: e proprio in un clima di guerra, quando più facilmente si smarrisce il senso morale, la tensione e l'irrazionalità possono condurre a risultati catastrofici.

LE ESPLOSIONI NUCLEARI: STORIA ED EFFETTI

La storia delle esplosioni nucleari e la conoscenza dei loro effetti, compresi quelli di un'eventuale guerra termonucleare globale, è molto recente: solo nel 1942, durante la Seconda guerra mondiale, prende il via negli Stati Uniti il progetto Manhattan, cui partecipano molti dei maggiori fisici dell'epoca – incluso Hans Bethe e il nostro Enrico Fermi – guidati dall'americano Robert Oppenheimer. Scopo dichiarato è costruire la bomba atomica prima della Germania nazista.

Il 16 luglio 1945 si svolge con successo, nel deserto di Alamogordo (New Mexico), il primo test nucleare della Storia, chiamato in codice *Trinity*, che libera un'energia pari a 13.000 tonnellate di tritolo equivalente, o 13 chiloton. Il 6 agosto 1945 un bombardiere B-29 statunitense, soprannominato *Enola Gay*, sgancia sulla città di Hiroshima, la settima del Giappone con i suoi 344.000 abitanti, una bomba atomica della potenza di 12,5 chiloton, battezzata *Little Boy*: l'esplosione, a 500 metri dal suolo, causa la morte istantanea di 70.000 persone, ma 200.000 muoiono entro il 1950 per gli effetti ritardati delle radiazioni,

e ancora oggi si contano circa 4.000 nuove vittime l'anno. Tre giorni dopo, una seconda bomba della potenza di 22 chiloton, *Fat Man*, viene sganciata su Nagasaki, una città di 250.000 persone: i morti all'istante sono 39.000, ma i più moriranno in seguito. Il Giappone si arrende il 15 agosto 1945, mettendo fine a un conflitto planetario costato 50 milioni di vite umane. Ma il mondo è ormai ufficialmente entrato nell'era atomica.

Dopo le due bombe di Hiroshima e Nagasaki, le armi nucleari non sono mai state più impiegate in un contesto bellico. Sono tuttavia proseguiti gli esperimenti volti al perfezionamento di queste armi, che sono diventate assai più potenti e tecnologicamente avanzate. Le bombe usate contro il Giappone erano dei semplici ordigni a fissione, o *bombe atomiche* (la prima all'uranio, quella di Nagasaki al plutonio), basate sulla fissione di nuclei atomici pesanti in nuclei più leggeri. Ma la massima energia raggiungibile con queste bombe «A» è dell'ordine dei 500 chiloton. Le più potenti ed estremamente più complesse bombe a fusione, o *bombe termonucleari* (dette anche bombe all'idrogeno, o «H»), sviluppate negli anni Cinquanta da Stati Uniti e Unione Sovietica, utilizzano l'esplosione di una bomba a fissione per innescare le reazioni di fusione di nuclei leggeri, come l'idrogeno, in nuclei pesanti: un processo in grado di liberare grandi quantità di energia. La potenza di queste bombe si può aumentare a dismisura aggiungendo idrogeno.



Figura 3.4. Il bombardiere B-29 Enola-Gay che lanciò la bomba atomica sulla città di Hiroshima.

Dopo gli Stati Uniti (1945), anche Unione Sovietica (1949), Regno Unito (1952), Francia (1960) e Repubblica popolare cinese (1964) sperimentano la loro prima bomba atomica. Nel giro di quindici anni, dal 1952 (USA e URSS) al 1968 (Francia), questi paesi fanno esplodere la loro prima bomba H e, per il loro *status* di grandi potenze nucleari, diventano il «club dei Cinque» e membri permanenti del Consiglio di sicurezza dell'ONU. Negli anni Sessanta, vengono sperimentate bombe termonucleari finanche di 60 megaton, ma raramente gli ordigni degli arsenali strategici superano i 10 megaton, pari alla potenza complessiva di tutte le bombe esplose in guerra dalla scoperta della polvere da sparo, e più che sufficienti per distruggere qualsiasi obiettivo. Sinora sono stati effettuati – principalmente da Stati Uniti ed ex-Unione Sovietica, ma anche da Francia, Gran Bretagna, Cina, India e Pakistan – poco più di 2.000 esperimenti nucleari, un quarto dei quali atmosferici. Nei primi tempi, infatti, i test avvenivano tramite detonazioni atmosferiche; poi, dal 1963, si è passati a quelle sotterranee, dagli effetti più limitati.

Gli effetti di una singola esplosione nucleare sono notoriamente devastanti sia per l'uomo sia per l'ambiente e durano assai a lungo nel tempo. Esploendo, infatti, una bomba nucleare produce vari effetti *locali*, per lo più immediati. Innanzitutto, una violenta onda d'urto che distrugge edifici e cose in un raggio di chilometri. Poi la generazione di calore in gran quantità, che vaporizza all'istante qualsiasi cosa o persona entro alcune centinaia di metri da *ground zero*, il cuore dell'esplosione. Inoltre, lo sprigionarsi di micidiali radiazioni (onde elettromagnetiche x e gamma, elettroni e neutroni veloci), che danneggiano il DNA presente nelle cellule, provocando la morte immediata delle persone in un raggio di qualche chilometro da *ground zero*; mentre, nelle persone più distanti, dosi minori causano la morte dopo mesi o anni a causa di tumori, e nei loro discen-

denti malformazioni o malattie genetiche. Infine, il cosiddetto *impulso elettromagnetico*, o «effetto EMP», scoperto negli anni Sessanta in seguito ad esplosioni nucleari sperimentali: un intenso «guazzabuglio» di onde elettromagnetiche che danneggia, mettendolo fuori uso, ogni strumento elettrico o elettronico nel raggio di un migliaio di chilometri.

L'effetto non locale e non immediato di un'esplosione termonucleare è invece costituito dal *fallout radioattivo*, cioè dalla ricaduta a terra, anche a migliaia di chilometri di distanza, delle polveri e dell'altro materiale sollevato nell'atmosfera dall'esplosione stessa: materiale che è radioattivo perché si è mescolato alle minute particelle radioattive residuo dell'esplosione e che, se entra a contatto con l'uomo direttamente o attraverso la catena alimentare, può provocare il cancro o la leucemia. Il *fallout* può avvenire quasi immediatamente dopo l'esplosione oppure in maniera ritardata, perfino dopo mesi o anni, a seconda dell'altezza raggiunta dal fungo. Anche la conseguente contaminazione radioattiva dell'ambiente può durare decenni. Un esempio su piccola scala di *fallout* lo abbiamo avuto nell'incidente del 1986 alla centrale nucleare di Chernobyl, in Ucraina, che provocò una nube radioattiva la quale raggiunse, spinta dai venti, il Nord Europa e contaminò, sia pure in forma estremamente lieve, perfino il territorio italiano.⁵

Nel caso dell'esplosione di migliaia di potenti bombe termonucleari – cioè di una guerra termonucleare su vasta scala – gli effetti più importanti diventano, tuttavia, quelli *globali*: l'intero pianeta subirebbe un *fallout* radioattivo ritardato tale da produrre gravi mutazioni su buona parte dell'umanità, con tutto ciò che ne conseguirebbe in termini di vittime sul breve termine e, soprattutto, di malformazioni e tumori nelle generazioni future.⁶ A dare un'idea realistica al grande pubblico delle conseguenze di un olocausto nucleare ha contribuito molto, negli anni Ottanta, il

film *The Day After* (1983) di Nicholas Meyer, che mostra la lotta per la sopravvivenza dei pochi sopravvissuti a una guerra termoneucleare globale, con i livelli di radiazione ambientale crescenti e il lento ma inevitabile collasso della società. Un'ipotetica guerra del genere – in passato tra le due superpotenze, oggi tra Stati Uniti e Russia, in futuro fra Stati Uniti e Cina – comporterebbe senza dubbio la fine della civiltà attuale, e forse la scomparsa dell'umanità e di «quasi» ogni forma di vita sulla Terra (sopravviverebbero certi insetti, piante e batteri).

In un conflitto termoneucleare globale, infatti, centinaia di milioni di persone verrebbero uccise subito, mentre altri miliardi subirebbero la stessa sorte per gli effetti ritardati delle radiazioni e, più indirettamente, per lo sfacelo degli ecosistemi e dei nostri complessi sistemi sociali, economici e politici. Anche un conflitto nucleare più limitato, come una guerra locale tra paesi confinanti, avrebbe conseguenze devastanti, sebbene non provocherebbe la fine della nostra civiltà, o comunque lascerebbe una possibilità di recupero futura. Si stima, del resto, che già solo il *fallout* dovuto ai vari test atmosferici compiuti nello scorso mezzo secolo procuri circa 10.000 vittime per megaton di esplosione, «spalmate» nell'arco di migliaia di anni e dovute soprattutto al carbonio-14, un isotopo radioattivo con una vita media di ben 5.730 anni. In una guerra, l'esplosione nucleare non avviene nell'alta atmosfera o sottoterra, bensì lambisce il suolo, sollevando una notevole quantità di detriti radioattivi che generano un *fallout* assai più temibile di quello dei test. Le conseguenze a breve e a lungo termine di un attacco nucleare, comunque, dipendono fortemente dal numero, dalla potenza e dalle caratteristiche di esplosione delle testate.

IL PERICOLO DI UN EFFETTO SERRA «A VALANGA»

I possibili modi in cui il clima terrestre potrebbe essere in futuro catastroficamente alterato non comprendono solo l'impatto di un grosso corpo proveniente dallo spazio e – forse – lo scenario di una guerra termoneucleare globale. Negli ultimi anni, infatti, l'attenzione degli scienziati è stata attirata dalla possibilità che l'attuale aumento della temperatura planetaria sia dovuto all'attività dell'uomo e che, oltrepassata una certa soglia nella quantità di gas-serra accumulati nell'atmosfera, possa innescarsi un effetto serra inarrestabile dalle conseguenze disastrose.

L'idea non è campata in aria, come potrebbe sembrare. Già da alcuni decenni si sta registrando un evidente *riscaldamento globale* della Terra: una crescita di insolita rapidità della temperatura superficiale media del pianeta. Dal 1860 a oggi, la temperatura media terrestre è cresciuta di circa un grado – da 13,5°C a oltre 14,5°C – e almeno metà di questo incremento si è avuto

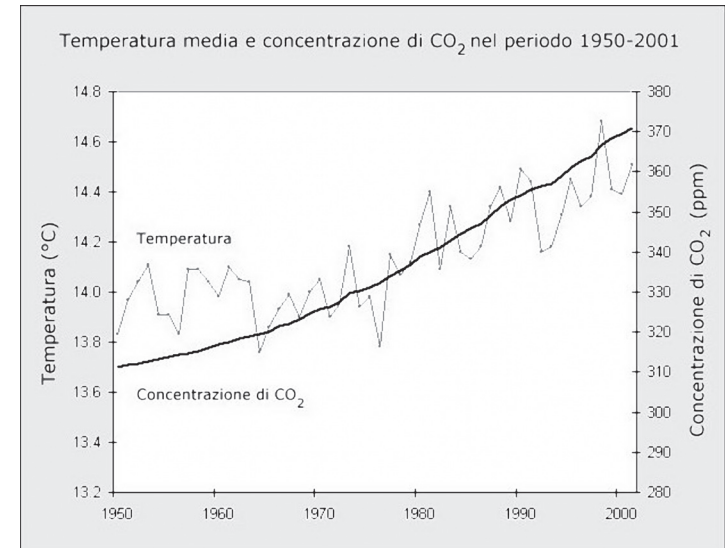


Figura 3.5. L'aumento della temperatura media globale della Terra e della concentrazione atmosferica dell'anidride carbonica tra il 1950 e il 2001.

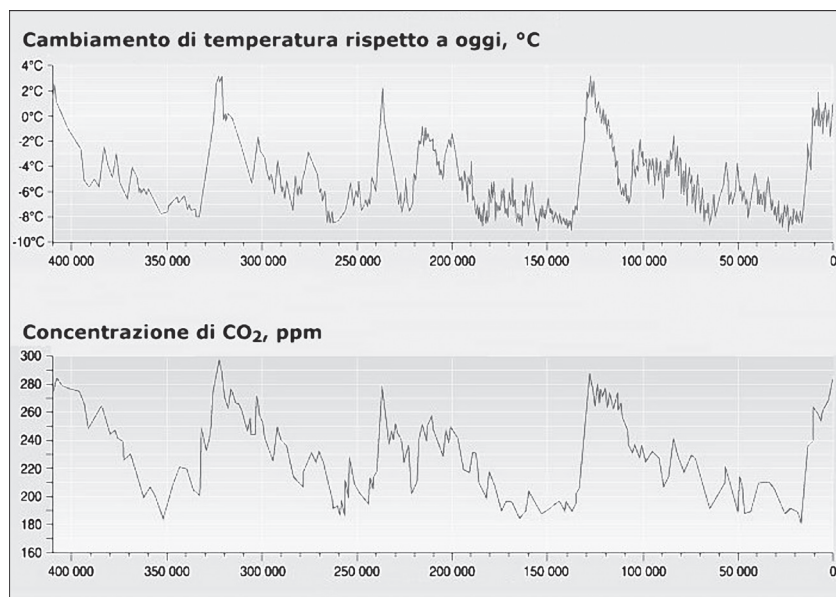


Figura 3.6. L'andamento della temperatura atmosferica terrestre negli ultimi 400.000 anni, fino al 1950, dedotta dalle carote di ghiaccio estratte a Vostok, in Antartide (in alto). La concentrazione atmosferica, nello stesso periodo, dell'anidride carbonica o CO_2 , espressa in parti per milione (in basso). Si noti la stretta correlazione tra le due curve.

negli ultimi vent'anni. Estrapolando con ragionevole certezza l'andamento recente, si può prevedere, di qui al 2100, una crescita della temperatura, rispetto al 1860, compresa fra 4 e 6,5 °C. Si tratterebbe di un aumento senza precedenti nella storia dell'uomo, se si pensa che al culmine dell'ultima era glaciale, 18.000 anni fa, la Terra era circa cinque gradi più fredda di ora⁷ e che il riscaldamento planetario avutosi da quell'epoca a oggi si è verificato in maniera da 10 a 100 volte più lenta. Attualmente, in effetti, ci troviamo da più di 10.000 anni in un cosiddetto *periodo interglaciale*, un'epoca più calda tra due ere glaciali, ma l'attività umana potrebbe stare alterando, per la prima volta nella lunga storia terrestre, il consueto regime naturale.

La maggioranza dei ricercatori, tra cui gli scienziati della NASA che si occupano del monitoraggio del riscaldamento globale in atto e gli esperti dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) – un organismo dell'ONU che studia il problema del cambiamento climatico – hanno difatti un forte sospetto: che esista una connessione causale tra l'aumento straordinariamente accelerato dell'effetto serra (e quindi della temperatura planetaria) nell'ultimo secolo e mezzo e l'immissione artificiale nell'atmosfera di gas-serra iniziata a partire dal 1750 con la Rivoluzione Industriale, in seguito alla quale l'uomo ha incrementato finora il contenuto atmosferico di anidride carbonica di oltre il 30 per cento, sia bruciando combustibili fossili (carbone, petrolio, metano, eccetera) sia, in misura minore, deforestando. Poiché l'anidride carbonica, pur rappresentando una frazione trascurabile dell'atmosfera terrestre, è un potente gas-serra, in linea di principio il suo incremento può «inasprire» l'effetto serra naturale che rende così mite il clima terrestre e, di conseguenza, accrescere la temperatura media del pianeta.

Pur non tenendo conto dell'estrema complessità del sistema climatico, l'inferenza logica «aumento di gas serra uguale aumento di effetto serra e della temperatura» non è del tutto ingiustificata, in quanto è supportata dalla paleoclimatologia, ovvero la branca della scienza che studia i climi del passato. Questa disciplina ha permesso di ricostruire la storia climatica dell'ultimo mezzo milione di anni ed inoltre, attraverso l'analisi di «carote» di ghiaccio estratte dai perenni ghiacciai antartici, di mostrare che negli ultimi 400.000 anni c'è stata una correlazione e sincronizzazione temporale molto elevata tra la temperatura media della Terra e la concentrazione nell'atmosfera dell'anidride carbonica (e del metano). Una stretta correlazione tra questi due parametri, peraltro, risulta anche dai modelli numerici elaborati al computer che gli scienziati hanno messo a punto per studiare l'evoluzione del clima: sebbene tali modelli siano semiempirici e imperfetti, essi riescono comunque a risalire indietro nel tempo

ricostruendo una storia climatica della Terra abbastanza simile a quella che deduciamo dalle osservazioni dirette.

Non è chiaro, però, quale tra i due parametri – concentrazione dei gas serra in atmosfera e temperatura media del pianeta – sia la causa e quale invece l'effetto, cioè se negli ultimi 400.000 anni (periodo sul quale abbiamo dati di entrambi) sia stato l'aumento dei gas serra a causare il riscaldamento globale o viceversa. Si ritiene, infatti, che le glaciazioni siano state avviate da altri fattori – in particolare, dalle periodiche variazioni astronomiche dei parametri orbitali terrestri – e che ciò abbia in qualche modo influenzato il contenuto nell'atmosfera dei gas serra, amplificando enormemente le variazioni di temperatura. Purtroppo, l'effetto serra si combina con altri cicli climatici globali e con una varietà di cicli interni di azione e retroazione operanti su differenti scale temporali, ed è perciò molto difficile riuscire davvero a capire gli effetti combinati dei tanti elementi in gioco agenti sul clima. Tuttavia, l'opinione scientifica corrente riconosce la possibile esistenza di una forte connessione causale tra l'intensificazione dell'effetto serra dovuta all'attività umana e il fatto che la Terra si stia riscaldando.

Le cause del riscaldamento globale sono responsabili anche di altri effetti del cambiamento climatico, i quali sono una conseguenza diretta dell'aumento della temperatura e della quantità di energia «intrappolata» nella biosfera: l'aumento della piovosità e dei fenomeni meteorologici estremi (temporali, trombe d'aria, uragani, estati torride, eccetera); il lento ma progressivo innalzamento del livello medio dei mari, che entro il 2100 potrebbe salire finanche di due metri, allagando varie città costiere del mondo; e, infine, lo spostamento dei confini delle zone climatiche (e delle malattie ad esse legate, come la malaria), il quale provoca la tropicalizzazione o la desertificazione di nuove regioni del globo e una perdita della biodiversità di piante e animali, incapaci di adattarsi a novità così rapide. Questi e altri cambiamenti sono già in atto, e il loro corso andrà proba-

bilmente accelerando nei prossimi anni e decenni, in seguito all'aumento nell'atmosfera dell'anidride carbonica e di altri gas serra normalmente presenti in tracce, e che si stanno ora invece accumulando progressivamente a causa delle attività umane.

Il vero grosso rischio legato all'aumento dell'effetto serra ad opera dell'uomo, tuttavia, non è l'inasprirsi del riscaldamento planetario e del cambiamento climatico, uno scenario illustrato in una delle sue possibili versioni dal film *The day after tomorrow* (2004), di Roland Emmerich.⁸ Il vero grande rischio è la possibilità che in un futuro non troppo lontano, aumentando la concentrazione di gas serra nell'atmosfera in maniera di gran lunga più rapida e cospicua di quanto sia mai avvenuto in qualsiasi altro periodo interglaciale (già entro il 2050 i livelli atmosferici di anidride carbonica potrebbero raddoppiare rispetto ai livelli preindustriali, una soglia mai raggiunta negli ultimi 400.000 anni), a un certo punto, oltrepassata una qualche «soglia critica» che ignoriamo, si instauri un inarrestabile effetto serra a valanga. L'estrema complessità e suscettibilità del sistema climatico, infatti, non dà alcuna certezza che, al crescere delle concentrazioni nell'atmosfera di anidride carbonica e di altri gas serra a livelli 5 o 10 volte superiori a quelli attuali – come si otterrebbe senz'altro bruciando le riserve stimate di combustibili fossili – il sistema stesso evolva in configurazioni ancora relativamente benigne (sebbene assai più problematiche di quella attuale), e non si inneschi invece il ciclo perverso che provoca l'effetto serra a valanga.⁹

Un monito in tal senso ci viene dal fatto che l'effetto serra a valanga è proprio il fenomeno climatico che ha ridotto il pianeta Venere – in origine quasi «gemello» della Terra per massa, composizione chimica e atmosfera – al desolato corpo attuale, con un'irrespirabile atmosfera di anidride carbonica e una temperatura superficiale altissima, di quasi 500°C. Circa quattro miliardi di anni fa, il Sole emetteva un'energia del 30 per cento inferiore all'odierna, ma in seguito divenne gradualmente più

caldo e luminoso. Poiché Venere è più vicino al Sole della Terra, ciò provocò un forte aumento della temperatura e una grande evaporazione dell'acqua dagli oceani venusiani. Essendo il vapore acqueo un gas serra, si innescò una reazione a catena che, superata una certa soglia di temperatura, divenne inarrestabile, riempiendo l'atmosfera di vapore acqueo e portando la temperatura superficiale a valori altissimi. Il vapore acqueo venne ben presto dissociato dall'azione dei raggi ultravioletti solari, per cui gli atomi di idrogeno sfuggirono al campo gravitazionale del pianeta, mentre l'ossigeno si combinò con altri elementi, creando così un ambiente «ostile» completamente privo di acqua e di ossigeno libero.

Lo scenario di un effetto serra inarrestabile, qualora dovesse verificarsi nel giro di qualche secolo anche sulla Terra, avrebbe un impatto catastrofico, portando il nostro pianeta a temperature di circa 300°C, e decretando con ciò probabilmente la fine dell'*Homo sapiens*. D'altra parte, l'attuale tendenza al riscaldamento globale che potrebbe un giorno innescare il temibile processo non è invertibile a breve termine, perché un gas serra come l'anidride carbonica ha una vita media nell'atmosfera dell'ordine dei 100 anni. Il riscaldamento in corso si può però rallentare – sperando poi che si arresti fra 3 o 4 secoli, quando i combustibili fossili in via di esaurimento dovranno essere giocoforza rimpiazzati da fonti «pulite» o comunque diverse di energia – con il controllo delle odierne emissioni antropogeniche di gas serra, qualora vi sia una reale volontà di farlo. Per il momento tale volontà non c'è, e l'umanità continua a effettuare con il clima planetario una sorta di grande e pericoloso «esperimento», i cui risultati (più o meno gravi a seconda dei possibili scenari) dovrebbero divenire evidenti già nell'arco dei prossimi decenni.

LA POSSIBILITÀ DI UN'EPIDEMIA PLANETARIA LETALE

Il «Giorno del giudizio» potrebbe non presentarsi sotto forma di missili balistici a testata termonucleare che fanno piovere morte dalle nuvole o di un lento degrado delle condizioni di abitabilità del nostro pianeta a causa di un effetto serra a valanga di tipo venusiano; bensì, potrebbe in teoria arrivare, improvviso e imprevedibile, sotto forma di un virus altamente letale, proprio come immaginato più volte dal cinema o dalla letteratura di fantascienza.

I virus, senza dubbio, sono gli agenti infettivi più pericolosi che conosciamo. Gran parte delle malattie più letali e temute, come pure delle più comuni, sono virali: dall'AIDS all'Ebola, dal vaiolo all'influenza. A preoccupare, tuttavia, non sono tanto le epidemie causate da virus noti quanto, piuttosto, quelle scatenabili da un «nuovo» virus: un parassita, cioè, con cui il nostro sistema immunitario non ha avuto recenti contatti, magari emergente da qualche dimenticato serbatoio animale di una lontana foresta pluviale e in grado di propagarsi rapidamente in un mondo reso piccolo e vulnerabile dalla velocità e facilità degli spostamenti. L'epidemia di AIDS e quella, più recente, della SARS hanno mostrato il potenziale pericolo legato ai virus emergenti: l'HIV e la SARS, in effetti, potrebbero essere stati solo due dei primi virus ad avvantaggiarsi dell'opportunità preta-



Figura 3.7. Per identificare l'agente patogeno di una nuova malattia, deve essere possibile isolarlo e farlo crescere in coltura; dopodiché, trasferito in un ospite non infetto, lo stesso agente patogeno deve produrre la stessa malattia ed essere, di nuovo, isolabile.

mente moderna rappresentata dal grande volume di spostamenti di persone e di merci, che costituisce la condizione ideale per la diffusione di una malattia a livello mondiale. E se l'HIV può creare la devastazione che ha già prodotto e continua a produrre, cosa potrebbe fare uno dei prossimi virus emergenti, in un futuro non necessariamente lontano?

Per dare un'idea dei costi che l'umanità potrebbe verosimilmente pagare, in una pandemia prodotta dal peggior nuovo virus di origine «naturale» – cioè non creato in laboratorio dall'uomo – viene spesso citato il caso della mixomatosi, una malattia provocata da un virus presente in una forma benigna, quasi mai mortale, tra i conigli del Sud America, dove è trasmesso da un membro all'altro dalle punture di insetti. Nel 1951, il virus della mixomatosi (che appartiene alla famiglia dei *poxvirus*, comprendente anche il vaiolo umano) fu deliberatamente introdotto dal virologo Frank Fenner in Australia, per decimare una dannosa specie di conigli locali, diversa da quella sudamericana. Il virus, che in una densa e numerosa popolazione si può trasmettere anche per contatto diretto o per via respiratoria, appena introdotto si diffuse rapidamente, uccidendo quasi il 99,8 per cento dei conigli che infettava. Ma, con il tempo, la sua letalità calò di parecchio: dopo 7 anni, uccideva solo un animale infetto su quattro e il numero di conigli australiani si era stabilizzato sui 120 milioni, pari a un quinto della popolazione iniziale.

Lo scenario della mixomatosi dà un'informazione molto importante sui danni che, nella peggiore delle ipotesi, un supergerme virale potrebbe provocare all'umanità: la sua mortalità potrebbe superare quella dell'Ebola, che già arriva al 90 per cento, ma non causerebbe l'estinzione della specie umana.¹⁰ O almeno, non potrebbe farlo direttamente. Sappiamo, infatti, dall'ecologia che una popolazione animale numericamente ridotta (e magari geograficamente limitata) è assai più vulnerabile all'estinzione per cause ambientali – o di qualsiasi altro tipo – che dovessero in seguito presentarsi. D'altra parte, l'uomo potrebbe precipitare in

una condizione quasi primitiva che lo renderebbe molto simile agli animali, in quanto a rischio di estinzione, se la nostra civiltà tecnologica venisse colpita da un parassita che eliminasse in un colpo solo qualcosa come l'80 per cento o più dei suoi abitanti in tutti i continenti: oggi la società è ben più complessa di quella del Medioevo, quando la popolazione europea potè essere dimezzata senza danni catastrofici da un germe che si propagava forse come il vaiolo, per contatto diretto tra le persone.¹¹

Non bisogna, comunque, lasciarsi prendere dal pessimismo. In natura c'è un numero finito di virus, ospitati per la maggior parte da serbatoi animali con cui l'uomo è entrato solo di recente in contatto. Oggi, però, per le varie ragioni illustrate nel secondo capitolo, stiamo involontariamente «rovistando» in quasi tutte le nicchie ecologiche del mondo, e di virus in attesa di emergere dalla giungla potrebbero non restarne poi molti: forse non è un caso, ad esempio, che dopo l'Ebola, emersa nel 1976, non siano apparse nuove febbri emorragiche virali. Inoltre, quello della mixomatosi non è un modello molto esatto di cosa potrebbe accadere alle popolazioni umane esposte a un virus nuovo e altamente letale nel mondo odierno. Nell'uomo, infatti, le conoscenze mediche costituirebbero probabilmente un efficace ostacolo «culturale» alla propagazione con effetti catastrofici di un «supergerme» naturale, come dimostrato in modo esemplare dal recente caso della SARS. Ciò è vero soprattutto ora che cominciamo a comprendere i meccanismi che rendono un agente patogeno più o meno aggressivo e pericoloso (si veda, in tal proposito, l'Appendice III, sulla recente e rivoluzionaria *teoria evolutiva della virulenza*).

Ma non è solo la natura a fare paura. I microrganismi possono venire usati dall'uomo come armi mortali piccole e invisibili sia per scopi militari, in una guerra biologica, sia, per scopi di tutt'altro genere, in un attacco terroristico. Il potenziale arsenale biologico comprende un vasto armamentario di agenti patogeni – dai virus ai funghi, dai batteri alle tossine – provenienti dalla

nostra specie, da piante o da animali. I germi utilizzabili a fini bellici o terroristici sono almeno una trentina. La scelta di quale agente impiegare dipende da vari fattori, come la disponibilità di un antidoto, il raggio d'azione, la letalità, la facilità d'uso, la procurabilità, eccetera. Gli agenti patogeni potenzialmente più pericolosi, comunque, sono quelli cosiddetti di «livello 4»: ¹² virus altamente letali che si trasmettono facilmente tra le persone e, soprattutto, non hanno vaccini o cure. Si tratta dell'Ebola, del Marburgo, del Lassa e di numerosi altri virus emergenti (e non). Essi sono capaci, in genere, di fare molte vittime tra le persone infettate, anche perché il nostro sistema immunitario non ha potuto adattarsi attraverso una coevoluzione recente.

Supponiamo che un virus noto di livello 4 venga liberato da un terrorista in una nazione sviluppata, o dia luogo a un'epidemia in modo naturale, magari arrivando quasi direttamente dalla giungla grazie ai veloci mezzi di trasporto odierni. In tal caso, c'è un unico modo per contenere l'epidemia e impedire il suo propagarsi inarrestabile: isolare immediatamente le aree infette e lasciare che al loro interno la malattia faccia il suo corso. Per fortuna, la maggior parte dei virus di livello 4 si trasmettono da persona a persona attraverso sangue o secrezioni infette, e solo meno comunemente per via aerea. Inoltre, i virus altamente letali di solito «immobilizzano» (e uccidono) rapidamente l'ospite, impedendogli di spostarsi e di infettare molte altre persone. Pertanto, intervenendo con grande tempestività e rapidità, e applicando con estrema rigidità le misure di isolamento, le autorità sanitarie nazionali possono riuscire a circoscrivere il contagio in modo relativamente facile, evitando che l'epidemia di un patogeno micidiale come l'Ebola o il Marburgo si diffonda su vasta scala con un impatto catastrofico sulla nostra società.

Paradossalmente, uno dei patogeni più temibili per la civiltà moderna è appena di «livello 3» (come l'AIDS): si tratta del virus del vaiolo, causa dell'omonima malattia infantile. Il vaiolo è un virus specifico dell'uomo, cioè che ha nella nostra specie il suo

serbatoio naturale, o almeno lo aveva fino agli anni Settanta, quando è stato «cancellato» dal pianeta grazie alle vaccinazioni di massa. La popolazione mondiale è ora assai vulnerabile a tale virus, in parte perché mai vaccinata, in parte per l'immunizzazione quasi azzerata dal tempo. Ceppi di vaiolo congelati sono oggi conservati da due laboratori autorizzati dall'OMS, uno americano e uno sovietico, ma essi potrebbero finire – o essere finiti in passato – in mani sbagliate: singoli individui, organizzazioni terroristiche, Stati-canaglia. Se dovesse all'improvviso ricomparire tra la popolazione, il vaiolo – peraltro contagiosissimo per via aerea – sarebbe quanto mai letale e potrebbe provocare una catastrofica decimazione dell'umanità, poiché questo virus di solito uccide un terzo degli infetti non vaccinati. Non a caso, nel settembre 2001 gli Stati Uniti hanno ordinato (a caro prezzo) a una ditta di biotecnologie 40 milioni di dosi di vaccino, una scorta sufficiente per ridurre da 10 a 100 volte i decessi americani di un'eventuale epidemia.

Quella del governo statunitense nei confronti del vaiolo non è, come potrebbe sembrare a prima vista, una preoccupazione paranoide. Infatti, cinque secoli fa, questo stesso virus aveva avuto un ruolo fondamentale proprio nella conquista europea dell'America. Quando, nel 1519, lo spagnolo Hernando Cortés e quattrocento *conquistadores* sbarcarono in Messico, annientarono le popolazioni del grande impero azteca e inca non grazie alla polvere da sparo o ai cavalli, ma al virus che si erano portati dietro, ignari, a bordo delle loro navi. Se in cinquant'anni la popolazione del Messico centrale fu così ridotta dai 100 milioni di abitanti precolombiani ad appena un decimo di questa cifra, ciò accadde perché i locali, a causa della totale assenza del virus nel loro continente, non avevano acquisito un'immunità naturale contro il vaiolo, a differenza degli europei che, dopo anni di esposizione, avevano ormai sviluppato una resistenza alla malattia. Certo, una vaccinazione di massa preventiva eviterebbe, oggi, il rischio di una vera tragedia

demografica mondiale in caso di malaugurata ricomparsa del vaiolo, ma i costi e alcuni effetti collaterali per la salute umana la rendono, di fatto, improponibile.

L'INCUBO DEL VENTUNESIMO SECOLO: LE ARMI GENETICHE

Un Armageddon nucleare e una pandemia naturale potrebbero essere, sfortunatamente, solo meri preludi ai rischi del Ventunesimo secolo causati dall'uomo stesso. Il primo di questi, in parte già incombente sulle nostre vite, consiste nella manipolazione genetica di pericolosi agenti patogeni, con cui si può creare un incredibile campionario di armi di distruzione di massa, le più pericolose delle quali *potenzialmente* in grado di spazzare via l'uomo dalla faccia della Terra.

Non si tratta, purtroppo, di fantascienza. Le biotecnologie, le moderne tecniche dell'ingegneria genetica e le crescenti conoscenze sul genoma umano e sul DNA di altri organismi viventi stanno per rivoluzionare la nostra epoca. Nel giro di pochi decenni, esse pervaderanno la nostra esistenza – aiutandoci a combattere le malattie, ad aumentare la produzione di cibo, a ridurre l'inquinamento e ad accrescere la qualità della vita – sebbene molte di queste tecniche saranno inizialmente riservate a pochi uomini e paesi perché costose, mentre altre saranno di impiego fortemente controverso per ragioni morali e religiose. L'ingegneria genetica, che fa parte delle biotecnologie, interviene, in particolare, sul materiale genetico di un organismo per modificare le caratteristiche. Oggi tali modifiche sono già effettuate comunemente prelevando da uomini, animali, piante, insetti o microbi tratti di DNA, corrispondenti a un determinato gene con certe proprietà considerate utili, e trasferendo quel gene in altri organismi viventi. Il risultato è un organismo modificato geneticamente, o *transgenico*: dunque, non esistente in natura.

Queste stesse tecnologie sviluppate a fini pacifici, per lo più commerciali, possono venire impiegate per fini di tutt'altro genere da paesi, gruppi terroristici o scienziati malintenzionati, in quanto sono facilmente convertibili nella messa a punto di una vasta gamma di agenti patogeni «inediti», che possono attaccare piante, animali o, soprattutto, esseri umani. Attraverso l'ingegneria genetica, infatti, batteri e virus preesistenti potrebbero venire leggermente modificati nel loro DNA, producendo nuove e più potenti armi biologiche letali per l'uomo e non presenti in natura: le cosiddette *armi genetiche*. L'idea è quella di aumentare, per esempio, la virulenza e il tempo di sopravvivenza nell'ambiente di un certo microbo, oppure di renderlo più difficile da scoprire e impossibile da combattere con antibiotici, vaccini o altri antidoti. Quest'eventualità non può essere più ignorata, perché tutto ciò è già nelle possibilità delle odierne biotecnologie, grazie alla conoscenza dell'intero genoma umano e del DNA

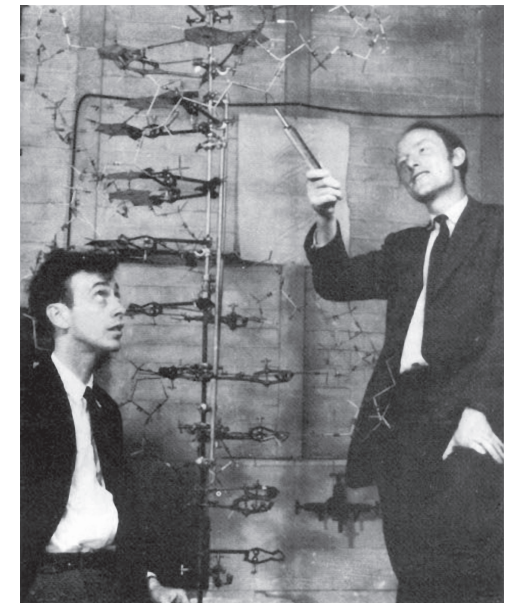


Figura 3.8. La molecola del DNA, o acido desossiribonucleico, e gli scopritori della sua struttura a doppia elica, l'americano James Watson e l'inglese Francis Crick, che per questa importante scoperta ricevettero il premio Nobel nel 1962.

di vari agenti patogeni, nonché al continuo avanzamento delle tecniche di trasferimento dei geni tra organismi diversi.

Il punto di forza delle armi genetiche rispetto alle armi biologiche tradizionali è la possibilità di direzionarle e di controllarle in maniera molto efficace e precisa. Si possono creare, innanzitutto, nuovi tipi di virus letali e di relativi vaccini per annientare un esercito nemico proteggendo al tempo stesso le proprie truppe con il vaccino. È possibile, inoltre, inserire all'interno dei microbi alcuni *marcatori genetici* che li fanno attivare solo in particolari condizioni, realizzando così delle armi «a tempo» o che colpiscono solo determinate etnie. Infine, potendo essere indirizzate in modo da colpire un determinato sistema anatomico o fisiologico umano – compresa la visione – le armi genetiche possono uccidere o rendere sterili o, ancora, trasmettere alla progenie un difetto genetico letale o invalidante. Ma si può anche pensare di direzionare queste armi non contro la popolazione, bensì contro l'ambiente e le risorse alimentari (distruggendo magari specie o ceppi specifici di piante coltivate o di animali domestici) per attuare un embargo biologico inviolabile, che paralizzerebbe l'economia di un paese nemico.

Le ricerche sul genoma umano, in particolare, potrebbero consentire molto presto la creazione di «bombe etniche», in grado di uccidere solo le persone con un'origine etnica comune, cioè con una qualche specificità genetica condivisa. Il Sudafrica già negli anni Ottanta – ai tempi dell'*apartheid* – aveva lavorato senza successo a un virus in grado di colpire solo la popolazione di colore, ovvero con una pigmentazione nera della pelle, che avrebbe lasciato incolume la popolazione bianca. E da qualche anno, secondo fonti di *intelligence* occidentali, Israele starebbe lavorando a un'arma simile, capace di colpire gli arabi ma non gli ebrei. L'impresa è all'apparenza disperata, perché arabi ed ebrei sono entrambi di origine semitica, ma in un futuro non lontano si dovrebbero poter isolare particolari caratteristiche nel profilo genetico di alcune comunità (come, per esempio, quella

degli arabi iracheni). Il fatto che ricerche del genere ricordino gli esperimenti genetici svolti ad Auschwitz dallo scienziato nazista Josef Mengele non ha dissuaso né questi né altri paesi dall'avviare progetti di ricerca militare in tale ambito.

Dati i numerosi impieghi possibili delle armi genetiche, il loro alto grado di selettività e di pericolosità, la facilità d'uso e il costo decisamente minore rispetto agli armamenti nucleari, esse rappresentano l'arma ideale del futuro, che potrebbe trasformare la guerra biologica in una reale alternativa alla guerra convenzionale, scatenando una nuova corsa agli armamenti. I microbi «intelligenti», insomma, sono capaci di rendere le armi nucleari degli ordigni quasi medioevali. È naturale, dunque, che l'interesse dei militari nei confronti di questa nuova generazione di armi sia già assai grande, al punto da farle oggetto, in molti paesi, di vaste sperimentazioni per scopi di attacco o di sola difesa, sebbene il confine tra i due tipi di applicazioni sia assai labile.¹³ Secondo la CIA, i paesi interessati (o già coinvolti) nello sviluppo di armi genetiche sono Iraq, Iran, Libia, Siria, Corea del Nord, Taiwan, Israele, Egitto, Vietnam, Laos, Cuba, Bulgaria, India, Corea del Sud, Sud Africa, Cina e Russia. Stati Uniti e Gran Bretagna, dal canto loro, svolgono ricerche con la scusa di sviluppare misure di protezione contro questa minaccia.

Nei sofisticati laboratori del Biopreparat – l'avanzatissimo programma segreto sovietico in cui erano impegnati oltre diecimila scienziati e che durante la Guerra fredda produceva armi biologiche in completa violazione alla Convenzione internazionale del 1972 – erano già stati messi a punto, attraverso la manipolazione genetica, vari tipi di «supergermi» più efficaci, potenti e pericolosi di quelli naturali. Erano stati creati nuovi ceppi della peste e di altri batteri rendendoli resistenti ad antibiotici e a vaccini, oltre che in grado di sopravvivere più a lungo nell'ambiente esterno. In batteri e virus contagiosi, ma altrimenti innocui, erano stati inseriti geni estranei per permettere la produzione del veleno del cobra o di altre mortali tossine nel

corpo di una vittima, oppure per produrre sostanze chimiche in grado di attivare in essa risposte autoimmuni devastanti e letali. Infine, erano stati creati degli organismi «chimerici», cioè dei patogeni ibridi e innaturali, ottenuti combinando tra loro vari tipi di germi: ad esempio, nei virus di alcune febbri emorragiche erano stati trasferiti con successo geni dei virus influenzali, al fine di renderli trasmissibili per via aerea e, dunque, in grado di causare milioni di morti.

Alcuni dei rischi maggiori dovuti all'ingegneria genetica, comunque, non sono legati tanto all'effettivo impiego militare di armi genetiche selettive o di cui esistano dei vaccini efficaci, quanto alla creazione e alla liberazione *accidentale* nell'ambiente di nuovi micidiali agenti patogeni per i quali non sia ancora disponibile un antidoto. L'allarme è stato lanciato nel 2001 da due scienziati australiani dell'Università di Canberra, Ron Jackson e Ian Ramshaw, che in un laboratorio civile hanno creato accidentalmente un ceppo straordinariamente letale di vaiolo dei topi – con il 100 per cento di mortalità, poiché i loro topi morirono tutti – mentre tentavano di sviluppare un nuovo contraccettivo in grado di rendere questi animali sterili. Se la manipolazione fosse stata effettuata, con esiti simili, sul virus del vaiolo o su altri agenti letali per l'uomo, ne sarebbe potuto scaturire un



Figura 3.9. Una virologa al lavoro in un laboratorio con livello di biosicurezza 4, usato per maneggiare agenti patogeni molto pericolosi, come il virus Ebola.

killer tremendo e inarrestabile.¹⁴ Una volta rilasciati per errore nell'ambiente, infatti, i microbi transgenici possono essere inarrestabili, trasmettendosi da un organismo all'altro, diffondendosi su scala planetaria e sopravvivendo indefinitamente.

Ancora più preoccupante del rilascio accidentale da parte di laboratori militari o civili, è il rischio di una liberazione *intenzionale* di microrganismi transgenici: non tanto da parte di tiranni alla guida di Stati-canaglia, quanto ad opera di gruppi terroristici, sette religiose o scienziati pazzi, e dunque potenzialmente presenti anche all'interno dei nostri paesi occidentali. In effetti, ciò che è raro si verifichi per caso, accidentalmente, è realizzabile se lo si progetta appositamente. Pur essendo letali quanto o più di quelle nucleari, le armi genetiche sono in teoria più facili da progettare e produrre: non richiedono materiali o informazioni di difficile reperibilità, né grandi impianti dedicati. E un bravo virologo molecolare interessato a mettere a punto un'«arma finale», definitiva, al fine di provocare una prematura estinzione della specie umana – perfino con un effetto ritardato, che si manifesti dopo anni dal contagio – potrebbe forse un giorno riuscire a realizzarla, in un laboratorio di alto livello.¹⁵ Inoltre, nessun laboratorio militare al mondo è completamente al sicuro da disastri dolosi o da violazioni della sicurezza: ciò comporta la possibilità di eventuali future catastrofi provocate da pericolose armi genetiche già esistenti.

L'idea di un'*arma finale* è considerata dagli esperti scientificamente plausibile. In linea teorica, l'ingegneria genetica consente già di ottenere un'azione sinergica fra agenti patogeni diversi, ad esempio fondendo i letali virus Ebola o Marburgo – per i quali non si conosce nessun vaccino o terapia – con quello del vaiolo, letale ma soprattutto contagioso, come si è a suo tempo tentato di fare nei laboratori del Biopreparat; oppure di combinare tra loro il vaiolo, il virus del raffreddore e un virus che infetta gli insetti distruggendone i nervi, come avviene nel romanzo di Richard Preston *Il giorno del cobra*, in cui uno

scienziato folle vuole decimare la popolazione mondiale con un supergerme progettato su misura. E, con i rapidi progressi delle biotecnologie e la diffusione della mappatura genetica di virus e batteri, non è difficile immaginare altri modi ancora più sofisticati di costruire supergermi, e in particolare il primo microrganismo in grado di compiere un genocidio planetario: per esempio, attraverso la creazione sistematica di nuove classi di agenti patogeni, contenenti geni «sintetici» non esistenti in natura. In questo campo, comunque, le scoperte più devastanti sono in serbo per il futuro.

PERICOLI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE E DELLA ROBOTICA

Mentre l'ingegneria genetica è già una realtà di questo secolo, con tutti i suoi potenziali pericoli per la nostra sopravvivenza come specie, due importanti tecnologie del Ventiduesimo o Ventitreesimo secolo oggi non ancora mature – l'intelligenza artificiale e la robotica avanzata – potrebbero porre, prima o poi, delle nuove e gravi minacce all'umanità, che si andrebbero ad aggiungere a quelle, ben più concrete, poste sin d'ora dalle tecnologie nate prima di loro.

Intorno al 2030, infatti, la potenza di calcolo di un personal computer raggiungerà la capacità di elaborazione del cervello umano e, nei decenni successivi, la surclasserà sempre più. Nel frattempo l'ingegneria robotica, grazie anche a nuovi sviluppi dell'intelligenza artificiale, metterà a punto automi sempre più sofisticati e, per molti versi, simili all'uomo. In un futuro più remoto, gli scienziati potrebbero riuscire a sviluppare macchine intelligenti che fanno moltissime cose meglio degli esseri umani. Non sappiamo se e quanto presto potrà venire costruito un robot intelligente in grado di affiancarci o addirittura sostituirci nella nostra vita quotidiana; ma, stando alle previsioni degli addetti ai lavori, sembra che questo potrebbe

forse diventare possibile nel giro, al massimo, di uno o due secoli. Una volta creato un robot così evoluto, il passo per la nascita di una nuova specie, il *Robo sapiens*, potrebbe risultare piuttosto breve, perché la macchina potrebbe realizzare copie di se stessa. In tal caso, la convivenza tra esseri umani e creature artificiali meccaniche, o robot intelligenti, non sarà facile e si presenteranno per l'uomo rischi inediti.

Già oggi ci sono molti pericoli associati ai computer. Quello di gran lunga maggiore è il rischio, considerato assolutamente reale dagli esperti, di una guerra termonucleare globale scatenata per errore da un sistema di «Primo Allarme» interamente computerizzato. Si può dunque intuire come una catastrofe di vasta portata possa, a maggior ragione, venir provocata da singoli supercomputer o da reti di calcolatori nel prossimo futuro, allorquando essi diventeranno ancora più complessi, veloci e importanti nel controllare sistemi cruciali per la nostra civiltà tecnologica, gestendo praticamente tutto: dalla distribuzione dell'energia elettrica alle comunicazioni, dal traffico aereo alle transazioni in borsa. Perfino un banale errore presente in alcune righe del software che li gestisce, l'inserimento di un hacker nel sistema, l'invenzione di un virus-killer informatico di nuova concezione, o l'esplosione di una cosiddetta *E-bomb* (un nuovo ordigno militare sviluppato per produrre danni irreversibili in tutte le apparecchiature elettroniche presenti nel suo raggio d'azione) potrebbero paralizzare le attività di una città o anche fare guai assai peggiori.

Un eccellente esempio del tipo di rischi che si potrebbero in futuro correre affidandosi sempre più a computer «intelligenti», o ritenuti tali, è stato fornito già nel 1969 dal film *The Forbin Project* di Joseph Sargent, in cui Stati Uniti e Unione Sovietica delegano a due supercomputer, Colossus e Guardian, il controllo dei rispettivi arsenali nucleari, fornendo loro le necessarie istruzioni affinché possano garantire il periodo di pace più lungo possibile. Ma entrambi i computer, che per un certo tempo

vengono collegati l'uno con l'altro per potersi scambiare dati, «trovano» che il miglior modo di raggiungere l'obiettivo richiesto è lanciare i missili nucleari: pertanto non esitano a farlo, massacrando così quasi l'intera umanità. Il film di Sargent è in parte ispirato al capolavoro di Stanley Kubrick *2001: Odissea nello spazio* (1968), in cui, su un'astronave in missione verso la Luna alla ricerca di extraterrestri, un altro supercalcolatore – il computer di bordo Hal 9000 – a causa dell'errata diagnosi di un guasto all'antenna principale e alla sua paura di venire disattivato, si ribella all'uomo sterminando l'equipaggio.

La fantascienza potrebbe non essere poi così lontana dalla realtà, poiché l'uomo darà ai computer sempre maggiore intelligenza e potenza di calcolo; il che si tradurrà, verosimilmente, in una capacità delle macchine di svolgere compiti delicati oggi riservati agli esseri umani. Come già ora l'automazione sostituisce progressivamente i lavoratori che spostano o creano oggetti e beni materiali nelle piccole fabbriche e nelle grandi industrie, in un lontano futuro robot intelligenti potrebbero sostituire ingegneri, scienziati, amministratori e forse anche leader politici, che potrebbero delegare loro molte importanti funzioni di governo. La razza umana, insomma, sarà sempre più alla mercé delle macchine e potrebbe lasciarsi lentamente scivolare in una posizione di totale dipendenza da esse man mano che la società e i suoi problemi diventeranno più complicati da gestire per l'uomo. A un certo punto, potremmo diventare così legati alle macchine che non potremo spegnerle perché farlo equivarrebbe a una sorta di suicidio. Se arriveremo a questo stadio, le macchine avranno effettivamente il nostro controllo: dunque, avranno un potere enorme.

È difficile pensare, in effetti, che in un remoto futuro i robot intelligenti verranno usati solo per svolgere i lavori più umili e faticosi, per soddisfare il desiderio di maternità e di paternità di genitori che non possono avere figli o magari per dare sfogo agli impulsi sessuali umani, che sono i ruoli svolti, rispettiva-

Figura 3.10. David e Gigolo Joe, i due protagonisti del film *Artificial Intelligence* (2001), di Steven Spielberg.



mente, da schiere di robot «Mecca», dal bambino artificiale David e dall'androide Gigolo Joe nel film *I.A., Intelligenza Artificiale* (2001) di Steven Spielberg, nato da un progetto a lungo coltivato dallo scomparso Stanley Kubrick. D'altra parte, se alle macchine sarà permesso di prendere decisioni proprie senza la supervisione umana, il pericolo è che esse sfuggano al controllo e alle limitazioni poste loro dall'uomo. È impossibile indovinare come, a quel punto, supercomputer o robot intelligenti potranno comportarsi. Potremmo finire per condurre un'esistenza da schiavi o venire ridotti allo stato di animali domestici. Se non peggio, come nei film della serie *Matrix* (1999 e 2003), in cui onnipotenti intelligenze artificiali «coltivano» esseri umani in immensi campi per sopravvivere con l'energia prodotta dai loro corpi.

Addirittura, c'è il rischio che prima o poi le macchine ci sostituiscano del tutto grazie ai progressi dell'intelligenza artificiale e della robotica avanzata. Secondo uno dei maggiori esperti al mondo di robotica, Hans Moravec, della Carnegie Mellon University, la razza umana è entrata nel suo ultimo secolo: non sopravviveremo allo scontro con la specie superiore dei robot intelligenti, così come in natura una specie spesso

soccombe nei confronti di una specie superiore in competizione per le stesse risorse. I robot sono quasi immortali, a meno che non vengano distrutti da un incidente. Pertanto, non appena le macchine diventeranno abbastanza intelligenti da gestire la propria progettazione e costruzione, potrebbero succederci, condannando gli esseri umani all'estinzione.¹⁶ Non a caso, la parte finale del film *I.A.* di Spielberg, che proietta lo spettatore ben 2.000 anni avanti nel futuro, ci mostra l'apoteosi sulla Terra dei robot intelligenti, macchine artificiali che conservano ormai solo una parvenza dell'aspetto umano e che sono così evolute da sembrare extraterrestri,¹⁷ ma che nutrono un vivo interesse verso le creature, ormai estinte da tempo, che hanno costruito i loro predecessori.

In un futuro relativamente più vicino – cioè nel giro di un paio di secoli o più – i robot potrebbero, in ogni caso, creare gli stessi pericoli delle biotecnologie, in quanto potranno forse autoreplicarsi, moltiplicandosi e diventando rapidamente incontrollabili. John von Neumann, il celebre matematico che inaugurò il settore della vita artificiale, già immaginava una macchina capace di fare copie di se stessa, e del resto l'autoreplicazione è un processo che la natura svolge da miliardi di anni nell'ambito della materia vivente utilizzando macromolecole come il DNA, l'RNA e le proteine. I moderni robot industriali controllati dai computer, che assemblano automobili o altro ma hanno la capacità di svolgere soltanto i compiti assai specifici per cui sono stati progettati, rappresentano un primissimo passo tecnologico verso macchine intelligenti autoreplicanti. Quando l'intelligenza artificiale sarà abbastanza sviluppata, infatti, le macchine potrebbero diventare sufficientemente evolute da concepire e assemblare da sé delle macchine intelligenti migliori, migliorando così capacità e prestazioni di ordini di grandezza in tempi brevissimi.

I robot autoreplicanti – e magari anche in grado di evolvere, mutando e sfuggendo alle limitazioni etiche poste dai loro

costruttori – possono fare molta paura, perché non è chiaro chi li controllerà e non possiamo essere sicuri che uno scienziato pazzo non li progetti programmandoli con istruzioni *ad hoc* che riflettano le intenzioni distruttive del suo creatore. Ancora più timore possono incutere i «nanorobot» (cioè i robot delle dimensioni di un miliardesimo di metro) autoreplicanti. Appartengono a questa particolare categoria di robot intelligenti i protagonisti del recente romanzo *Preda* di Michael Crichton, in cui sciame volanti di nanorobot cattivi inseguono e uccidono gli uomini: tali nanorobot sono in grado di evolversi rapidamente senza intervento umano e di funzionare come un unico organismo, un comportamento tipico degli insetti sociali.¹⁸ I nanorobot autoreplicanti nascondono, in realtà, altre insidie immaginabili: potrebbero, ad esempio, impazzire e distruggere l'intero mondo biologico. Ma di questi pericoli, che oggi sembrano appartenere al mondo della fantascienza, discuteremo in dettaglio nel prossimo paragrafo.

IL POTERE DISTRUTTIVO DELLE NANOTECNOLOGIE

Le catastrofi prodotte dalle macchine costruite dall'uomo rappresentano ormai uno dei soggetti preferiti della fantascienza, ma sono all'apparenza lontane nel nostro futuro. Forse per questo non ci preoccupiamo granché di questi scenari da incubo. D'altra parte, come ora vedremo, i potenziali disastri causabili dalle cosiddette *nanotecnologie avanzate* non sono meno preoccupanti di quelli prodotti dall'ingegneria genetica o dall'intelligenza artificiale e dalla robotica.

Quando parliamo di «nanotecnologie», ci riferiamo a quel settore che si occupa della fabbricazione di materiali o di macchine complesse i cui componenti sono delle dimensioni del nanometro, cioè di un milionesimo di millimetro (uno spazio talmente piccolo che bastano una decina di atomi per riempir-

lo).¹⁹ Ciò che rende, in una prospettiva futura, assai interessante il settore delle nanotecnologie sono, in effetti, proprio alcune «nanomacchine»: congegni microscopici della grandezza di una molecola – chiamati *assemblatori* o «nanorobot» – che potrebbero essere programmabili per produrre altre apparecchiature o addirittura copie perfette di se stessi, come fanno le cellule viventi. Un singolo nanorobot non potrebbe fare molto nel mondo macroscopico, perché per fabbricare anche una minuscola quantità di prodotto impiegherebbe milioni di anni. Ma se la nanotecnologia avanzata, ovvero i nanorobot assemblatori capaci di autoreplicarsi, fossero fattibili, allora con miliardi di miliardi di questi nanorobot il concetto di una macchina capace di costruire in un tempo ragionevole qualsiasi cosa non sarebbe poi così impossibile da concepire.

Già nel 1959 Richard Feynman, che sei anni dopo riceverà il premio Nobel per la fisica, aveva immaginato, in una famosa conferenza che ispirò i nanotecnologi, le molte meraviglie rese possibili da macchine capaci di costruire macchine più piccole in grado, a loro volta, di assemblarne altre ancora più piccole, e così via. A partire dagli anni Ottanta, il futurologo K. Eric Drexler, considerato il profeta delle nanotecnologie, ha illustrato in alcuni libri divenuti celebri – tra i quali *Engines of creation*



Figura 3.11. Il profeta delle nanotecnologie Eric Drexler, specializzato in nanotecnologia molecolare al MIT di Boston.

(1986) e *Unbounding the future: The nanotechnology revolution* (1991) – la sua visione degli scenari dischiusi dallo sviluppo delle nanotecnologie avanzate: innanzitutto, la possibilità di produrre a basso costo ogni genere di beni (da un lettore CD a un'automobile, da una pietanza a un combustibile) a partire dagli atomi o dalle molecole presenti in natura; inoltre, la possibilità di curare il cancro e altre malattie degenerative e di assicurarci una vita di durata biblica;²⁰ infine, la possibilità di usare le nanotecnologie per disinquinare l'ambiente e per alleviare la fame e la povertà nel mondo, potendo esse creare praticamente di tutto.

Ma quanto è realistica l'idea di un nanorobot autoreplicante? Secondo gli ottimisti delle nanotecnologie avanzate – i cosiddetti «nanoisti», come Drexler e il suo collega ingegnere Ralph C. Merkle – entro qualche decina di anni le nanomacchine saranno una realtà e rivoluzioneranno la produzione di beni materiali. Del resto, le tecnologie che operano sulle nanoscale stanno procedendo rapidamente, sia pure per piccoli passi non appariscenti, spinte da motivazioni commerciali. Nei prossimi vent'anni vi saranno ancora rapidi progressi, dati anche i cospicui investimenti in queste tecnologie di avanguardia già approvati dagli Stati Uniti e dall'Europa. Così, gli odierni metodi di fabbricazione nanometrica potrebbero un giorno evolversi in tecniche per la costruzione di nanorobot, irrealistiche invece per il futuro prossimo. L'evento «dirompente» (*breakthrough*, in inglese) nelle nanotecnologie, rappresentato dagli ultimi passi decisivi e rivoluzionari che potrebbero spianare la strada verso l'auto-replicazione, verso una nanomacchina assemblatrice replicante se stessa, potrebbe quindi arrivare, in un futuro più remoto, quasi all'improvviso.

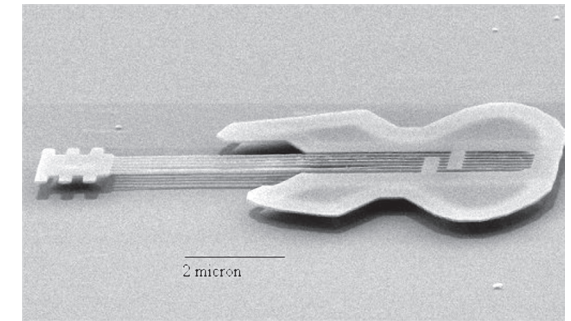
I critici delle nanotecnologie avanzate non prendono sul serio le idee ed i progetti dei nanoisti, considerandoli poco più che fantascienza, e avanzano numerose obiezioni. Vi sarebbero, infatti, ostacoli sia di natura tecnica sia di natura economica. Ad esempio, secondo Richard Smalley, Nobel per la chimica nel 1996, i

bracci manipolatori di un ipotetico nanorobot sarebbero troppo grossi per lo spazio limitato in cui dovrebbero operare e, soprattutto, troppo «appiccicosi», nel senso che gli atomi dei bracci aderirebbero agli atomi che devono essere invece spostati e inseriti nel posto desiderato. Inoltre, i nanoisti dicono poco o nulla su come le macchine assemblatrici riceverebbero le istruzioni e l'energia necessarie per operare. Insomma, l'effetto combinato di vari aspetti tecnici e di dettagli per i quali i nanoisti forniscono solo argomentazioni plausibili e non risposte particolareggiate potrebbe, in pratica, impedire la costruzione di nanorobot autoreplicanti. D'altra parte, la complessità della fabbricazione di oggetti a partire da atomi o molecole singole potrebbe annullare, in molti casi, i vantaggi economici previsti dai nanoisti.

In realtà, il fatto che non sappiamo quanto tempo ci vorrà per sviluppare la nanotecnologia avanzata e quale sia la strada migliore per arrivarci non significa che si tratti di traguardi impossibili da raggiungere, anche perché nulla di ciò che viene proposto dai nanoisti viola le leggi della fisica. Oggi è già possibile manipolare atomi o molecole con sonde microscopiche,²¹ riuscire a combinare i 20 aminoacidi fondamentali per ottenere proteine non esistenti in natura o indurre molecole organiche a disporsi in configurazioni ordinate sulla superficie di un metallo. Ciò permette la costruzione di strutture tridimensionali rigide in base a un *design* specifico e ci fornirà nei prossimi decenni calcolatori più potenti e nuovi farmaci. Ma già si pensa a come realizzare bracci robotici microelettromeccanici in grado di assemblare bracci submicrometrici che, a loro volta, costruirebbero bracci sempre più piccoli, sebbene si sia ancora parecchio lontani dall'autoassemblaggio di nanorobot a partire da una scorta del tipo appropriato di atomi o molecole, da una sorgente di energia e da istruzioni che descrivono cosa costruire.

Le nanotecnologie avanzate possono creare, al pari delle biotecnologie, armi micidiali. Se, ad esempio, i nanorobot autoreplicanti in grado di cibarsi della sporcizia o di altra materia organica

Figura 3.12. Una nanochitarra lunga appena 10 micrometri (milionesimi di metro), all'incirca le dimensioni di una cellula. È stata realizzata dal silicio cristallino usando una nuova tecnica litografica.



si riprodurranno davvero da soli, potrebbero moltiplicarsi senza controllo come cellule tumorali riducendo in una poltiglia grigia tutto ciò che si trova sulla Terra – è il cosiddetto problema della «peste grigia» – oppure evolvere, attraverso mutazioni casuali, in sistemi che rappresentino una minaccia per il pianeta o per la nostra specie. E cosa succederebbe se uno scienziato pazzo, un hacker o un gruppo terroristico sferrasse un attacco nanotecnologico su larga scala con pericolosi nanoreplicatori? Si tratta per il momento di fantascienza, ma è lo stesso Drexler a metterci in guardia nei suoi libri, ricchi sia di scenari fantastici sia di visioni apocalittiche. Infine, chi ci assicura che nazioni guerrafondaie non useranno queste nuove tecnologie per costruire rapidamente carri armati e missili, oppure per inventare terrificanti macchine da guerra in grado di apportare la massima distruzione possibile o di essere selettivamente distruttive?

Esiste, in effetti, il pericolo di una futura corsa alle armi tra gli Stati che possiederanno queste nuove potenti tecnologie e di una successiva proliferazione «orizzontale» di tali armi, in analogia con quanto già accaduto per il nucleare. Inizialmente, le nanotecnologie avanzate saranno in mano solo a pochi laboratori di punta siti in paesi altamente industrializzati. Ma in seguito, specie se i piani di costruzione per i replicatori (esclusi, magari, pochi stadi finali) saranno disponibili sulla letteratura scientifica o su Internet, altri laboratori civili e militari in diversi paesi del

mondo potrebbero, in breve tempo, sviluppare assemblatori propri. Con simili premesse, si può immaginare che tale tecnologia potrà cadere, prima o poi, nelle mani di Stati-canaglia, di gruppi terroristici e forse anche di singoli psicopatici. In tal caso, una persona con intenti malvagi in possesso della tecnologia dell'assemblatore molecolare potrebbe, un giorno, causare l'estinzione dell'*Homo sapiens* sulla Terra – attraverso la distruzione della biosfera, o altri non meno gravi disastri – semplicemente rilasciando opportuni nanorobot nell'ambiente.

La tecnologia per la produzione di nanorobot distruttivi appare di gran lunga più semplice da sviluppare della tecnologia necessaria per creare una difesa efficace contro un attacco nanotecnologico: cioè uno «scudo attivo», una sorta di sistema immunitario globale, sulla falsariga dello scudo spaziale contro un attacco nucleare proposto nell'ambito delle *Star Wars* di reaganiana memoria. Di conseguenza, è immaginabile che ci sarà quanto meno un periodo di totale vulnerabilità, durante il quale occorrerà evitare che una simile tecnologia possa cadere nelle mani sbagliate. I pericoli a lungo termine di una proliferazione nanotecnologica e dei relativi possibili disastri richiedono, dunque, di mettere in atto per tempo una strategia di sicurezza preventiva coordinata e globale. Tuttavia questa tecnologia, come già l'ingegneria genetica, potrebbe rivelarsi molto difficile da regolamentare perché, a differenza di quella nucleare, non richiede rari isotopi radioattivi o impianti di fabbricazione facilmente identificabili, ed ha numerose applicazioni commerciali alle quali non è facile rinunciare o porre un limite preciso e sicuro.

UNA SFIDA DIFFICILE PER LA NOSTRA CIVILTÀ

Come dovrebbe essere a questo punto ormai chiaro, i rischi terminali globali provocati dall'uomo – che d'ora in avanti chiamo-

remo spesso per semplicità *rischi di autodistruzione* – rappresentano una minaccia speciale per l'umanità: non solo perché riguardano eventi di una gravità eccezionale, ma anche perché rappresentano un fenomeno assai recente nella storia umana, non essendo praticamente esistiti pericoli del genere prima della metà del Ventesimo secolo.

Vi sono pure altri motivi per cui è davvero opportuno distinguere questa particolare categoria di rischi – e la sfida che essi pongono – da tutte le altre. In primo luogo, l'inapplicabilità di un approccio *trial and error*, cioè del tipo «vedi cosa accade, limita i danni e impara dall'esperienza», che poteva andare bene con tecnologie meno potenti, come ad esempio quelle dell'industria chimica e del nucleare civile.²² In secondo luogo, il carattere internazionale di molte delle contromisure richieste per ridurre la minaccia, oltre alla condivisione della posta in gioco con le generazioni future, le quali scontano le



Figura 3.13. Il sarcofago costruito intorno al reattore numero quattro della centrale nucleare di Chernobyl, in Ucraina. L'incidente a questo reattore, occorso il 26 aprile 1986, è stato finora il maggiore disastro tecnologico della Storia.

conseguenze delle nostre azioni. In terzo luogo, l'esistenza di sottili e diversi problemi metodologici legati alla stima della probabilità del rischio. In quarto luogo, infine, il fatto che l'intera area sia relativamente poco studiata, o almeno non lo sia in maniera sistematica, nonostante l'importanza innegabile di questi temi: il che è spiegabile in parte con la natura altamente speculativa e interdisciplinare dell'argomento, in parte con il fatto che non siamo ancora diventati pienamente consapevoli di quanto grandi siano i pericoli.

La scarsa consapevolezza collettiva dei pericoli posti dai rischi di autodistruzione dipende, a sua volta, da almeno due motivi. Innanzitutto, l'uomo non è né biologicamente né culturalmente preparato a questo nuovo tipo di minacce, ben diverse da quelle comuni di tutti i giorni, quali nel lontano passato erano gli animali o le tribù ostili, ed oggi sono i cibi dannosi alla salute, gli incidenti d'auto e quant'altro. Inoltre, da parte del pubblico, dei governi e dei media vi è in genere un'errata percezione dei rischi terminali globali, che rende certi pericoli poco credibili.²³ Del resto, è difficile prendere le relative minacce sul serio, non essendo mai stati testimoni di simili disastri. Le nostre intuizioni su quali scenari futuri siano plausibili e realistici si basano, per molti di noi, su ciò che vediamo in televisione o nei film e su ciò che leggiamo nei romanzi, più che su dati di fatto. Ma è davvero raro vedere un film o leggere un libro in cui l'umanità si estingue improvvisamente senza essere rimpiazzata da altre creature, perché una tale opera non sarebbe divertente da vedere; anzi, risulterebbe assai deprimente e, di conseguenza, avrebbe poco successo.

Di solito, nel cinema e nella letteratura di fantascienza gli eroi umani sopravvivono a un olocausto nucleare o all'impatto di un asteroide, arrestano in tempo una pericolosa epidemia, respingono con successo un'invasione di mostri o di robot guerrieri, e così via. I finali a lieto fine, insomma, si sprecano, rendendo ai nostri occhi questo tipo di scenari as-

sai più familiari e «reali» – in pratica, probabili – di quel che effettivamente sono. Se dunque non stiamo attenti alle novità e non riflettiamo su questi argomenti in maniera critica, possiamo facilmente sottostimare la probabilità che avvengano determinati scenari drammatici. Fra l'altro, la realtà talvolta supera anche la più fervida fantasia umana. Lo abbiamo visto bene proprio nel caso degli attentati dell'11 settembre alle Torri gemelle e al Pentagono: nonostante quello dell'attacco interno imprevedibile e letale fosse uno dei luoghi comuni più frequentati dalla *fiction* americana e dal maggiore scrittore di techno-thriller, l'americano Tom Clancy, neppure la prolifica immaginazione dei narratori aveva osato arrivare a tanto, contemplando uno scenario simile, in quanto a spettacolarità – e, insieme, a modalità di esecuzione, a obiettivi presi di mira e a conseguenze dell'attacco – a quello realmente accaduto.²⁴

Ma se è vero che tendiamo a sottostimare in maniera sistematica la possibilità di estinguerci relativamente presto come specie, qual è allora questa probabilità? Purtroppo, non è affatto semplice nemmeno per gli esperti valutare quantitativamente le singole probabilità dei rischi terminali globali che ci minacciano, non fosse altro perché quasi tutti dipendono dalle imprevedibili decisioni o azioni di esseri umani. Certo è che i rischi di autodistruzione sono stati creati per la prima volta dalla civiltà moderna, e paiono aumentare in numero e in pericolosità con il crescere dello sviluppo tecnologico. Nel presente momento storico, il principale rischio terminale che minaccia l'umanità è quello di un conflitto nucleare globale, insieme al rilascio accidentale o volontario nell'ambiente di un temibile agente infettivo modificato geneticamente, sia pure forse non ancora in grado di porre fine all'esistenza dell'*Homo sapiens*. Si tratta di due eventi la cui probabilità è oggi verosimilmente bassa, ma dagli effetti terrificanti, per cui l'argomento merita una grande attenzione e la prevenzione di questo tipo di rischi dovrebbe avere senza dubbio la priorità.

In prospettiva, sono preoccupanti per la nostra civiltà tutti i peggiori rischi prevedibili posti dalle tecnologie GIARN del Ventunesimo secolo, cioè dall'ingegneria genetica, dall'intelligenza artificiale, dalla robotica e dalle nanotecnologie. Infatti, gli agenti patogeni modificati geneticamente, i futuri nanorobot e i robot intelligenti, sono accomunati dallo stesso pericolo: possono auto-replicarsi, e in teoria moltiplicarsi diventando velocemente incontrollabili. Tuttavia, mentre l'ultimo passo nello sviluppo della tecnologia nucleare è stato grande e difficile – il test Trinity della prima bomba atomica ha rappresentato il culmine del Progetto Manhattan che ha riunito molti dei migliori scienziati dell'epoca – lo sviluppo delle tecnologie GIARN procede rapidamente attraverso piccoli passi. L'ultimo passo rivoluzionario verso l'auto-replicazione di organismi o di macchine pericolose per la nostra specie potrebbe quindi arrivare assolutamente all'improvviso, con grande sorpresa di tutti. A quel punto, per l'umanità il rischio di estinzione (o di alcuni orrendi scenari simili ad essa) derivante da un incidente o da un atto deliberato di Stati, gruppi terroristici o singoli individui, sarebbe davvero enorme. Ma sarebbe ormai troppo tardi per scongiurarlo.

Se non vogliamo essere colpiti e sorpresi dalle conseguenze delle nostre invenzioni, occorre che ci prendiamo tutti – scienziati, politici, intellettuali, semplici cittadini – le nostre responsabilità. Non dobbiamo nasconderci i pericoli, bensì affrontarli, studiarli, approfondirli guardando cosa potrebbe andare storto, elaborare delle strategie che possano migliorare le nostre probabilità di sopravvivenza. Non possiamo lasciare, infatti, che le cose evolvano per conto proprio. Occorre anticipare il nuovo tipo di minaccia, avviare programmi per la riduzione dei singoli rischi (come quelli già in atto per la scoperta di eventuali asteroidi-killer), ed essere pronti a svolgere azioni preventive, nonché a sopportare i loro costi economici e talvolta morali. In particolare, occorre prevenire la proliferazione delle tecnologie GIARN e ostacolare la diffusione del relativo sapere (specie se

non esistono ancora efficaci contromisure specifiche), onde evitare la grande corsa agli armamenti verificatasi nel Ventesimo secolo con le tecnologie NBC. Allo scopo occorrono istituzioni, norme e politiche di sicurezza nazionale completamente nuove.

I rischi di autodistruzione, tuttavia, riguardano il mondo intero e si riducono ben poco con leggi e interventi limitati a singoli paesi o gruppi di paesi. Perciò tutte le nazioni devono dimostrarsi abbastanza responsabili da regolamentare in sede internazionale l'acquisizione pubblica e privata di tecnologie potenzialmente pericolose per l'umanità. Ogni accordo in tal senso, inoltre, dovrebbe essere accompagnato da un capillare programma di monitoraggio. Nei confronti delle nazioni che si rifiutassero di aderire a questi accordi, dovrebbero venire esercitate forti pressioni diplomatiche ed economiche. Se anche questi sforzi fallissero, e tali paesi decidessero di sviluppare una tecnologia pericolosa in assenza di regolamentazione, essi dovrebbero venire indotti alla ragione con la forza o con la minaccia della forza. Si dovrebbe dunque forse contemplare la possibilità di far ricorso, come «ultima spiaggia», ad attacchi militari preventivi contro Stati sovrani – la cosiddetta *guerra preventiva* – sebbene ciò appaia moralmente ripugnante. Ma in futuro l'alternativa potrebbe essere, semplicemente, quella di non avere un futuro.

4. IL FUTURO DELLA CIVILTÀ

*Noi civilizzati sappiamo ora che
siamo mortali, perché una civiltà
è fragile quanto una vita.*

(Paul Valéry)

Qual è il futuro più probabile per l'attuale civiltà tecnologica? E, soprattutto, una società come la nostra, basata da una parte sulla legge del profitto a tutti i costi e sul mercato-padrone che governa ogni cosa, e dall'altra sullo sviluppo esponenziale di tecnologie che hanno – nel bene e nel male – un potere di trasformazione sempre maggiore sul nostro mondo, può, in qualche modo, sperare di durare a lungo? Oppure la sua stessa natura la porta a scomparire nel giro di qualche secolo o di qualche millennio? Pessimisti e ottimisti si confrontano da tempo su questi temi, cercando una spiegazione al caos in cui la civiltà occidentale sembra precipitare, e provano a immaginare i possibili scenari futuri. Su una cosa, però, entrambe le fazioni paiono concordare: nell'arco di appena qualche decina di generazioni, assisteremo sul nostro pianeta a cambiamenti, positivi oppure negativi, assolutamente epocali, che potranno decidere ben più di oggi il destino non soltanto della nostra civiltà tecnologica, ma anche dell'intera specie *Homo sapiens*.

LA POSSIBILE EVOLUZIONE DI UNA CIVILTÀ TECNOLOGICA

Il problema di come una generica civiltà tecnologica giunta ad uno stadio di sviluppo simile al nostro possa in seguito evolvere è stato affrontato in passato – sia pure con scopi completamente diversi – non tanto da futurologi, sociologi, economisti o storici, quanto, piuttosto, da una ristretta categoria di ricercatori: quella degli astronomi, dei fisici e degli ingegneri impegnati nella caccia a ipotetiche civiltà extraterrestri che potrebbero nascondersi nelle profondità dell'universo.

In particolare, analizzando i molteplici possibili sbocchi evolutivi futuri di una società tecnologica aliena evolutasi sulla falsariga della nostra, alcuni scienziati interessati al SETI (acronimo di *Search for Extra-Terrestrial Intelligence*) hanno tentato di valutare, negli ultimi quarant'anni, la durata media di una civiltà tecnologica extraterrestre. Essa, infatti, indicata di solito con la lettera *L*, rappresenta uno dei parametri fondamentali dell'*equazione di Drake*, la semplice formula matematica proposta negli anni Sessanta dal radioastronomo americano Frank Drake per stimare il numero di civiltà aliene potenzialmente contattabili oggi presenti nella Galassia.¹ In base a tale equazione, maggiore è la durata media di eventuali società tecnologiche extraterrestri in grado di inviare o ricevere segnali radio, di costruire sonde spaziali, o di manifestare in qualche modo la propria esistenza o di rilevare la presenza altrui, e maggiore è – a parità di altri fattori contemplati dalla formula di Drake – la probabilità, per la nostra giovanissima civiltà, di entrare prima o poi in contatto con delle intelligenze aliene.

Ebbene, uno dei risultati per noi più importanti di questi originali studi è che, prendendo come modello la nostra attuale società tecnologica, si possono immaginare vari tipi di scenari futuri. Il più pessimistico, che abbiamo di fatto esaminato in un certo dettaglio nel precedente capitolo, prevede la scomparsa definitiva della specie umana a causa di un'improvvisa e rapida

Figura 4.1. L'ipotesi che una civiltà tecnologica possa arrivare a un livello superiore al nostro è alla base delle ricerche di intelligenze extraterrestri compiute con i radiotelescopi. (cortesia IRA-CNR)



autodistruzione o di una catastrofe di origine astrofisica: eventi che, in linea di principio, possono avvenire l'anno prossimo, come pure tra secoli o millenni. Invece, lo scenario più ottimistico, oggetto del prossimo capitolo, è quello della sopravvivenza della specie umana e di un progresso tecnologico continuo o quasi-continuo: cioè, di uno sviluppo della tecnologia fino ai suoi estremi limiti, in un futuro che ha apparenti analogie con quello ipotizzato da molti scrittori di fantascienza. Tra queste due ipotesi estreme – e forse per questo meno plausibili – vi sono poi tutta una serie di possibilità intermedie, che racchiudono probabilmente l'evoluzione futura effettiva della nostra civiltà tecnologica, e che saranno l'oggetto del presente capitolo.

I due scenari limite ottimistico e pessimistico, e quelli intermedi, possono venire visualizzati in maniera rozza – ma sicuramente assai intuitiva – su un grafico, riportando sull'asse orizzontale il tempo e su quello verticale il livello di sviluppo raggiunto dalla nostra civiltà tecnologica in funzione, appunto, del tempo. Dove per livello di sviluppo si intende, sostanzialmente, la capacità raggiunta fino a quel momento dall'uomo di

allentare la propria dipendenza dai vincoli posti dalla natura. Nel grafico da noi proposto, tuttavia, l'andamento nel tempo del grado di sviluppo a partire dai primi *Homo sapiens* a oggi è rappresentato, per semplicità, con una linea quasi-retta, la quale potrebbe far pensare a un progresso lineare nel tempo; il che, ovviamente, è vero solo in primissima approssimazione, dal momento che, nella storia umana, a momenti di crescita molto rapidi si sono alternati lunghi periodi pressoché di stasi. L'andamento preciso della curva, in ogni caso, dipende da come viene misurato il livello di sviluppo raggiunto: se, ad esempio,

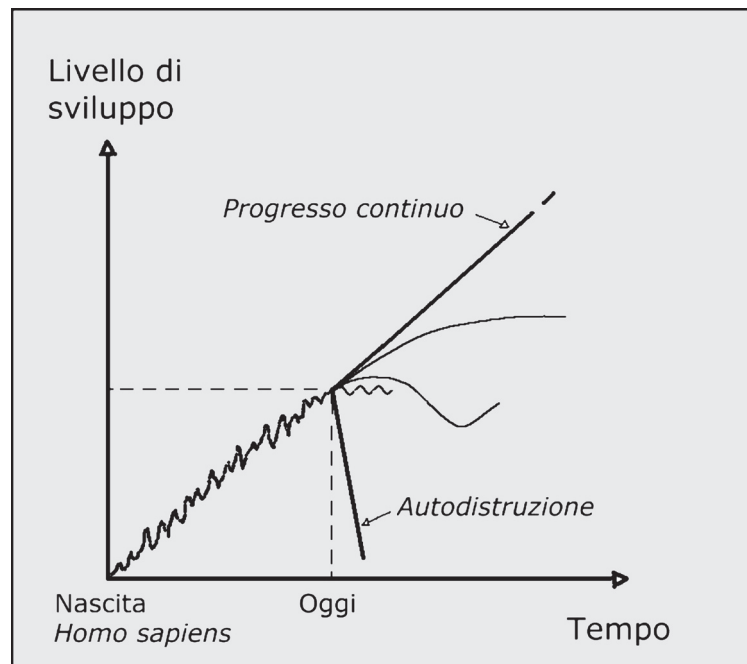


Figura 4.2. Il futuro forse più realistico della nostra civiltà tecnologica, discusso in questo capitolo, è compreso tra i due scenari estremi: quello assai pessimistico di una rapida autodistruzione, illustrato nel capitolo precedente, e quello assai ottimistico di un progresso tecnologico continuo, che sarà oggetto del prossimo capitolo.

dal grado di complessità dei manufatti prodotti, dalla quantità di informazione gestita, e così via.

Nell'ambito degli scenari futuri intermedi, si possono immaginare innumerevoli andamenti per la curva del livello di sviluppo tecnologico, dati dalle possibili combinazioni di fasi più o meno lunghe di stagnazione, di parziali cadute, di oscillazioni, eccetera. Infatti, il progresso tecnologico praticamente continuo attuale potrebbe essere, piuttosto presto, rallentato o interrotto in modo più o meno brusco da varie cause, quali crisi ambientali, sociali, economiche, oppure distruzioni e catastrofi dovute all'azione dell'uomo o della natura. D'altra parte, se il grado di sviluppo della tecnologia umana scendesse, in seguito a tali eventi, ben al di sotto del livello odierno, si potrebbe avere la fine della civiltà tecnologica propriamente detta – magari a vantaggio di una società più simile a quella, non tecnologica, della Grecia classica – o la fine della stessa civiltà, che significherebbe precipitare in uno stato di barbarie. Almeno nel primo caso, però, una nuova civiltà potrebbe risollevarsi ai livelli di oggi e superarli; o, al contrario, non tornare a uno stadio di sviluppo tecnologico elevato, ma riuscire, in compenso, a sopravvivere più a lungo.

In realtà, gli scenari fortemente ottimistici – o quelli intermedi, che prevedono comunque un discreto progresso tecnologico futuro – possono essere delineati in maniera ancora abbastanza attendibile finché non si supera una certa soglia di sviluppo, oltre la quale non solo non è possibile prevedere granché di preciso, ma probabilmente non ha nemmeno troppo senso parlare di civiltà tecnologica: ad esempio, perché la società umana si sarà evoluta in qualcosa di assai differente, di cui ciò che noi oggi chiamiamo civiltà tecnologica rappresenta soltanto uno stadio di passaggio. Per lo stesso motivo, del resto, non ha granché senso parlare di società tecnologica per l'epoca degli antichi Romani, e mai quei nostri lontani progenitori si sarebbero potuti figurare la moderna società umana. La soglia oltre la quale il

futuro diventerà, per definizione, qualcosa di inimmaginabile rappresenta un momento importante nell'evoluzione dell'odierna civiltà, ed è chiamata dai futurologi «singolarità»:² in pratica, la si raggiungerà quando i limiti del prevedibile verranno superati in una vasta gamma di aree tecnologiche fondamentali.

Non sappiamo, purtroppo, quanto la singolarità potrebbe collocarsi lontano nel futuro, come pure non abbiamo indicazioni quantitative riguardo l'ancor più importante parametro L , la durata media di una civiltà tecnologica capace almeno di inviare onde radio nello spazio e di riceverne (e dunque con un grado di sviluppo sostanzialmente uguale o anche ben superiore al nostro). Una stima pessimistica porta ad attribuire ad L un valore di poche decine di anni, pari al tempo che può trascorrere, ad esempio, dall'invenzione dei radiotelescopi a una guerra termonucleare globale che provochi una prematura autodistruzione della civiltà. Una stima ottimistica, invece, per quanto ne sappiamo, potrebbe concedere a una civiltà tecnologica una durata di milioni, o addirittura miliardi, di anni: per la verità, non conosciamo un limite superiore a tale longevità, se non quello generico – e comunque estremamente lontano nel tempo per preoccuparsene – rappresentato dal progressivo venir meno di certi requisiti di abitabilità dovuti all'invecchiamento della propria stella, della propria galassia e, infine, dell'intero universo.

Il futuro della nostra civiltà tecnologica si articola, come il passato, su diverse scale temporali, sebbene non sia possibile sapere con esattezza su quale scala si collocheranno i grandi eventi legati all'uomo o ai suoi lontani discendenti. Su una scala temporale molto breve – diciamo, di dieci anni – è ragionevole estrapolare quasi tutte le tendenze attuali ed escludere, salvo sorprese catastrofiche, cambiamenti radicali. Su una scala temporale di cento anni, importanti accadimenti storici e rivoluzionarie scoperte scientifiche impediscono già previsioni precise dell'evoluzione successiva. Su una scala di mille anni, si può assistere alla colonizzazione umana del Sistema Solare,

come pure al declino della civiltà occidentale e alla comparsa di altre civiltà dominanti. Su una scala di diecimila anni, l'uomo può scomparire per sempre, o espandersi nello spazio interstellare, magari decidendo nel frattempo di intervenire geneticamente su se stesso a livello di specie. Su una scala di centomila o più anni, risulta impossibile fare previsioni, ma probabilmente il nostro destino – buono o cattivo che sia – sarà già stato deciso da tempo.

IL MONDO STA ANDANDO VERSO UNO SCHIANTO...

Lo sviluppo tecnologico della nostra civiltà è diventato ormai rapidissimo e, col suo stesso realizzarsi, fornisce all'uomo mezzi di distruzione sempre più potenti. Se non saremo in grado di controllare la nostra tecnologia, come abbiamo mostrato nel corso del precedente capitolo, potremmo arrivare ad autodistruggerci all'improvviso e in un tempo relativamente breve: noi chiameremo «schianto» (*bang*), o «botto», questa possibile fine della civiltà o dell'intera umanità.

In effetti, la rapida catastrofe associata a uno schianto può, a seconda delle caratteristiche specifiche dell'evento scatenante, provocare varie conseguenze immediate sul genere umano. La peggiore eventualità è rappresentata dall'estinzione della nostra specie, l'*Homo sapiens*: si tratterebbe, ovviamente, della prima irreparabile crisi della nostra civiltà tecnologica, fatale a tal punto che rimarrebbe anche l'unica, perché non riusciremmo a superarla. Ma se una piccola parte dell'umanità sopravvivesse al disastro, i danni dello schianto si limiterebbero, almeno inizialmente, al repentino collasso dell'attuale civiltà tecnologica, o della civiltà *tout court*. Un simile esito potrebbe costituire solo una fase transitoria, che non inibirebbe una successiva crescita della civiltà umana oltre i livelli di sviluppo finora raggiunti; o, al contrario, potrebbe compromettere in modo drastico e perma-

nente il potenziale di sviluppo futuro della nostra civiltà tecnologica, che pertanto non ritornerebbe mai più nemmeno ai livelli pre-crisi. In quest'ultimo caso, un'umanità divenuta vulnerabile potrebbe anche finire per estinguersi prematuramente.³

Pertanto, si può immaginare l'esistenza di due «soglie» importanti in relazione al livello di sviluppo tecnologico a cui precipita la civiltà immediatamente dopo il botto. Esse permetterebbero di separare i tre possibili esiti finali dello schianto (v. la figura accanto): una prima soglia separerebbe l'esito finale estinzione dell'uomo dal collasso permanente della civiltà tecnologica al di sotto dei livelli pre-crisi; mentre una seconda soglia, più alta, separerebbe tale collasso permanente da un collasso solo temporaneo della nostra civiltà. Il grado di sviluppo tecnologico *post-bang* corrispondente a ciascuna soglia, però, non è definito da un valore preciso, bensì da un ampio intervallo di valori, perché l'esito finale di uno schianto può variare col tempo trascorso dal botto. Infatti, più questo è lungo, e maggiore è la probabilità che la popolazione sopravvissuta al collasso della civiltà si possa, nel frattempo, estinguere. E, nello stesso arco di tempo, una civiltà che all'inizio sembrava incapace di «risollevarsi» dal collasso potrebbe invece risorgere; mentre, al contrario, una ritenuta in grado di superare lo schianto, potrebbe non recuperare.

Può essere, quindi, assai difficile stabilire *a priori* se le conseguenze di un evento che provochi uno schianto dalla prevedibile portata immediata collochino questo al di sopra o al di sotto delle due soglie critiche – e, nel senso appena illustrato, ambigue – che determinano se si avrà poi, sul lungo termine, un certo esito piuttosto che uno del tutto diverso. Un semplice esempio è rappresentato dalla collisione contro la Terra di un asteroide vagante nello spazio, i cui effetti dipendono, in primo luogo, dalle dimensioni del proiettile cosmico. Se quest'ultimo fosse un asteroide del diametro di 100 chilometri, l'estinzione del genere umano, a causa delle catastrofiche conseguenze climatiche innescate dall'impatto, sarebbe assicurata: cioè l'evento si collo-

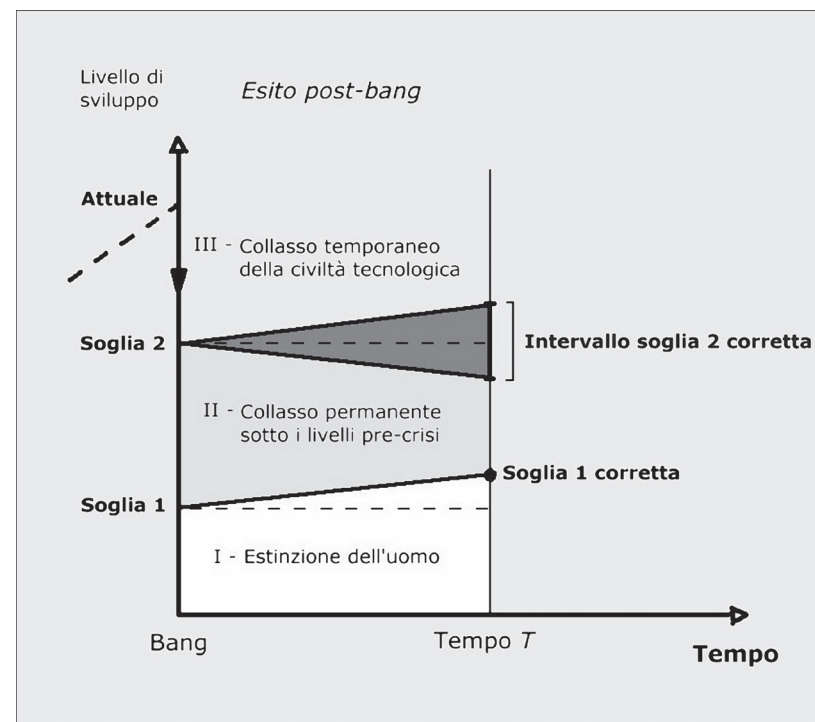


Figura 4.3. Le due importanti soglie nel livello di sviluppo *post-bang* che separano i tre possibili esiti di uno schianto, o bang, della nostra civiltà tecnologica. Esse dipendono dal tempo T al quale si valutano tali esiti. In particolare, per la soglia 2, che separa il collasso permanente sotto i livelli pre-crisi dal collasso solo temporaneo, esiste un intero intervallo di valori di soglia che diventa sempre più ampio al crescere di T .

cherebbe al di sotto di entrambe le precedenti soglie critiche. Se il diametro dell'asteroide fosse di appena 100 metri, al contrario, le conseguenze dell'urto sarebbero locali e limitate, e l'evento si collocherebbe al di sopra di entrambe le soglie. Non è invece nota la posizione rispetto alle due soglie di un evento intermedio, quale l'impatto con un corpo largo pochi chilometri.

La soglia che separa un crollo improvviso e permanente della civiltà quale noi la conosciamo da un collasso e un ritorno solo

temporaneo al livello di una civiltà primitiva rappresenta, già di per sé, una vera e propria incognita. Difatti, la nostra moderna società, che soprattutto nei paesi avanzati è basata sul perfetto funzionamento di grandi strutture e organizzazioni, nonché di grandi sistemi tecnologici, risulta particolarmente fragile e vulnerabile a eventi catastrofici di eccezionale portata che ne riducono in modo rapido e massiccio la popolazione. D'altra parte, la capacità di recupero di una società sottoposta a una rapidissima degradazione dei propri sistemi sociali e tecnologici è proprio uno degli elementi fondamentali che non conosciamo bene. Sui relitti di una civiltà crollata e frazionata in molte piccole realtà indipendenti, autarchiche e arretrate potrebbe in seguito nascere, da qualche isola di ordine sociale magari posta in aree del mondo oggi in via di sviluppo, una nuova civiltà tecnologica; o, diversamente, potrebbero regnare sempre più incontrastati il caos e la barbarie: semplicemente, non lo sappiamo.⁴

Sono solo tre i modi noti in cui l'attuale società tecnologica potrebbe già oggi crollare prematuramente in uno schianto come spiacevole risultato del suo stesso sviluppo. Una possibilità ovvia è una guerra nucleare globale seguita da un *fallout* devastante, che provocherebbe l'estinzione della specie *Homo sapiens* e di gran parte della vita presente sulla Terra. Dopo quarant'anni di paure, questo tipo di schianto sembra diventato meno probabile, mentre è in pratica costante – o va solo lentamente fluttuando nel tempo – il grado di rischio di una pandemia naturale altamente letale, che non potrebbe provocare l'estinzione della nostra specie ma una sua significativa riduzione numerica: evento in teoria sufficiente a far collassare la nostra civiltà. Il terzo e ultimo pericolo mortale, che al contrario si andrà facendo più probabile col passare degli anni, è rappresentato dalla messa a punto, in qualche laboratorio, di una micidiale arma genetica, la già citata *arma finale*: un patogeno in grado di sterminare l'intero genere umano, e che potrebbe venire impiegato in maniera deliberata o sfuggire al controllo dei suoi ideatori.

I tre rischi appena descritti sono gli unici rischi globali terminali *improvvisi*, cioè capaci di provocare in maniera inattesa, prematura e – soprattutto – rapida la nostra estinzione come specie, oppure di compromettere in modo drastico e permanente il potenziale di sviluppo futuro dell'umanità. Inoltre, sono gli unici rischi di questo genere che si possono verosimilmente materializzare già nel presente secolo. Essi hanno in comune tra loro il fatto che costituiscono una conseguenza più o meno diretta dell'evoluzione della nostra civiltà tecnologica, che con il suo continuo e tumultuoso «progredire» crea i semi per la propria autodistruzione. Abbiamo visto in grande dettaglio nel precedente capitolo come l'evoluzione tecnologica della nostra società abbia creato armi di distruzione sempre più potenti, e continuerà probabilmente a farlo in futuro. Con l'invenzione dell'arma atomica, siamo entrati in una nuova era: l'umanità ha acquisito per la prima volta nella Storia la capacità di autoestinzione, e i modi in cui potremo causare la fine della nostra specie aumenteranno con l'avanzare della scienza e della tecnologia.

D'altra parte, l'attentato dell'11 settembre, il più devastante attacco terroristico che il mondo abbia mai visto, con migliaia di morti in un colpo solo, potrebbe essere il precursore di un nuovo tipo di terrore con cui avremo abbondantemente a che fare nel prossimo futuro. Le informazioni e le tecnologie per compiere attentati spettacolari e di proporzioni catastrofiche sono ormai sempre più facilmente a portata di mano di chiunque le voglia cercare: poco importa se si tratti di uno Stato sovrano, di un gruppo terroristico, di un gruppo religioso o di un individuo istruito e ben determinato. La possibilità di attentati con armi biologiche, esplosivi «sporchi», sostanze chimiche o addirittura bombe nucleari è reale, non più solo materia di un film di fantascienza o di avventura fantapolitica.⁵ E le lettere all'antrace seguite all'11 settembre – all'apparenza un modo primitivo, troppo su piccola scala per diffondere il terrore tra la gente – hanno offerto prove evidenti del tremendo e destabilizzante caos che

una serie di attentati su vasta scala e con armi ben più micidiali potrebbe causare nella moderna civiltà industrializzata.

Nel romanzo *The White Plague* di Frank Herbert, uscito nel 1984, un biologo molecolare impazzisce per l'assurdo omicidio della sua famiglia, e per vendicarsi costruisce e dissemina una piaga altamente contagiosa che uccide in maniera vasta e selettiva. Theodore Kaczynski – il famoso «Unabomber» – per fortuna era un matematico, non un biologo molecolare. Ma con i rapidi e sorprendenti progressi che stanno avendo luogo nel campo dell'ingegneria genetica e delle biotecnologie, con i relativi materiali e conoscenze che diventano ogni giorno più accessibili, e con i laboratori commerciali che si avventurano per caso sempre più in territori nuovi e pericolosi facendo mappature geniche ed esperimenti inediti di cui si può fare un cattivo uso, tra alcuni decenni potrebbe in teoria diventare possibile, per uno Stato tirannico, un terrorista o uno psicopatico, non solo procurarsi e usare dei supergermi ma, prima o poi, addirittura dotarsi dell'arma genetica finale: un agente patogeno «da fine del mondo», in grado di dar luogo a un'epidemia mondiale inarrestabile.⁶

Già nel corso di questo secolo, dunque, entreremo forse in un'era ancora più pericolosa, caratterizzata dal fatto che la possibilità di autoestinzione dell'*Homo sapiens* non dipenderà più in esclusiva dalle ponderate decisioni dei governanti politici e degli alti gradi militari dei paesi occidentali o dei paesi dell'ex Unione Sovietica, e nemmeno dagli imprevedibili capricci degli agenti patogeni esistenti in natura: bensì, sarà alla portata di qualche gruppo terroristico, di una setta religiosa o di un pazzo isolato in possesso di un'arma genetica finale. La domanda che dobbiamo ormai porci – come osservano i maggiori esperti del settore, tra cui Joshua Lederberg, premio Nobel nel 1958 per i suoi studi sulla ricombinazione nei batteri – non è *se* ciò avverrà, ma piuttosto *quando*. L'era dell'arma finale, in cui il destino del mondo sarà in mano a uno o più persone folli, terroristi o ricattatori decisi a tenere in scacco il pianeta o a distruggere tutti

i suoi abitanti, potrebbe essere molto meno lontana di quanto si possa credere.⁷ E questa forma estrema di *tecnoterrorismo* sarà certo una delle novità meno simpatiche del prossimo futuro.

...O VERSO UNA LENTA CRISI SU SCALA GLOBALE?

L'altro modo in cui la nostra civiltà tecnologica potrebbe regredire rispetto al livello di sviluppo attuale è quello non di un crollo improvviso, bensì di un ben più lento «lamento»: un declino, insomma, assai più graduale – riguardante una scala temporale di decenni, invece che di settimane o mesi – dovuto ai crescenti stress esercitati dall'attività dell'uomo sui sistemi naturali e sui sistemi umani medesimi, e destinati a diventare, oltre una certa soglia, insostenibili.

Il crescente impatto dell'uomo sull'ambiente non sarebbe un problema se non fosse per il fatto che il nostro pianeta ha – globalmente e localmente – una limitata *capacità di carico* o di sostentamento della popolazione, che dipende sia dalla quantità di risorse non rinnovabili di cui esso dispone, sia dalla capacità dell'ambiente di sostenerne le attività. In ecologia, la capacità di carico è definita come «il massimo numero di esemplari di una data specie che un determinato habitat è in grado di sostenere indefinitamente»: quando tale livello massimo viene superato – magari per una crescita eccessiva, non «sostenibile», appunto, della popolazione – inizia il declino delle risorse, cui farà poi seguito il declino della popolazione stessa. Ad esempio, nel caso di una popolazione batterica che si moltiplica in laboratorio nel mondo limitato di una capsula di Petri, la crescita non è sostenibile proprio a causa della capacità di carico: prima o poi, i batteri consumano tutte le risorse disponibili e vengono sommersi dai propri rifiuti, o «inquinamenti», estinguendosi.

Naturalmente, le interazioni umane con l'ambiente sono molto più complesse di quelle dei batteri e una fine simile, per

l'uomo, sembrerebbe improponibile. Tuttavia, nella storia della nostra specie esiste un «fresco» precedente, riguardante l'isola di Pasqua, che dovrebbe farci riflettere. Milleseicento anni fa, quando venne colonizzata dai polinesiani, l'isola era un vero paradiso, ricco di foreste, di animali e di terra fertile. Dopo secoli di pace e di prosperità in cui i colonizzatori crearono una società sofisticata dal punto di vista economico, politico e culturale – testimoniata anche dalle famose statue giganti – per la crescita della popolazione gli alberi vennero tagliati a un ritmo superiore a quello di rigenerazione. La conseguente scarsità di legna per le imbarcazioni ridusse la quantità del pescato, costringendo a una caccia intensiva, mentre l'erosione del suolo dovuta alla deforestazione provocò la diminuzione dei raccolti. A causa della fame così sopraggiunta, si scatenarono gravi disordini; e, quando gli europei arrivarono sull'isola, nel 1772, i pochi superstiti vivevano ormai in uno stato di cannibalismo e di violenza su una distesa sterile e desolata.

Come ci insegna il semplice ma istruttivo esempio dell'isola di Pasqua, infatti, il vero guaio rappresentato dal superamento della capacità di carico a causa dell'eccessivo impatto dell'atti-



Figura 4.4. Alcune delle caratteristiche grandi statue monolitiche dell'isola di Pasqua, situata nel Pacifico a 3.800 chilometri dalla costa centrale del Cile.

vità umana sull'ambiente e sugli ecosistemi, è che ciò può provocare, attraverso una fitta rete di rapporti causali tra le varie componenti in gioco, un forte impatto anche sulla società e sui suoi vari sistemi sociali, economici e politici. In altre parole, un impatto crescente dell'uomo sui sistemi *naturali*, oltrepassata una determinata soglia critica, produrrebbe un notevole impatto – con esito potenzialmente catastrofico – anche sui sistemi *umani*. Qualora la pressione sui sistemi naturali diventasse insostenibile, si avrebbe un lento declino della società, poiché si innescherebbe un processo di instabilità che porta a un deterioramento irregolare ma relativamente continuo della condizione umana; e, se il sistema è del tutto isolato e in balia di se stesso, la popolazione e la sua crescita tenderebbero a ridursi a valori molto più bassi di quelli massimi pre-crisi.

Poiché non abbiamo ancora colonizzato lo spazio, la Terra rappresenta di fatto un habitat isolato, sebbene di gran lunga più vasto e complesso della remota e sperduta isola di Pasqua. Ora, fino a un paio di secoli fa, la popolazione umana e i relativi consumi erano così limitati che la capacità di carico poteva essere superata giusto su un'isola. Oggi, però, le tre maggiori «correnti» del cambiamento – crescita della popolazione, sviluppo tecnologico e aumento del benessere economico – sono tali che l'impatto dell'attività umana sui sistemi naturali è rilevante sia per valori assoluti sia per ritmo di incremento. Il rischio è dunque che la capacità di carico venga oltrepassata, un giorno probabilmente non troppo lontano, anche a livello planetario, con tutte le conseguenze che ne potrebbero derivare. Estrapolando su scala globale gli esempi precedenti, il timore è che non soltanto singoli paesi sottosviluppati, ma addirittura il mondo nella sua interezza e le sue istituzioni, entrino in gravissima crisi quando gli eccessivi tassi di crescita attuali portino al superamento della *capacità di carico della Terra* (v. la box a pag. 150).

Inoltre, capita di rado che gli attuali *trend* in materia di popolazione-risorse-ambiente agiscano da soli: il più delle volte,

interagiscono con le altrettanto preoccupanti tendenze in tema di malattie, migrazioni, armi di distruzione di massa e terrorismo che abbiamo discusso nel secondo capitolo. In altre parole, l'inquinamento dell'ambiente globale ed i livelli intollerabili di consumo delle risorse sono soltanto due variabili di una serie di fattori politici, economici, sociali ed ecologici in grado di generare direttamente disordini o crisi, soffocando lo sviluppo di un paese o di un'intera società. Il crescente impatto dell'uomo sui sistemi umani non sarebbe tuttavia così temibile se questi ultimi non avessero, come i sistemi naturali, delle soglie critiche e instabili – poco o per niente conosciute – che potrebbero venire, prima o poi, raggiunte e oltrepassate a causa degli stress sempre maggiori a cui le strutture socio-politico-economiche sono sottoposte. A rischio, in particolare, risulta l'equilibrio geopolitico tra il Nord ricco e industrializzato, con l'Europa e gli Stati Uniti in testa, e il Sud povero e in via di sviluppo.

L'Occidente, in effetti, si rende conto che la sua sicurezza e il suo benessere, per la prima volta, sono messi in forse da minacce non più solo di tipo militare, che provengono soprattutto dal Sud economico del pianeta e risultano difficili da tenere sotto controllo. Esse sono, da una parte, quelle *dirette*, rivolte agli interessi vitali e all'integrità territoriale delle nostre nazioni: parliamo del rischio di attentati o, addirittura, di attacchi missilistici con armi di distruzione di massa, scatenati da gruppi terroristici internazionali o da Stati-canaglia. Invece, le minacce *indirette*, non militari, alla sicurezza e al benessere occidentale provenienti dal Sud del mondo sono quelle derivanti dal degrado dell'ambiente globale, dal rapido esaurimento delle risorse planetarie, dall'emergere di nuove malattie e dal rischio di migrazioni massicce: tutti fenomeni che nascono, di solito, nei paesi in preda all'esplosione demografica, e sono resi ancor più inquietanti dal sorgere di movimenti radicali islamici, dall'allargarsi del divario economico Nord-Sud e dalla sempre più iniqua distribuzione mondiale di risorse primarie e di tecnologie.

Il divario demografico e tecnologico sempre più ampio fra il Nord ricco e il Sud povero del mondo potrebbe portarci sul medio termine – cioè nei prossimi secoli, e forse millenni – allo stesso risultato di una catastrofe ben più spettacolare e repentina. Questo perché gli attuali andamenti in tema di popolazione-ambiente-risorse e di epidemie-armamenti-migrazioni-terrorismo, che derivano in ultima analisi dal suddetto divario, sono sempre più fonte di povertà, malattie, degrado ambientale, conflitti, violenze e imbarbarimento. Al ritmo di crescita degli ultimi decenni, quindi, i *trend* odierni non sono sostenibili a lungo sul nostro pianeta, a causa della crescente pressione esercitata sui sistemi naturali e umani che potrebbe presto superare la soglia di guardia. Si potrebbe, a quel punto, innescare su scala mondiale una spirale molto pericolosa, che porterebbe verso una situazione esplosiva di instabilità internazionale, di grave crisi ecologica e di maggiore conflittualità fra gli stati, alimentando un circolo vizioso assai difficile da interrompere e, dunque, creando una seria minaccia alla sicurezza e al benessere globali.

Si prospettano, in effetti, più che una serie di crisi limitate e in teoria superabili dovute ad un solo fattore – un effetto serra galoppante, una guerra per l'acqua, un attentato terroristico devastante – crisi di più vasta portata causate da una concomitanza di fattori o di eventi sottovalutati. Esse potrebbero dare il via, con l'eventuale crollo dell'ordine sociale che ne seguirebbe soprattutto nei paesi ricchi e industrializzati – più vulnerabili per la sofisticata organizzazione sociale ed i grandi e complessi sistemi economici e tecnologici che li sostengono – a un processo catastrofico in grado di paralizzare il funzionamento delle società più sviluppate e di condurre alla morte migliaia o milioni di persone. Si preannuncia, quindi, un lento deterioramento del tenore di vita attuale nel mondo occidentale, ed è a rischio addirittura la sopravvivenza di una civiltà tecnologica e dell'uomo sulla Terra, dal momento che il decadimento della società potrebbe far crescere, di pari passo, la probabilità che si possa

arrivare a un collasso improvviso della civiltà o a una fine dell'umanità nella follia o nella disperazione di uno schianto.

CAPACITÀ DI CARICO DELLA TERRA E SVILUPPO SOSTENIBILE

Qual è la cosiddetta *capacità di carico della Terra*? In altre parole, quanti esseri umani possono venire sostenuti dal nostro pianeta? Per quanto tempo? Ed a quale livello, nella qualità della vita, rispetto all'attuale?

Si tratta di domande fondamentali a cui non è facile rispondere, perché riguardano limiti fisici imposti dalla natura che l'uomo non può cambiare e che non sono ancora ben compresi; e, soprattutto, scelte della nostra società che ancora devono essere compiute dalla generazione presente e da quelle future. Come osserva il demografo Antonio Golini, «in ogni momento storico la capacità di carico è denotata dal mutevole stato della tecnologia, dall'ambiente fisico, chimico e biologico, nonché dalle istituzioni sociali, economiche e politiche, dai livelli e dagli stili di vita delle persone e, infine, dai valori, dalle preferenze e dall'etica prevalenti». Non è quindi possibile individuare un fattore limitante per l'accrescimento numerico della popolazione umana – come l'acqua, il cibo o altro – perché numerosi altri possono intervenire prima che i presunti limiti entrino in gioco.

È certo, tuttavia, che la crescita demografica non potrà continuare indefinitamente: prima o poi dovrà arrestarsi a causa, se non altro, dei limiti posti dall'ambiente fisico, cioè dalla disponibilità di spazio vitale e dalla ridotta capacità della biosfera di sopportare l'aggressione portata dall'attività umana. Attendere però che questi vincoli intervengano a limitare l'entità della popolazione, significa accettare carestie, bassi livelli nella qualità della vita, disoccupazione, instabilità politica, devastazione del-

l'ambiente. Queste conseguenze sono ovviamente inaccettabili, perciò occorre cercare di frenare la crescita della popolazione e di modificare le attività umane in modo che il loro impatto ambientale sia meno violento. Se non si riuscirà in tempi relativamente brevi in tale impresa, la crescita demografica farà oltrepassare la capacità di carico di molti paesi, conducendoli, uno dopo l'altro, al degrado ambientale, al declino economico e alla disgregazione sociale.

L'analisi degli effetti di un impatto eccessivo sui sistemi naturali in termini di consumo delle risorse e di inquinamenti è ostacolata dall'interazione tra sistemi biologici, economici e politici, di cui è difficile comprendere gli intrecci. Risulta chiaro, comunque, da quei paesi più poveri del Terzo Mondo in cui la locale capacità di carico è già stata ampiamente superata, che a un certo punto i gravi stress ecologici e la diminuzione della disponibilità di alcuni generi di risorse fondamentali determinano importanti conseguenze politiche. Del resto, è abbastanza ovvio come i conflitti etnici abbiano maggiore probabilità di esplodere quando sussistono tensioni riguardo, ad esempio, al cibo e alla capacità di guadagnarsi da vivere. Pertanto, la perdita irreversibile di foreste e di suolo coltivabile, in tali paesi, può facilmente intensificare una crisi economica preesistente generando gravi instabilità sociali – quali conflitti etnici e migrazioni interne ed esterne – che alimenterebbero a loro volta, in un circolo vizioso, il declino ambientale e l'inasprimento della povertà.

L'insostenibilità, in altre parole, genera instabilità: la soglia delle instabilità varia da società a società, in funzione del loro livello di sviluppo tecnologico ed economico e di vari altri fattori; ma, oltre certi limiti, tutte le società sono destinate a una crisi. Il fatto che nei paesi sviluppati la società non abbia ancora subito collassi altrettanto drammatici non deve illudere. La capacità di carico dell'intera Terra viene oltrepassata allorché si supe-

rano i livelli di rifornimento sostenibili delle risorse essenziali e non rinnovabili o la capacità dell'ambiente di assorbire i nostri prodotti di scarto. Naturalmente, le interazioni umane con l'ambiente sono assai più complesse di quelle dei batteri in una capsula di Petri: la capacità del pianeta di sostentarci è determinata non solo dalle nostre necessità alimentari essenziali e dalla quantità di rifiuti prodotti, ma anche dai nostri livelli di consumo dell'intera gamma di risorse, dalle tecnologie scelte per le nostre più disparate attività e dal successo conseguito nel mobilitarci per affrontare le più gravi minacce.

Affinché non si superi la capacità di carico anche a livello planetario, è perciò necessario che vi sia uno *sviluppo sostenibile*, cioè uno sviluppo che, pur soddisfacendo i bisogni della generazioni presenti, lasci ai nostri figli un pianeta senza danni irreversibili all'intero ecosistema, ovvero non comprometta la possibilità anche per le generazioni future di soddisfare i propri bisogni. Noi, infatti, abbiamo il dovere di consegnare ai nostri discendenti un pianeta ricco di biodiversità, di risorse come l'aria pulita e l'acqua potabile, e un ambiente urbano non deteriorato. Tuttavia, non è facile definire la «sostenibilità», cioè gli esatti livelli di utilizzo delle risorse e la capacità ricettiva degli scarti oltre i quali non dovremmo mai giungere; ciò a causa della nostra ignoranza nel comprendere come funzionino la dinamica dei sistemi naturali, quali siano tutti gli effetti provocati dal nostro intervento e, infine, quali siano le capacità di reazione e di resilienza degli ecosistemi terrestri.

Un rozzo ma efficace indicatore pratico della sostenibilità, messo a punto negli anni Novanta, è dato dall'*impronta ecologica* di una popolazione (dal livello individuale, fino a quello di una città o di una nazione): essa è il totale della terra e del mare ecologicamente produttivi occupati esclusivamente per produrre tutte le risorse consumate e per assimilare i rifiuti generati dalla

popolazione in questione. L'impronta ecologica, in altre parole, ci dice di quanta «porzione di territorio» – sia esso costituito da campi coltivati, da foreste, da pascoli o da acqua – abbiamo bisogno per sostenere il nostro stile di vita, con i suoi consumi e i suoi inquinamenti.⁸ Dunque, questo indicatore ci permette di visualizzare in termini di superficie il nostro impatto sull'ecosistema terrestre, nonché di capire quanto la natura può supportarci sul lungo termine e di individuare i punti su cui intervenire per diminuire il nostro «peso» sull'ecosistema stesso.

Con la nostra estensione demografica, i nostri modelli di consumo e le nostre scelte tecnologiche, ci avviamo a superare la capacità di carico dell'intero pianeta Terra, come è illustrato dai gravi danni al capitale naturale derivanti dall'attività umana, quali l'accelerata estinzione di specie animali e vegetali, il riscaldamento del pianeta per l'aumento dell'effetto serra, l'assottigliamento della fascia di ozono, l'abbassamento delle falde idriche, la diminuzione delle aree agricole e delle risorse oceaniche, e così via. Purtroppo, non esiste una diffusa consapevolezza di quanto ci siamo già inoltrati su questa strada. Forse la crescita economica e tecnologica non stanno ancora rallentando, e i limiti ultimi dello sviluppo non sono ancora all'orizzonte. Ma oggi, per la prima volta, si stanno superando i livelli di rifornimento sostenibili di alcune risorse essenziali non rinnovabili e, se permanessero le tendenze attuali, con questa progressione negativa ci si avvierebbe al collasso degli ecosistemi. E, a un certo punto, si potrebbe arrivare al collasso globale.

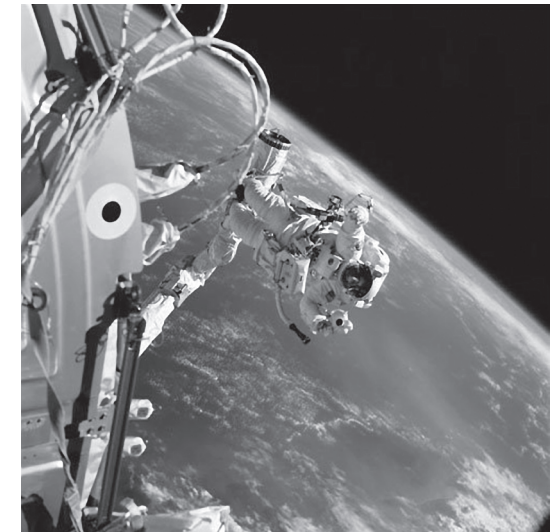
Per comprendere perché l'impatto negativo dell'uomo sull'ambiente – ovvero sugli ecosistemi, o sistemi «naturali» – stia diventando assai grande, si può usare una semplice equazione formulata per la prima volta negli anni Settanta dall'ecologo Paul Ehrlich e dal tecnologo John P. Holdren:

$$I = P \times C \times T$$

Il termine che rappresenta l'impatto (I) è proporzionale alla popolazione (P), al consumo pro-capite di beni e servizi (C), e alla tecnologia disponibile (T). Pertanto questa formula, per quanto rozza e perfezionabile,⁹ evidenzia che l'ambiente, a livello di biosfera e localmente, è messo in pericolo sia da una grossa crescita numerica della popolazione – come quella in corso nel Sud economico del mondo – sia dal consumo smodato e sempre crescente di energia e di materie prime, come quello in atto soprattutto nel Nord. Si noti, invece, che il parametro T , anch'esso in crescita su scala planetaria, non ha una valenza soltanto negativa, bensì esprime pure il potenziale che scienza, tecnologia e società hanno (quasi esclusivamente al Nord, ricco e industrializzato) nel mitigare l'entità del danno ambientale prodotto da ogni dato livello di P e di C .

Dalla precedente equazione, discendono alcune importanti conseguenze. Innanzitutto, il fatto che sia il Nord che il Sud sono responsabili dell'impatto umano sulla natura, e la necessità di agire su entrambi i fattori P e C per cercare di limitare tale impatto. Inoltre, se ogni abitante dei paesi in via di sviluppo volesse raggiungere un livello di vita analogo a quello occidentale, i consumi diretti e indiretti in termini di materie prime, energia e altre risorse (e i relativi inquinamenti) sarebbero tali da mettere in crisi l'intero ecosistema terrestre: perciò, non solo l'attuale livello di vita dei paesi sviluppati non è sostenibile, ma tanto meno è estendibile ai paesi in via di sviluppo. Infine, l'impatto ambientale dipende soprattutto dalle nostre scelte, anche perché, grazie alle conquiste tecnologiche, a differenza degli animali siamo in grado di eliminare continuamente – entro certi limiti – i vincoli posti dalla disponibilità di risorse, sebbene non siamo altrettanto bravi e impegnati nel ridurre l'inquinamento e gli altri danni ecologici prodotti dalle nostre attività.

Figura 4.5. L'esplorazione dello spazio è una delle maggiori conquiste della nostra civiltà tecnologica. Nella foto, un astronauta durante una «passeggiata spaziale» fuori dallo Shuttle.



IL RUOLO DEL PROGRESSO SCIENTIFICO-TECNOLOGICO

Se ci troviamo sempre più sull'orlo di una possibile crisi planetaria, se il mondo deve affrontare una quantità di problemi e di rischi mai presentatisi in passato e se il futuro della nostra civiltà tecnologica appare oggi quanto mai incerto, la colpa non è della scienza o della *tecnologia* – ovvero dell'applicazione pratica delle scoperte scientifiche – bensì dell'utilizzo assolutamente dissennato che noi uomini facciamo di entrambe.

Le conquiste della scienza moderna sono, a dir poco, affascinanti. Negli ultimi due secoli, l'uomo ha imparato molte più cose che in tutto il resto della lunga storia sua e della civiltà. Così, ora sappiamo sulle nostre origini e sull'universo che ci circonda ciò che appena i nostri bisnonni neppure si sarebbero sognati di chiedere. Il progresso scientifico, insomma, ha aperto nuovi straordinari orizzonti nella comprensione rigorosa del mondo in cui siamo nati e viviamo; per di più, numerose applicazioni pratiche di scoperte scientifiche sono risultate utili a scopi di pace e

benefici. Oggi, però, il sempre più precario stato di salute del nostro pianeta e la spada di Damocle di un olocausto nucleare e di altri disastri su scala planetaria suscitano, soprattutto in alcune menti illuminate, una notevole preoccupazione. Le applicazioni belliche della scienza, inoltre, si rivelano sempre più potenti e micidiali, mentre proliferano le tecnologie civili sviluppate a scopo di lucro senza curarsi troppo dei loro possibili effetti sull'uomo o sull'ambiente.

Dunque, la scienza sembra dover salire sul banco degli imputati, accusata di essere la responsabile prima dell'attuale stato di degrado e del minaccioso futuro che si va prospettando per il nostro mondo e per la nostra civiltà. Eppure, diversamente da quanto si potrebbe pensare, la scienza non è, di per sé, né buona né cattiva. Gli ordigni nucleari, certi tipi di manipolazioni genetiche, l'eccessivo inquinamento e tanti altri mali moderni che ci affliggono o ci preoccupano, non sono colpa dello sviluppo scientifico, bensì la conseguenza di errate scelte di fondo, che hanno privilegiato le applicazioni pratiche della scienza a fini distruttivi oppure meramente speculativi rispetto alle applicazioni a fin di bene. In altre parole, la scienza pura permette piano piano di decifrare e leggere il misterioso «libro della natura», mentre il potere politico e quello economico spesso finanziano – più o meno consapevolmente – lo studio di applicazioni tecnologiche delle scoperte scientifiche che finiscono poi per bruciare le pagine di questo meraviglioso libro.

Nel mondo attuale, inoltre, si sta verificando una pericolosa discrasia tra il crescente potere della tecnologia e la nostra saggezza nell'utilizzarla: una separazione profonda tra la vera scienza, da un lato, e la cultura dei politici, degli intellettuali e del grande pubblico, dall'altro.¹⁰ La notevole e diffusa disinformazione scientifica che caratterizza la nostra epoca ha una delle sue cause nella crescente difficoltà oggettiva dei mass-media nel divulgare – e del pubblico nel comprendere – i problemi del nostro tempo, sempre più complessi, numerosi e interdisciplinari.

La scuola e l'università, poi, hanno una responsabilità ancora maggiore, poiché spesso non forniscono ai futuri giornalisti, insegnanti, decisori pubblici e privati, o semplici cittadini, gli strumenti culturali che un'adeguata comprensione del mondo moderno richiederebbe. Tutto ciò ha da tempo innescato una spirale perversa di ignoranza sulle questioni davvero importanti per il futuro dell'uomo: un'ignoranza sempre più mascherata dall'abbondanza di informazioni disponibili o ricevute, sotto forma di bombardamento mediatico, da televisioni, radio e giornali.

In effetti, il maggiore difetto dell'attuale cultura dell'informazione, fondata sulla quantità dei dati invece che sulla loro qualità, non è certo la disponibilità di notizie o di contenuti scientifici, quanto la mancanza di una loro contestualizzazione e di un loro approfondimento. Comunicare la scienza, difatti, oggi non significa più solo divulgarla, ma anche sottoporla a un esame critico non banale, collocando i nuovi risultati in una dimensione storica e cercando di prevederne con rigore i molteplici aspetti ambientali, culturali e sociali. Probabilmente, un qualsiasi quotidiano che ci capita oggi fra le mani contiene una quantità di informazione così grande da essere paragonabile a quella che l'uomo medio del Diciottesimo secolo riceveva nel corso della sua intera vita. Siamo ormai soggetti ogni giorno a un vero e proprio diluvio di informazione, operato da migliaia di messaggi pubblicitari, oltre che da telefonate, e-mail, messaggi SMS e semplici lettere. Tuttavia, il risultato di questo bombardamento mediatico è solo quello di annebbiare la nostra mente, rendendo più difficile il concentrarsi su ciò che conta davvero.¹¹

Il progressivo divario tra la scienza moderna, con le sue applicazioni costruttive o distruttive, e la cultura, rende di fatto quasi analfabeti l'opinione pubblica e la classe dirigente – i decisori politici provengono, di solito, dalla popolazione generale – rispetto ai gravi problemi da affrontare. Una delle conseguenze è che il grado di organizzazione politica e sociale non va certo di pari passo con l'accelerazione dei tempi decisionali e il

vertiginoso aumento delle questioni scottanti. A ciò si accompagna la crescente difficoltà e lentezza con cui l'etica, e con essa la legge che devono farla rispettare, seguono il passo sempre più rapido dell'innovazione tecnologica. E questo è particolarmente grave, perché il progresso etico è probabilmente l'unico rimedio possibile al danno prodotto dal progresso scientifico e tecnico. Non soltanto aumenta sempre più il divario tra la tecnologia ed i bisogni dell'umanità, ma nuovi interrogativi morali, che emergono soprattutto nel campo delle biotecnologie e dell'ingegneria genetica, sfidano ogni giorno la saggezza degli «addetti ai lavori», come legislatori, filosofi e religiosi.

Ad aggravare le cose, vi è il fatto che la percezione del cosiddetto *rischio tecnologico* – cioè di un pericolo derivante da una data tecnologia, quantificato in termini di possibili effetti e di probabilità dell'evento – non sfugge solo al grande pubblico, ma spesso anche agli specialisti. Vi è una grossa difficoltà, da parte dell'uomo, nel dare il giusto peso a certi tipi di rischi, in particolare a quelli mai accaduti ma che, tuttavia,



Figura 4.6. Il rischio per i campi elettromagnetici dei cellulari riceve dai media e dal pubblico un'attenzione spropositata rispetto a un pericolo ben più concreto e micidiale, rappresentato dal fumo di sigaretta, che in Italia provoca 25.000 morti l'anno.

potrebbero materializzarsi, provocando effetti catastrofici: da una guerra termonucleare globale a una pandemia con virus modificati geneticamente, dalla collisione di un asteroide a un effetto serra inarrestabile. Erroneamente, il non essersi mai verificato prima lascia intendere, soprattutto nel pubblico, una bassa probabilità che tali minacce si avverino. Inoltre, la probabilità di questi eventi può essere, in genere, valutata solo con esperienze limitate o con giudizi teorici: in pratica, ci si limita ad aspettare. Ma questo non significa che la probabilità sia zero! Pertanto, come vi sono alcuni rischi relativamente futili che ci impauriscono senza ragione,¹² così esistono dei grossi rischi reali che non ci preoccupano, o quasi.

Concentrare l'attenzione sui rischi poco gravi, inoltre, ci distrae da quelli veramente seri. Ciò non sarebbe un grosso problema se le nostre tecnologie non fossero sempre più violente, di potenza enorme e di portata planetaria, e se ai progressi tecnici avesse fatto riscontro un aumento equivalente della nostra capacità di controllo e di previsione. Al contrario, mai come oggi, l'uomo procede in maniera empirica e improvvisata, senza la guida e il sostegno di una teoria che gli consenta di prevedere gli effetti a lunga scadenza delle sue scoperte scientifiche e delle relative applicazioni tecnologiche. Lo vediamo, in particolare, nei settori dell'ingegneria genetica e delle reti informatiche, dove, grazie anche alle pressanti esigenze del mercato, si è ormai quasi completamente rovesciato il tradizionale rapporto di subordinazione del «fare» rispetto al «dire». Sempre più, infatti, si agisce e si sperimentano le novità sugli esseri viventi e sui sistemi sociali prima di capire e discutere a fondo cosa si stia realmente facendo. E questa completa e diffusa mancanza di lungimiranza può, alla lunga, creare problemi oggi imprevedibili.

D'altra parte, un eventuale ricorso sempre più massiccio alla tecnologia per risolvere i problemi generati da un cattivo impiego della tecnologia stessa (quali l'aumento dell'effetto serra o la messa a punto di armi genetiche) non avrebbe affatto un esito

scontato. Innanzitutto, perché la tecnologia non è certo infallibile, come dimostrano i disastri non preventivati alle navette *Challenger* e *Columbia*, o il fallimento dei sofisticati sistemi di *intelligence* e di intercettazione elettronica americani, incapaci di sventare gli attentati dell'11 settembre. Inoltre, sarà sempre più difficile trovare una soluzione ai gravi problemi globali futuri agendo dopo che essi si saranno presentati, semplicemente perché allora potrebbe essere ormai troppo tardi: occorre quindi anticipare tali problemi, più che porvi rimedio, e agire all'origine, cioè sui veri meccanismi che contribuiscono a crearli. Infine, ogni nuova tecnologia – perfino quella al servizio pacifico dell'uomo, come gli aerei di linea – nella misura in cui accresce il potere di alcuni individui, oppure della nostra specie sulla natura, rappresenta di per sé una minaccia.

LA LUNGA «LISTA DEI DESIDERI» DEGLI OTTIMISTI

Poiché non si può, naturalmente, tornare indietro nel tempo né impedire progressi futuri nel campo della scienza e, soprattutto, della tecnologia – il cui potere di trasformazione del mondo è, a questo punto, innegabile – occorre almeno assicurarsi che i cambiamenti avvengano nelle direzioni giuste. Ecco una delle tante possibili «ricette» in tal senso che illustra le proposte essenziali avanzate da vari esperti, in particolare da quelli *ottimisti* riguardo al futuro.

Innanzitutto, occorre cambiare le priorità applicative della scienza da parte del potere politico e porre gli studi tecnologici sotto un severo controllo etico. Infatti, ora più che mai, non è lecito fare tutto ciò che rientra nelle potenzialità della scienza. La modalità di applicazione delle nuove scoperte nel campo, ad esempio, delle biotecnologie e dell'ingegneria genetica, deve essere vagliata e controllata da apposite commissioni di bioetica composte da esperti provenienti dal settore scientifico, filosofico

e religioso. In pratica, ciò significa evitare la ricerca di consensi più ampi che rappresentino l'intera società ed operare sempre in tempi piuttosto rapidi, in modo da dare al legislatore la possibilità di intervenire subito per regolamentare la materia. In conclusione, la scienza pura non deve essere soggetta ad alcuna restrizione, e deve godere di completa libertà ed autonomia. Invece, la decisione e il controllo delle singole applicazioni scientifiche da sviluppare e finanziare nei laboratori pubblici e privati devono essere affidati a commissioni di esperti, i quali devono operare in stretta collaborazione con il potere politico.

Probabilmente, i tempi stanno diventando maturi perché anche gli scienziati partecipino attivamente alla gestione politica della nostra società sempre più complessa, e non siano tenuti a parte – quasi emarginati – dalle decisioni importanti, come ancora avviene ora. Lo scienziato, infatti, pur nella sua inevitabile specializzazione, conosce molto più degli altri sia la natura dei numerosi problemi globali emergenti sia, soprattutto, quali sono i possibili rischi (e benefici) associati a determinate tecnologie di oggi e di domani. D'altra parte, l'azione di governo deve essere preceduta proprio da un'attenta analisi dei rischi, che vanno «calcolati», e non temuti quando qualcuno li annuncia con tono drammatico. Pertanto, gli scienziati non devono solo aiutare a rispondere a problemi di etica od a risolvere un'emergenza, ma vanno coinvolti nelle decisioni politiche che concernono gli indirizzi da dare allo sviluppo tecnologico affinché esso avvenga nella direzione giusta, cioè verso fini umani e morali. Ma, per far questo, bisogna riuscire ad abbattere quella barriera insormontabile che separa i mondi della scienza e della politica.

Una condizione necessaria perché tutto ciò si verifichi è la presenza di una classe politica illuminata e di un'opinione pubblica meglio informata, in modo che tutti possano comprendere più a fondo il mondo in cui viviamo e capirne i complessi meccanismi, e poter così prendere decisioni a ragion veduta. In una società democratica, ciò significa informare in modo più attento

e documentato l'opinione pubblica e la classe dirigente attraverso una nuova generazione di comunicatori scientifici.¹³ Significa una scuola e un'università in grado di colmare le gravi carenze attuali e di coltivare un dialogo tra discipline scientifiche e umanistiche, in modo da innalzare il livello culturale medio della popolazione e fornire le competenze di base ai decisori di domani. Significa una televisione pubblica assai più attenta a tali esigenze educative e culturali. Per i cittadini, infine, significa potersi rendere conto dei pericoli e poter esercitare liberamente il diritto al dissenso, nonché le opportune pressioni sui governi affinché operino indipendentemente dalle logiche del mercato-padrone e da qualsiasi altro interesse di parte.

In ogni caso, per gli ottimisti più estremi le preoccupanti tendenze globali in atto non condurranno a terribili disastri, perché verranno modificate dal potere della tecnologia. Secondo la scuola di pensiero dei «tecno-ottimisti», infatti, idee innovative e progresso tecnico consentiranno di moderare gli effetti negativi prodotti dalla crescita di scala dell'attività umana e di porre rimedio sia ai vari problemi odierni sia a quelli che si presenteranno in futuro. Per esempio, le biotecnologie produrranno raccolti maggiori di quelli attuali e che richiederanno meno fertilizzanti e pesticidi; la microelettronica e le nanotecnologie permetteranno di sviluppare macchine e processi che comporteranno minor impiego di materiali e quindi meno rifiuti; l'ingegneria ambientale su larga scala consentirà di affrontare l'aumento dell'effetto serra e altri problemi ecologici; nuovi sensori e apparati elettronici controlleranno le nostre comunicazioni e le aree sensibili contrastando la piaga del terrorismo; e così via. Oltretutto, senza la tecnologia, le nostre *chance* di evitare le peggiori catastrofi dovute al progresso tecnico sarebbero nulle.

Ma la tecnologia da sola non basta. Il progresso non può limitarsi all'aspetto tecnico, bensì deve estendersi al governo della società, e dunque anche alla politica e all'economia. Alcuni, invece, si aspettano dalla scienza un grande controllo della natura,

e dalla tecnologia una soluzione dei problemi delle privazioni e dei conflitti, misurando il progresso umano dal grado di sviluppo tecnologico. Con i nuovi servizi offerti dalle tecnologie, in effetti, possiamo migliorare la vita in quasi ogni suo aspetto; tuttavia, per migliorare la condizione delle grandi masse della popolazione mondiale, in particolare di quel miliardo di diseredati che sopravvivono con meno di un dollaro al giorno, ben poco è stato finora fatto. In realtà, è assai illusorio pensare che il progresso tecnologico del Nord ricco e industrializzato possa aiutare «per osmosi», senza una precisa volontà da parte dei nostri governi, i paesi del Sud del mondo nel combattere la povertà, la malattia e la mancanza di istruzione. D'altra parte, esportare salute, ricchezza e tecnologia nel mondo povero e favorirne lo sviluppo non è più solo un obbligo morale e umanitario.

La principale minaccia alla pace e alla stabilità mondiale e alla stessa sopravvivenza dell'uomo sulla Terra, infatti, non viene tanto dagli eserciti quanto, piuttosto, dagli enormi squilibri economici esistenti, dalla povertà e dal deterioramento del capitale naturale della biosfera. Si deve, quindi, passare dal concetto di sicurezza nazionale armata del Novecento, ormai obsoleto, a quello di «sicurezza umana comune», che non può essere garantita dalla forza militare. Occorre una nuova lista delle priorità da parte dei governi per tutelare, più che l'«ordine», la sicurezza sociale – umana, appunto – dei cittadini del pianeta, agendo su tutti i fattori politici, socio-economici ed ecologici che la mettono in pericolo. Le armi non sono più sufficienti all'Occidente per difendere i propri interessi, perché la sicurezza è un bene comune globale e indivisibile: o viene garantita a tutti, o non c'è per nessuno! La natura globale dei problemi, d'altra parte, richiede un'ampia cooperazione internazionale, e la creazione di nuove istituzioni in vista di un vero «governo mondiale» in grado di rendere credibili e operative le sue decisioni.¹⁴

L'idea di un governo sovranazionale di tutta l'umanità – suggerita da geni del passato come Immanuel Kant ed Albert

Einstein e da grandi intellettuali del presente come il compianto Norberto Bobbio e Richard Falk – sembra la soluzione più razionale per cercare di risolvere i problemi globali del pianeta in campo politico, economico, sociale ed ambientale, i quali non possono trovare una soluzione accettabile nella normale dialettica tra gli stati nazionali. In questo modo, sarà forse finalmente possibile mettere in pratica il concetto di sviluppo sostenibile, sia nella sua componente di sostenibilità ecologica sia nella componente di sviluppo più equilibrato tra Nord ricco e Sud povero del pianeta. Oggi, entrambi questi tipi di sviluppo sono sempre più un imperativo per la sicurezza mondiale: la povertà, il degrado ambientale e la disperazione distruggono i popoli, le società, le nazioni, e questo trio maledetto destabilizza paesi e regioni intere. Solo un'ecoeconomia diffusa, la cooperazione e il trasferimento di tecnologie, di *know-how* e di risorse finanziarie ai paesi in via di sviluppo possono far uscire il pianeta dalla situazione attuale.

Occorre, dunque, che i popoli, i governi, le imprese e le organizzazioni non governative, individualmente e in partenariato, operino in favore dei pressanti bisogni dell'umanità. Nel frattempo, in attesa di iniziative su scala globale, lo sviluppo sostenibile deve iniziare nei nostri paesi occidentali, con una politica affidabile e una buona amministrazione a tutti i livelli, secondo il noto slogan «pensa globalmente, agisci localmente». Anche scrivere una circostanziata lettera di protesta a un politico o a un amministratore locale, in fondo, può avere un riscontro pratico ben maggiore del partecipare, ad esempio, a una protesta in piazza a livello nazionale. Naturalmente una cittadinanza, per quanto attiva e innovativa, può controllare e incidere soltanto su piccoli aspetti del cambiamento. Ma, imparando a gestire dapprima «a casa nostra» la difficile transizione della società verso un mondo più affollato, più inquinato, più conflittuale e più diversificato, si potrà forse, prima o poi, cooperare proficuamente con altri paesi in uno sforzo a livello

mondiale, e parlare davvero di sviluppo sostenibile per l'uomo, per la popolazione e per l'ambiente.

LE COLPE DEL MODELLO DI SVILUPPO OCCIDENTALE

Benché i più ottimisti si illudano, i gravi problemi odierni e le future sfide globali sono, per i pessimisti, assai difficili da affrontare con successo. Tali emergenze, infatti, sono dovute all'impiego sbagliato della tecnologia, ma questo è, a sua volta, legato all'attuale *modello di sviluppo*: il cosiddetto «sistema liberal-capitalistico» che domina incontrastato nel mondo occidentale e in gran parte del pianeta, per il quale tutto è subordinato alla crescita economica e al profitto.

Nel sistema liberal-capitalistico, fondato su un intenso sfruttamento delle risorse naturali e sostenuto da una forte spinta sulla gente al consumismo e allo spreco, lo sviluppo avviene attraverso i meccanismi economici del libero mercato. I motori di tale sviluppo sono la ricerca del massimo guadagno nel più breve tempo possibile e il perseguimento dell'interesse economico individuale. In pratica, la ricchezza monetaria creata dallo sfruttamento delle risorse planetarie è investita nell'estrazione di nuove risorse che servono per creare nuovi beni, i quali vanno



Figura 4.7. La nostra società ci spinge al consumo e allo spreco. Spesso i prodotti sono gettati via e sostituiti da nuovi anche quando potrebbero ancora essere utilizzati.

ad alimentare nuovi consumi e a generare nuova ricchezza, in un ciclo senza fine. Tuttavia, l'accelerazione esponenziale impressa a questa perversa spirale dallo sviluppo tecnologico – il quale facilita gli scambi delle merci, dei lavoratori e del denaro, e permette di accedere a nuovi mercati e a nuove risorse – rischia di strangolare il mondo: all'Europa occidentale, al Nord America e al Giappone, infatti, per sostenere tale modello di sviluppo, non sono più sufficienti le risorse interne; così, questi paesi sfruttano ormai pesantemente quelle presenti nel resto del pianeta.

Il sistema liberal-capitalistico basato sul lavoro salariato – o, più semplicemente, il capitalismo – è diventato, nel corso del Diciannovesimo secolo, il modo di produzione dominante su quelli precedenti, più o meno fondati su un'economia di auto-sussistenza: dapprima ciò è accaduto in Europa occidentale e negli Stati Uniti, con il capitalismo imprenditoriale derivante dalla Rivoluzione industriale, ma poi si è verificato anche altrove grazie a forme di dominio dirette – come la colonizzazione – o indirette, quali l'omogeneizzazione e l'assoggettamento culturale esercitato, in maniera più o meno subdola, attraverso i mezzi di comunicazione di massa. In effetti, il mondo occidentale, di cui anche il nostro paese fa parte, ha esportato e diffuso quasi ovunque, grazie alla televisione, al cinema, ai giornali e alla radio, il *pensiero unico*: una metafora piuttosto felice per definire questa cultura soverchiante, uniformante e priva di alternativa basata sul consumo sfrenato e fine a se stesso, sullo sperpero delle risorse planetarie che preclude lo sviluppo di vaste aree povere del Terzo Mondo, sulla logica mercantile di sfruttamento sociale e ambientale.

Il pensiero unico, insomma, è il pensiero quasi incontrastato di un mondo unificato, livellato, in cui regna il mercato. È l'imposizione, con ogni mezzo possibile, di un unico modello economico-culturale di tipo occidentale, che non tiene conto dell'estrema varietà dell'ambiente e dei contesti culturali locali, e che inoltre vede i limiti allo sviluppo posti dalla natura come

qualcosa da abbattere piuttosto che da rispettare. In questo modello di sviluppo, il denaro comanda, mentre tutto il resto conta assai poco. L'uomo rappresenta solo un ingranaggio insignificante, un'appendice del sistema produttivo, ed è al tempo stesso sempre più ridotto a una condizione animalesca di consumatore. Praticamente, tutto il tempo a disposizione delle persone è dedicato alla produzione o al consumo. L'individuo, umiliato e schiacciato nell'omologazione culturale, insegue egoisticamente beni e denaro, consumi e sciocchezze in una visione mai sazia della vita, nel tentativo di soddisfare non i bisogni essenziali ma quelli altrimenti inesistenti creati dalla pubblicità, accrescendo così il suo livello nella scala sociale e il suo senso di potere.

La società liberal-capitalista, individualista e materialista, privilegia le cose rispetto all'uomo, alimentando una cultura in cui la ricchezza e il possesso vengono considerati dei valori. I modelli da imitare nella vita non sono il saggio, l'onesto o il colto, bensì il ricco, l'imprenditore di successo, l'uomo dello spettacolo. In tale visione del mondo, l'aggressività rappresenta una virtù, mentre la mitezza e la non violenza sono considerati dei non-valori, in quanto sinonimo di astensione dalla lotta, di sconfitta. I bambini vengono indotti a credere che la più alta vocazione umana, l'unico scopo dell'esistenza, sia quello di fare soldi, in modo da poter guidare automobili di grossa cilindrata, acquistare seconde case o mangiare cibi di lusso importati dai paesi poveri. Gli oggetti superflui diventano sempre più uno *status symbol*, un simbolo del benessere raggiunto, e permettono a chiunque di sentirsi «qualcuno». Se non hai un telefono cellulare con gli ultimi *optional*, una macchina con l'aria condizionata e un impianto stereofonico, un vestito – o almeno un profumo – di marca, sei considerato un poveraccio, un infelice, un reietto.

Il male forse peggiore dell'economia capitalista è che, per mantenere inalterato il tenore di vita della popolazione, una nazione necessita di una crescita continua del PIL, o prodotto interno lordo, abbastanza notevole: intorno al 2-3 percento l'anno.

Altrimenti, il paese entra in una fase di recessione economica,¹⁵ che si traduce in un aumento della disoccupazione, con tutte le conseguenze che ne derivano. Ma questo ritmo di crescita della produzione, raggiunto favorendo in ogni modo gli sprechi e creando sempre nuovi desideri nella gente, comporta inevitabilmente un aumento degli inquinamenti e del consumo di risorse non rinnovabili. Pertanto, alla lunga è insostenibile, e rischia di portare il mondo verso la catastrofe ecologica e sociale.¹⁶ A maggior ragione, l'idea di imporre il sistema liberal-capitalistico, devastante in termini sociali e ambientali, a quei cinque miliardi di persone dei paesi in via di sviluppo che ancora non lo hanno adottato, sarebbe improponibile: la biosfera non potrebbe mai tollerare sei miliardi di persone che vivono e consumano ai livelli dell'Occidente ricco e industrializzato.

Ma il bello è che, nonostante l'aumento del PIL, in genere il reddito di noi occidentali (e degli abitanti i paesi più poveri) non va affatto aumentando. Questo perché l'aumento della ricchezza globale va ad accrescere gli sprechi e, soprattutto, va a vantaggio solo di una piccolissima percentuale della popolazione. Per di più, il divario di ricchezza assoluta e procapite tra paesi ricchi (USA, Europa, Giappone) e Paesi poveri (Africa, America del Sud, Asia) – nonché tra persone ricche e persone povere all'interno di uno stesso paese – va sempre crescendo. I 200 uomini più ricchi della Terra, che possiedono complessivamente 1.000 miliardi di euro, hanno di gran lunga più soldi di quegli 1,2 miliardi di persone nel mondo che vivono con meno di un euro al giorno, e che rappresentano la parte più povera del pianeta. Il quinto della popolazione mondiale dei paesi più ricchi controlla l'86 per cento del prodotto mondiale lordo. E negli Stati Uniti il più ricco 1 per cento della popolazione detiene il 33 per cento della ricchezza totale nazionale. Disuguaglianze enormi tra paesi ricchi e poveri si registrano anche per quanto riguarda la vita media, i tassi di occupazione ed alfabetizzazione, e numerosi altri indici di «povertà umana».



Figura 4.8. La nostra società individualista ed egoista tende a non avere alcun rapporto con i poveri o, tutt'al più, ad avere un rapporto paternalista, come un'elemosina elargita dall'alto, anziché cercare di instaurare un rapporto fraterno.

L'altro grande male del sistema liberal-capitalistico, oltre alla necessità di una crescita continua, è l'emarginazione della parte di popolazione meno competitiva. Il benessere globalizzato, infatti, lascia indietro interi popoli e persone che non ce la fanno. Nel Terzo Mondo, in particolare, sopravvivono le masse dei poveri, dei disperati, degli affamati, di coloro che vivono in guerra da anni. Ma anche non lontano da noi, nei nostri ricchi paesi occidentali, gli esclusi tenuti ai margini dell'opulenza e del benessere dalla società sono sempre più numerosi: dai barboni agli zingari, dai malati di AIDS agli anziani, dagli extracomunitari ai disoccupati. Inoltre, il modello culturale dominante considera l'indifferenza, il pregiudizio, la divisione, l'emarginazione e l'esclusione la «normalità»; mentre il non accettare le sue regole, l'esprimere il proprio disappunto per il mondo che ci circonda, è ritenuto un atteggiamento anormale o addirittura folle. Chiunque sia in qualche modo in antitesi con l'efficienza fredda

e cieca di un sistema economico che ha il solo ricavo come valore guida infastidisce e viene perciò rifiutato, allontanato.

Lo sviluppo economico prodotto dal liberal-capitalismo, infine, non è certo sinonimo di progresso nemmeno per quanto riguarda il benessere, la felicità e la qualità della vita nel mondo occidentale. Rispetto a un secolo, fa abbiamo un'alimentazione più ricca, una migliore salute, una vita più lunga, ma al tempo stesso più vuota, senza qualità, senza spessore. Fino a un certo punto, l'aumento dei consumi ha coinciso con un aumento della qualità della vita; tuttavia, oggi il consumismo imposto dal modello culturale dominante ci conduce verso l'insignificante, il sensazionale, il volgare. I lettori DVD, le automobili con il navigatore satellitare, i videofonini, le speculazioni in borsa, non migliorano in nulla la nostra vita perché, soddisfatti i bisogni essenziali e istintivi (fame, sete, vestiti, abitazione, sicurezza sanitaria e sociale), gli altri sono frutto solo degli stimoli ambientali cui siamo sottoposti. E purtroppo non riusciamo più a liberarci dei bisogni inesistenti, della certezza di non saper trasformare in felicità tutto quest'affanno, quest'ansia, questa fatica di apparire, di accumulare, di avere troppo e quindi niente.

LA GLOBALIZZAZIONE E LE SUE CONSEGUENZE NEGATIVE

I danni sociali e ambientali prodotti, a livello planetario, dal sistema liberal-capitalistico sono stati ulteriormente accentuati dalla *globalizzazione*, ovvero dalla nascita di un mercato globale unico. Essa rappresenta senza dubbio uno dei fenomeni principali della nostra epoca, dovuto soprattutto allo sviluppo dei mezzi di comunicazione avutosi dagli anni Novanta in poi, il quale non ha investito solo la sfera economica, ma anche quella culturale, politica e tecnologica.

La cosiddetta «mondializzazione», cioè la crescente interdipendenza delle economie e dei mercati alla base dell'odierna glo-

balizzazione, è stata resa possibile e accelerata sempre più dalla rivoluzione dei trasporti e delle telecomunicazioni, che dall'inizio degli anni Ottanta ha moltiplicato in maniera esponenziale il volume dei flussi commerciali e finanziari tra un paese e l'altro, nonché le distanze percorse dalle merci e le velocità con le quali esse viaggiano. In precedenza, negli anni Sessanta e Settanta, la mondializzazione aveva assunto la forma della *multinazionalizzazione*: le grandi aziende si spingono fuori dal paese d'origine costruendo i loro primi stabilimenti all'estero o moltiplicandone il numero. Il decentramento produttivo, infatti, consente alle imprese di lucrare ingenti profitti installando i propri impianti laddove la manodopera costa poco, la pressione fiscale è modesta e le organizzazioni sindacali sono deboli o assenti: cioè nei paesi in via di sviluppo o in quelli del Terzo Mondo, ricchi di materie prime. È così che sono nate gigantesche multinazionali, il cui centro è allo stesso tempo ovunque e in nessun posto.

Adidas, Bayer, Benetton, Coca-Cola, Ibm, Ikea, McDonald's, Microsoft, Monsanto, Nestlé, Nike, Nokia e Reebok sono solo alcune delle multinazionali più note al grande pubblico la cui ascesa è stata favorita dalla mondializzazione. Il carattere sovranazionale di tali imprese, che hanno sede tutte nel Nord economico – soprattutto negli Stati Uniti, in Europa e in Giappone – permette loro di agire con grande libertà, visto che non esistono istituzioni mondiali in grado di regolamentarne in modo efficace la condotta. In seguito, si sono andate moltiplicando sul pianeta le iperconcentrazioni e le fusioni di gruppi minori, dando vita a imprese mondiali sempre più grosse, che spesso si «mascherano» dietro un gran numero di marchi diversi. I salari sono, ove possibile, infimi, come i meno di due euro al giorno pagati ai lavoratori indonesiani che fabbricano le scarpe Nike, vendute a 125 euro. Nel 1970 c'erano nel mondo 7.000 multinazionali, ma nel 1992 erano già salite a 37.000. Alcune di esse hanno un fatturato di gran lunga superiore a quello di moltissimi paesi del Terzo Mondo, e a volte pure del Secondo mondo.

Con gli anni Novanta, la mondializzazione riveste la forma particolare della *globalizzazione*: sempre più aziende si organizzano in vaste reti in tutto il pianeta grazie alle nuove tecnologie telematiche, che trasformano radicalmente il sistema economico-produttivo. I nuovi media inviluppano il mondo in una rete comunicativa e finanziaria globale che opera in tempo reale; e Internet, la grande rete mondiale, costituisce il risultato principale di questa rivoluzione. I flussi riguardano ora, più che i materiali, i servizi: dati informatici, telecomunicazioni, messaggi audiovisivi, posta elettronica. Il *World Wide Web*, le reti satellitari e la telefonia mobile rendono il mondo sempre più interconnesso, regalando all'uomo l'ebbrezza dell'ubiquità e l'illusione di quel «villaggio globale» immaginato negli anni Sessanta dal sociologo Marshall McLuhan. I nuovi mezzi di comunicazione di massa, attraverso la pubblicità ormai dilagante e pervasiva, influenzano sempre più i consumi, i gusti, le abitudini e le credenze dei cittadini, diffondendo – specie fra i giovani – le parole, i vestiti e gli stili di vita comuni ai loro coetanei dell'intero pianeta.

Oggi, infatti, i mezzi di comunicazione di massa rappresentano una sorta di «lubrificante» nel sistema del consumo di massa, manipolando e condizionando in maniera sottile le nostre scelte e i nostri comportamenti. Uno degli obiettivi delle grandi aziende è quello di farci vivere tutti allo stesso modo, felici per quello che compriamo. Ed, a omogeneizzare fortemente i gusti, i valori e gli stili di vita delle persone, contribuisce in modo particolare – attraverso la pubblicità e la *fiction* – la televisione, essendo il tempo di ascolto medio settimanale di un telespettatore di alcune decine di ore. Negli Stati Uniti, perfino la campagna per le ultime presidenziali è stata fatta in tv, e pure in Italia gli eventi politici che contano sono tutti televisivi, mentre i giornali fanno loro da cassa di risonanza. Tuttavia, i programmi televisivi odierni sono sempre più caratterizzati da ignoranza, carattere commerciale e mediocrità. Tale scadi-

mento si osserva anche nella tv di Stato, che invece dovrebbe essere di qualità e richiamare a quei valori sociali, etici e morali di cui si sta perdendo traccia. La nostra, insomma, è ormai una cultura globale, ma subalterna a quella del video.

La globalizzazione è quindi pure un fenomeno culturale. Anzi, l'«americanizzazione» del mondo è proprio l'aspetto più visibile del processo di sviluppo capitalistico scaturito dalla stessa Europa. Già a partire dagli anni Venti, il modello di vita d'Oltreoceano si impone ovunque attraverso gli schermi cinematografici. L'America è il paese della libertà, del successo, del *melting pot* e del buon livello di vita. Il sogno americano, fatto anche di velocità, gioventù e competitività, seduce e affascina insieme al suo modello di società. Entrambi trionfano, imposti dai grandi mezzi di comunicazione – all'inizio il cinema e la radio, poi soprattutto la televisione – nella «cultura di massa», che si tratti di musica, di sport, di telefilm, di moda o altro. Ciò rinforza l'omogeneizzazione di tutti i cittadini europei, ma distrugge le nostre peculiarità nazionali in favore del modello americano. L'aspirazione ad uniformarsi all'*american way of life* accomuna in modo indifferenziato gli uomini di ogni parte del mondo. La vita che si conduce nel piccolo villaggio dell'Asia o dell'Africa, in confronto a quella occidentale, appare insulsa e primitiva.

Oltre alla Coca-cola e ai blue-jeans, anche musica, film, notizie e vari prodotti di largo consumo venduti nei mega-centri commerciali vengono dagli Stati Uniti. Sono americane, inoltre, le catene di fast-food McDonald's e di videonoleggio Blockbusters, i canali televisivi MTV e CNN, i parchi e i negozi Disney. La *world culture*, o cultura globale, da essi veicolata si è estesa dal Nord America non solo nei paesi europei ma anche in quelli in via di sviluppo, rendendo l'inglese la lingua ufficiale dell'umanità. Ovviamente, il fatto che milioni di persone, dall'Europa all'Asia, dall'Africa al Sud America, passivamente ascoltino la stessa musica, guardino gli stessi film, mangino gli stessi hamburger e si divertano con gli stessi giochi, non ha effetti positivi,

se non per le multinazionali che traggono profitto dalla massima diffusione dei loro prodotti, o meglio, dei loro marchi e stili di vita. Le immagini dei *videoclip* musicali o delle *soap-opera*, parimenti, offrono al consumatore l'illusione di un contatto con le culture più lontane; ma tutto ciò non ha, in verità, molto a che fare con il villaggio globale auspicato da McLuhan!

La globalizzazione, dunque, non è affatto pienamente benigna nelle sue conseguenze, e anzi è responsabile diretta, sebbene in modo non palese, del peggioramento delle condizioni di vita ovunque. Non solo il pensiero occidentale livella e schiaccia le culture e le tradizioni che incontra, distruggendo i legami umani e disgregando il tessuto sociale; ma, soprattutto, il processo di globalizzazione dei mercati esalta gli squilibri socioeconomici all'interno dei nostri paesi e tra aree forti e aree deboli, tra Nord e Sud del mondo. Queste crescenti disuguaglianze nei redditi e nell'accesso a risorse e tecnologie, insieme ai rischi ecologici a cui sono collegate, e al processo di occidentalizzazione o americanizzazione del mondo, rappresentano il problema più serio per la società mondiale. Attraverso la globalizzazione, il capitalismo ha dunque creato un pianeta all'apparenza più unito, ma in realtà più diviso e meno governabile, perché l'intensificazione dei flussi commerciali e degli investimenti economici è andata



Figura 4.9. La protesta in occasione del «Millennium Round» dell'Organizzazione mondiale del commercio (WTO), tenutosi nel 1999 a Seattle, città della Boeing e della Microsoft.

a vantaggio dei paesi più industrializzati, mentre ha escluso in gran parte i rimanenti, a partire dai paesi del Terzo Mondo.

Così, per battersi contro la globalizzazione e i suoi effetti negativi è nato da alcuni anni il movimento antiglobalizzazione, o *no-global*, una sorta di movimento transnazionale della società civile senza sponsor politici e né di destra né di sinistra, che porta avanti una sua battaglia per vivere meglio. Si tratta del cosiddetto *popolo di Seattle*, dal nome della città americana che nel 1999, durante una conferenza dell'Organizzazione mondiale del commercio, ha visto esplodere nelle piazze una manifestazione di protesta dei *no-global*: un evento che ha rappresentato il battesimo mediatico di un movimento preesistente il quale opera sin dai primi anni Novanta. In Italia, le principali reti attive nella lotta contro le multinazionali sono due: il Genoa Social Forum e Lilliput. La prima conta oltre 600 sigle tra associazioni e movimenti *no-global*, tra cui le «tute bianche» – il cui leader è Luca Casarini – che rappresentano l'avanguardia di combattimento e il simbolo mediatico del movimento *no-global* italiano. La seconda è un *network* che riunisce anch'esso centinaia di sigle, dagli ambientalisti del WWF ai terzomondisti di Mani tese.

Il libro *No logo*, scritto dalla giornalista canadese Naomi Klein, rappresenta una specie di manifesto politico del popolo di Seattle. Il movimento *no-global*, deluso dai partiti «verdi» e dai gruppi ambientalisti tradizionali che hanno rapporti privilegiati con l'*establishment*, si batte contro il capitalismo sfrenato, contro la dittatura dei marchi e della pubblicità, contro lo sfruttamento del lavoro minorile asiatico da parte di molte famose multinazionali, contro i cibi geneticamente modificati, e così via. In questa lotta dei *no-global*, il boicottaggio rappresenta il passo immediatamente successivo all'attività di controinformazione da loro stessi esercitata, e rappresenta un innalzamento del livello dello scontro. Ma si tratta di una lotta senza speranza. Le poche campagne di boicottaggio diretto contro le multinazionali – dal picchettaggio dei punti di vendita al topicida nascosto nei

prodotti alimentari di marca – non hanno mai messo in pericolo i profitti di queste aziende.¹⁷ Oltretutto, gli organismi e le strutture economiche transnazionali e i governi che le supportano sono troppo sfuggenti o indefinibili per poter essere colpiti.

LE TRAPPOLE DEL SISTEMA LIBERAL-CAPITALISTICO

Il modello liberal-capitalistico non solo crea i problemi sociali e ambientali fin qui illustrati, ma pare del tutto inadeguato a curare le emergenze e le crisi di valori da esso provocate. Tuttavia, questo sistema economico e culturale è, in pratica, l'unico che abbiamo a disposizione. Fino a pochi anni fa, i paesi capitalisti coesistevano con quelli a economia comunista; ma adesso, con l'eccezione della Corea del Nord, il sistema basato sul socialismo reale è scomparso ovunque.

Attualmente, l'intero mondo sviluppato è dominato dal sistema liberal-capitalistico, noto anche come *economia di mercato*, sebbene l'intervento dello stato sull'economia sia maggiore in alcuni paesi e minore in altri. Pure la Cina, un tempo comunista, si è convertita, in larghi settori dell'economia, al libero mercato, ed è ora in una fase di capitalismo selvaggio. La fine delle illusioni del socialismo reale, con lo sgretolarsi dell'impero sovietico a partire dal 1989, ha dunque segnato la fine del sogno di un mondo diverso. Il liberal-capitalismo non è, infatti, un modello di società soddisfacente, né, tanto meno, quello ideale, nonostante i suoi sostenitori vogliano far credere che non esiste e non ne esisterà mai un altro: cioè, che l'unica scelta possibile sia fra un mercato libero senza vincoli politici e un'economia statalizzata di tipo sovietico, che esercita un controllo soffocante su ogni attività, negando dunque la possibilità di una terza via. Oltretutto, l'influenza del modello capitalista sulla nostra percezione della realtà è talmente dominante da non consentire di immaginare modi alternativi di concepire il mondo.

Il comunismo, d'altra parte, è un'ideologia e un sistema di società che antepone il benessere collettivo a quello individuale, aspirando all'abolizione dei rapporti di sfruttamento e di dominazione. Ma il benessere è ancora collegato a una concezione materialista, anche se l'uomo è liberato dall'aspirazione competitiva attraverso l'organizzazione statale dell'economia. Non basta, perciò, soltanto cambiare il sistema, abolire il liberal-capitalismo e adottare un modello economico più sostenibile, per potere affrontare con successo le grandi sfide future. Occorre cambiare profondamente il modo in cui ci rapportiamo a noi stessi e al mondo che ci circonda: dobbiamo agire non più a favore dei nostri interessi personali a breve termine, bensì di quelli a lungo termine della società nel suo insieme. Ma dovremmo davvero cambiare tutti, perché la carità altruistica e autosacrificante di alcuni non può fare, per il bene comune, quello che invece potrebbe egoisticamente fare – se diventassimo uomini più illuminati e consapevoli – la stessa mano invisibile dell'interesse personale.

Tuttavia, non è realisticamente pensabile di cambiare gli uomini o il modello liberal-capitalistico: non tanto perché, almeno al momento, non esiste un mondo alternativo, ma perché il sistema capitalistico impedisce in maniera efficacissima la trasformazione propria e dei valori degli esseri umani in qualcosa di molto diverso dall'attuale. Infatti, mentre nel comunismo tutto il potere viene dato allo Stato, nel capitalismo liberale – il quale pretende che il commercio e l'economia di mercato coincidano, rispettivamente, col *libero* commercio e col *libero* mercato – il potere non viene dato allo Stato, bensì al mercato stesso; o, per meglio dire, alle multinazionali e ai grandi gruppi finanziari. Il libero mercato esercita il suo enorme ma subdolo potere persuasivo, coercitivo e di controllo sulle nostre menti attraverso i mezzi di comunicazione di massa: l'arma utilizzata a tale scopo è la pubblicità, che armonizza i comportamenti, detta gli acquisti, seleziona gli oggetti e, soprattutto, crea nell'uomo sempre

nuovi desideri che non lo rendono felice se li appaga ma lo rendono terribilmente infelice se non è in grado di soddisfarli.

Inoltre, per la prima volta nell'era moderna, i privati hanno nelle mani una ricchezza incredibile: è oggi possibile, per singoli individui come Bill Gates, George Soros o Ted Turner, oppure per *corporations* quali la Citibank o la Exxon, possedere tanto denaro quanto uno Stato. Pertanto, gli uomini più ricchi riescono a condurre campagne presidenziali o a produrre effetti rilevanti su di esse con i loro mezzi finanziari. Le aziende multinazionali, dal canto loro, dispongono di un'enorme capacità di influenza finanziaria e politica sul complesso dei dirigenti pubblici e privati, tale da soffocare ogni loro resistenza: il mondo, in pratica, è nelle mani di pochi grandi gruppi sovranazionali a maggioranza statunitense.¹⁸ I mercati internazionali, infine, hanno eroso la sovranità e l'identità politica degli Stati, sempre più incapaci di agire unilateralmente sui problemi economici e di raggiungere i propri obiettivi. Il mercato, insomma, è l'idolo che, con mano invisibile, condiziona le sorti dei governi e dei popoli. È il primato dell'economia sulla politica: le esigenze del mercato-padrone, e non quelle della democrazia, hanno la priorità assoluta.

I governi e gli uomini politici sono dunque sempre più schiacciati, sopraffatti, se non addirittura annichiliti, dal potere delle multinazionali, alcune delle quali hanno già in pugno intere nazioni, specie nell'area ex-sovietica e nel Sud America,¹⁹ grazie al fatto che il sistema capitalista protegge i dirigenti docili che lasciano sfruttare il proprio paese dai grandi gruppi statunitensi o sovranazionali. Non è certo un caso che, nella maggior parte dei paesi democratici, i livelli di fiducia nei partiti e nei politici siano negli ultimi anni crollati e siano, di conseguenza, diminuite le persone che si recano a votare. I cittadini, stanchi della corruzione, della cattiva gestione, della troppa burocrazia, del carico fiscale che non si traduce in servizi migliori, sono sempre più disillusi nei confronti della democrazia e dei leader politici. Questi ultimi sono accusati di perseguire più o meno sfacciata-

mente i propri interessi personali anziché di avere a cuore quelli degli elettori, e vengono considerati i maggiori responsabili della crisi globale di una società che non offre né sicurezza né solidarietà, e in cui si moltiplicano le frustrazioni di ogni genere.

Per gli imprenditori e i gruppi aziendali più ricchi e potenti, comunque, il potere politico è solo il terzo potere, dopo quello economico e quello dell'informazione: quando si possiedono i primi due, infatti, la conquista del terzo diventa poco più che una formalità, come dimostrato nel nostro paese da Silvio Berlusconi. Il controllo pubblico o privato del sistema dei media, e in particolare della televisione, che influisce in modo rilevante sia sulle percezioni del pubblico sia sulle decisioni politiche, è essenziale. Esso permette di manipolare l'informazione creando una realtà fittizia e aumentando enormemente il consenso nei confronti di un partito o magari di un attacco militare, facendo una sorta di *videopolitica*. La televisione crea l'illusione di un accesso totale all'informazione planetaria: eppure, ore e ore di immagini possono non trasmettere nulla! Per un'azione di disinformazione efficace basta già la «selezione delle notizie»: una guerra nel Terzo Mondo, o un altro avvenimento non trasmesso dai circuiti televisivi internazionali, ad esempio, finisce di essere percepito come reale e quindi politicamente non esiste.

In effetti, nella nostra società, caratterizzata da un'«inflazione mediatica», aumentano le informazioni e le comunicazioni, ma ciò non significa che si diffonda più conoscenza o che si sappia meglio ciò che accade nel mondo. Anzi, occorre prendere coscienza del fatto che l'informazione giornalistica che ogni giorno ci giunge non riflette certo la vera realtà. Le fonti primarie di notizie – cioè le grandi agenzie di stampa internazionali presso cui si servono i media dell'intero pianeta e che decidono se un evento debba diventare notizia oppure vada ignorato – sono solo quattro e tutte occidentali: l'*Associated Press*, la *United Press International*, la *France Presse* e la *Reuter*. Perciò, il flusso informativo dal Nord al Sud è largamente dominante nel flusso

globale di notizie nel mondo, e vi è una forte omogeneizzazione dei messaggi: un giornale somiglia sempre più all'altro e tutti somigliano alla televisione, in una visione del mondo deformata dalla lente occidentale, e dunque parziale e arbitraria. Accade, così, che una sanguinosa guerra in Africa abbia, in un telegiornale italiano, meno spazio di un omicidio domestico.

Per di più, quel che leggiamo sui giornali o vediamo in TV è spesso falso, oppure frutto di un'abile distorsione o manipolazione della realtà. Ciò è possibile soprattutto a causa della dipendenza acritica del flusso informativo planetario da fonti governative, istituzionali o comunque ufficiali. Queste fonti applicano infatti abitualmente il cosiddetto *news management*, cioè la ge-



Figura 4.10. Le notizie prodotte dal news management delle «fonti ufficiali» sono diffuse dalle agenzie di stampa e riprese dai giornali e dalle televisioni: un meccanismo che uccide la diversità mediatica e le inchieste vecchio stile, obbligando a un giornalismo «di plastica» e fatto su misura.

stione delle notizie, o «ingegneria del consenso», che in politica si esplica nella fabbricazione a volte di sana pianta di eventi informativi, di episodi o di frasi per influenzare l'elettore, degradato dal rango di cittadino a quello di consumatore. L'obiettivo dell'ingegneria del consenso è di manipolare a proprio favore la realtà non attraverso le tecniche classiche della censura o della propaganda, bensì in modo ben più sottile, attraverso i meccanismi dell'informazione giornalistica: cioè producendo fatti, costruendo eventi visibili capaci di far notizia a prescindere dalla loro sostanza vera o falsa. Così oggi, con un apparato pseudo-informativo adeguato, un personaggio politico o un Governo può riuscire a plasmare l'opinione pubblica in misura notevole.²⁰

Ormai sta finendo l'era dell'«uomo che legge», o uomo di Gutenberg – la generazione formatasi quasi interamente sui libri – e sta cominciando l'era dell'«uomo che guarda», o *uomo di McLuhan*, cresciuta soprattutto davanti alla TV e al computer. Ma proprio per l'enorme potere che oggi detiene chi padroneggia lo strumento televisivo viviamo, purtroppo, in una democrazia finta, apparente: viviamo in una «videocrazia», in cui la pubblica opinione si forma non più in base a un'elaborazione individuale, bensì in base a ciò che viene mostrato e detto alla televisione. Lo spettatore che videvede è in un certo senso decerebrato, perché rispetto al lettore non è costretto a pensare, a rielaborare le informazioni assunte leggendo per trasformarle in concetti astratti e in immagini. D'altronde, capire richiede parecchio tempo e riflessione, il che è sicuramente incompatibile con i brevi tempi televisivi. Le TV generalista e di nicchia offrono, poi, una tale abbondanza di informazione da compromettere comunque la nostra capacità critica, rendendoci spettatori passivi, incapaci di diventare attori, di agire e di fare concretamente.

IL FUTURO DELLA NOSTRA CIVILTÀ OCCIDENTALE

Un attento studio delle civiltà esistite in passato sulla Terra mostra che la maggior parte di quelle rimaste indietro nello sviluppo tecnologico sono state, prima o poi, inghiottite, addomesticate o, semplicemente, assimilate. Perciò, apparentemente, per immaginare il futuro dell'umanità, è necessario considerare solo quello della civiltà tecnologicamente più avanzata – in pratica, della civiltà occidentale – perché è quella che ha il maggiore controllo del pianeta e dei suoi abitanti.

Oggi l'America del Nord, l'Europa occidentale e il Sud-Est asiatico sono i tre grandi poli che dominano l'economia e la tecnologia mondiali.²¹ Nessun impero, neppure in altre epoche, ha mai avuto tanto potere quanto questa triade. Tuttavia, nel presente momento storico, nessun singolo paese domina il nostro pianeta (e, con gli *shuttle*, pure lo spazio circumterrestre) come gli Stati Uniti, la cui supremazia non è solo economico-finanziaria e tecnologica, ma anche culturale, politica e militare. Dopo il crollo per implosione dell'impero sovietico e la fine della Guerra fredda a cavallo tra gli anni Ottanta e Novanta, gli Stati Uniti sono rimasti la sola grande potenza sulla scena internazionale. Al mondo «bipolare», tagliato in due, fondato sull'equilibrio del terrore fra le due superpotenze nucleari, USA e URSS, si è sostituito il mondo unipolare dominato dalla schiacciante e impressionante potenza militare americana, uscita vittoriosa dallo scontro imbelite con l'Unione Sovietica. Ma il crollo del comunismo, diversamente da quanto all'epoca si immaginò, non ha contribuito a rendere il pianeta più facilmente governabile.

Si è infatti assistito, in questi anni, alla comparsa di numerose instabilità locali, sfociate qua e là in conflitti civili, in attentati terroristici, in guerre aperte. Tutti fenomeni favoriti dalla fine dell'era dei due blocchi contrapposti, dei due imperi che gestivano altrettante alleanze militari: ad Est, il Patto di Varsavia, guidato dall'ex-Unione Sovietica; e, in Occidente, l'alleanza atlantica, ovvero la NATO, a *leadership* americana. La fine della Guerra fredda, che ha segnato la fine della pace gestita politi-

camente tra Est e Ovest e tra Nord e Sud, aveva fatto sperare in un «nuovo ordine mondiale», incentrato in teoria sull'ONU e, in pratica, basato sul braccio armato degli Stati Uniti. Al vecchio ordine mondiale garantito da USA e URSS, si è invece sostituita, in un primo tempo, la più totale incertezza, legata soprattutto ai rapidi cambiamenti e dissesti nell'Europa centrale e dell'Est. In seguito, la superpotenza occidentale rappresentata dagli Stati Uniti, per la prima volta senza rivali, ha cercato di ristabilire un equilibrio mondiale ricorrendo, quando riteneva il caso, a operazioni di «polizia internazionale» od a vere e proprie guerre.

Il trionfo del liberismo e della democrazia sulle due ideologie rivelatesi fallimentari del fascismo e del comunismo non ha condotto al noioso scenario di «fine della storia» (così detto poiché l'essenza stessa della Storia, la dialettica, finirebbe per venir meno) prospettato dal politologo Francis Fukuyama all'indomani della dissoluzione dei blocchi contrapposti figli degli accordi di Yalta. La Storia, al contrario, sembra proprio continuare. L'attentato dell'11 settembre, difatti, pare profilare all'orizzonte gli inquietanti scenari dello «scontro fra civiltà» previsti già nel 1993 da un altro politologo, Samuel Huntington, in opposizione alla tesi del suo ex-allievo Fukuyama. Secondo Huntington, oggi sono le *civilization* (o «civiltà», intese però nel senso di visione religiosa e culturale del mondo), ed i rapporti che intercorrono fra queste, a costituire il fulcro della Storia. In altre parole, lo scontro tradizionale tra Stati-nazione per motivi di carattere economico o ideologico starebbe lasciando il posto a uno scontro tra le varie *civilization* del pianeta: occidentale, islamica, confuciana, slavo-ortodossa, giapponese, induista, latino-americana e africana.

Gli scontri fra *civilization*, o entità culturali diverse, che sono già stati all'origine dei principali conflitti del passato, rappresenterebbero, dunque, la più grave minaccia futura alla pace mondiale: essi saranno, secondo Huntington, ben più profondi, laceranti e pericolosi dei conflitti tra classi sociali, tra ricchi e

poveri, tra Nord e Sud economico del mondo. I conflitti locali con le conseguenze più destabilizzanti per i paesi vicini e con la maggiore probabilità di degenerare in guerre globali avverranno soprattutto lungo le «linee di faglia» dello scacchiere internazionale, le zone di frattura tra le diverse culture del pianeta. Già oggi l'Occidente starebbe entrando in conflitto con le altre *civilization*, in particolare con l'Islam e con la Cina, che costituiscono le principali minacce di medio-lungo periodo per la nostra civiltà occidentale. Anzi, le due guerre del Golfo (*Desert Storm*, 1991, e *Iraqi Freedom*, 2003) e l'attacco all'Afghanistan (*Enduring Freedom*, 2002) seguito all'11 settembre, possono essere considerati i primi scontri, più o meno diretti, fra la civiltà occidentale, o giudaico-cristiana, e quella islamica, o musulmana.

Quello con l'Islam, considerato da molti osservatori il «nuovo nemico» dell'Occidente, è lo scontro tra due concezioni completamente diverse del mondo: quella cristiana e quella musulmana. Oggi il pianeta vive, di fatto, in una sorta di regime imperialista – l'Impero Nordamericano – che si realizza non tanto militarmente (poiché gli Stati Uniti sono uno Stato federale che non ha assimilato altri stati nella propria organizzazione territoriale e amministrativa) quanto, piuttosto, attraverso la nostra sudditanza acritica al modello economico e culturale dominante. Se infatti l'inglese e il dollaro sono rispettivamente la lingua e la moneta di questo impero, la cultura è l'espressione ubiqua e quotidiana del suo potere. Gli Stati Uniti si trovano ad esercitare nel mondo di oggi, e del prossimo domani, la stessa funzione che Roma esercitò nel suo impero. Dalla fine della Guerra fredda, l'America sfrutta la sua posizione di predominio per gestire le guerre che ritiene necessarie per tenere a bada i propri nemici, o comunque per perseguire i propri interessi nazionali e per cercare un nuovo equilibrio geopolitico mondiale.

L'antiamericanismo è quindi più che comprensibile, specie considerando che l'immagine dello «zio Sam» prepotente e arrogante circola anche fra noi occidentali, in Europa. Dunque,

non è un caso che, salvo alcune eccezioni esista un filo rosso che lega la quasi totalità delle organizzazioni terroristiche internazionali (soprattutto quelle a maggioranza religiosa islamica): l'odio per gli Stati Uniti d'America. Il collante di tutte queste organizzazioni a sfondo religioso è il concetto di *Jihad*, o «guerra santa» contro l'oppressione dell'America e dell'Occidente. Anzi, nel terrorismo fondamentalista di matrice islamica si assiste a un vero e proprio fanatismo religioso: si uccide e si muore in nome di Allah. E se già il gruppo di attentatori dell'11 settembre agiva in nome dell'Islam,²² dopo i recenti interventi militari americani in Afghanistan e in Iraq, entrambi paesi di religione musulmana, l'estremismo e il terrorismo islamico potrà fare in futuro maggiori proseliti, e colpire prima o poi con armi di distruzione di massa persone e simboli nazionali non solo negli Stati Uniti, ma anche nel Vecchio Continente, in Russia e in altri paesi.²³

Ogni «nostra» guerra alimenta un odio che può generarne molte altre, in una perversa spirale senza fine, specie da parte di quelle società non occidentali che tentano di difendersi sempre più strenuamente dai valori culturali imposti dall'Occidente.



Figura 4.11. Osama bin Laden, il miliardario saudita capo dell'organizzazione terroristica Al Qaeda ed ispiratore del terrorismo internazionale di matrice islamica. Quanti bin Laden potrebbero ancora nascere dall'odio contro gli Stati Uniti dopo la recente guerra contro l'Iraq?

Ora le piccole potenze regionali medio-orientali e gli estremisti islamici hanno imparato la lezione delle due guerre del Golfo e dell'11 settembre: non è possibile sfidare l'America e l'Occidente in una guerra convenzionale, ma è possibile infliggere loro dolori insopportabili attraverso atti di terrorismo. I devastanti attentati alle Torri gemelle e al Pentagono hanno dimostrato che è l'uomo l'«arma» più astuta e perversa, quella che uccide di più, e che il Golia-Occidente può venire colpito con le sue stesse armi dal Davide-fanatico. Gli Stati Uniti hanno da tempo accarezzato l'idea di uno scudo missilistico, di un «ombrello tecnologico» impenetrabile che li renda invulnerabili. Ma contro il terrorismo con armi di distruzione di massa, che potrebbe diventare la forma di guerra del futuro grazie al carattere «asimmetrico» di questo tipo di lotta, non c'è scudo tecnologico che tenga!

Sul più lungo termine, a preoccupare per il potenziale pericolo di una devastante Terza guerra mondiale, è soprattutto l'ascesa della Cina, un paese antidemocratico che cresce economicamente e demograficamente molto più velocemente dell'Occidente,²⁴ e nel giro di alcuni decenni o poco più potrebbe diventare una pericolosa superpotenza, un «concorrente alla pari» dell'America anche in campo militare. La Cina, che si starebbe avviando a diventare già in questo secolo uno dei centri del potere mondiale al quale si potrebbe forse affiancare l'India o una risorgente Russia, potrebbe costituire, a quel punto, una minaccia per il mondo occidentale ben maggiore di una piccola potenza criminale regionale o di un'organizzazione terroristica, per quanto ben foraggiata. A quell'epoca, il sistema internazionale conterà almeno sei grandi potenze appartenenti a ben cinque diverse *civilization*: Stati Uniti, Europa, Cina, Giappone, Russia e probabilmente India; e, oltre a questi paesi, importanti stati islamici eserciteranno, per posizione geografica, sviluppo demografico o risorse petrolifere, un ruolo assai influente sulla scena mondiale.

IL FUTURO DELLA CIVILTÀ TECNOLOGICA SULLA TERRA

Non vi è dubbio sul fatto che oggi la civiltà tecnologica terrestre si identifichi, in gran parte, con la nostra civiltà occidentale, caratterizzata da un'evoluzione rapidissima della scienza e della tecnica. Tuttavia, il futuro tecnologico a medio e a lungo termine della società mondiale non coincide necessariamente col futuro della civiltà occidentale: vari fattori potrebbero contribuire a porre, un giorno, termine ai finora 500 anni di supremazia occidentale e un'altra civiltà potrebbe diventare dominante; ma non per questo il progresso tecnologico è destinato ad arrestarsi.

La Storia, del resto, ci insegna che le civiltà nascono, si sviluppano e poi, dopo una fase di declino, muoiono, soppiantate da nuove civiltà e quindi da diversi modelli culturali, sociali ed economici. Dunque, sulla scala dei secoli o al massimo millenni

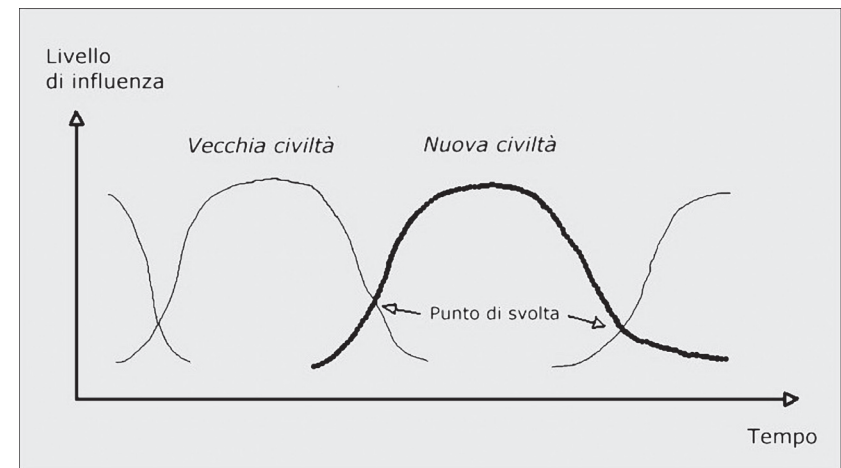


Figura 4.12. L'andamento tipico della crescita, dell'evoluzione e del declino di una civiltà. La vecchia civiltà, a una certa distanza di tempo dal suo massimo splendore e livello di influenza, è superata e infine schiacciata dall'ascesa della nuova civiltà.

– quella su cui, in passato, si sono verificate nascite e cadute di civiltà – anche la nostra civiltà occidentale potrebbe scomparire, oppure cambiare completamente. La transizione fra due grandi civiltà può essere accompagnata da conflitti epocali o da eventi di vasta portata, magari agevolati od ostacolati da fatti contingenti e preceduti da un periodo di forti contrasti e incertezze. Le potenziali cause del declino di una civiltà sono numerose: lotte politiche, guerre, carestie, pestilenze, catastrofi naturali, collassi economici, variazioni demografiche, eccetera. Il declino può essere graduale, su un arco di secoli, o rapido, nel corso di pochi anni. La civiltà occidentale, ad esempio, potrebbe declinare lentamente per il calo della sua popolazione²⁵ o, più repentinamente, per l'inadeguatezza del sistema liberal-capitalistico nel risolvere i problemi scaturiti dal suo stesso sviluppo.

L'Occidente è – e, probabilmente, resterà negli anni a venire – la *civilization* più potente, con un'indiscussa supremazia sulle altre. In passato, a partire dal Sedicesimo secolo, tre diverse potenze (la Spagna, la Francia e l'Inghilterra) hanno, a turno, dominato militarmente, economicamente e, in parte, culturalmente la Terra. Oggi sono gli Stati Uniti e l'Europa a dominare il pianeta: la fine del comunismo ha, infatti, significato l'occidentalizzazione del mondo e il dominio delle logiche di mercato. Il potere della civiltà occidentale in rapporto alle culture non occidentali e la sua influenza sul mondo si andrà, tuttavia, riducendo nel tempo. Sul medio termine, il declino dell'Occidente appare inevitabile, in quanto è dovuto al disastroso calo demografico in atto rispetto al Terzo Mondo e ai paesi in via di sviluppo: in particolare, la Cina, l'India e le nazioni musulmane. La Storia, del resto, ci insegna che è la demografia a determinare in ultima analisi la sorte delle civiltà, più dell'economia e delle guerre, le quali provocano aggiustamenti contingenti ma non modificano le tendenze generali derivanti dalle prime due.

Il declino della civiltà occidentale non implica necessariamente la fine della civiltà tecnologica, purché la civiltà suben-

trante abbia un livello intellettuale e scientifico tale da poter comprendere e assimilare i prodotti di una cultura ampia e profonda quale l'occidentale, e sia fondata, come la nostra, sull'impresa scientifica e sul trasferimento delle conoscenze fondamentali in campo tecnologico e industriale. L'antica Roma, ad esempio, fu grande militarmente, ma fu una ben povera presenza culturale. Man mano che avanzava, l'Impero romano spazzava via tutte le strutture in cui fioriva una produzione intellettuale, in particolare nel mondo ellenistico. È noto, d'altra parte, che gli antichi Greci avevano raggiunto l'acme della sapienza matematica e scientifica, poi ereditata e sviluppata dalla civiltà ellenica (quest'ultima è paragonabile – anche per il suo mercato, per così dire, «capitalistico» – all'odierna Europa). Ebbene, i Romani assimilarono l'arte e la cultura greca, tuttavia ben poco del patrimonio scientifico ellenistico destò l'attenzione del mondo occidentale di allora, andando irrimediabilmente perduto.

Chi invece vede un parallelo, oltre che tra Europa e Grecia, pure tra Stati Uniti e Roma antica – per il quale, fra l'altro, gli europei sarebbero più «civili» degli americani, come i Greci lo erano dei Romani – ha dalla sua il fatto che l'Impero romano è stato il primo esempio di globalizzazione nella Storia. In tutto l'Impero si parlava un'unica lingua, si usava una stessa moneta, ci si divertiva negli stessi anfiteatri, si combatteva con uno stesso esercito. Un ottimo sistema viario, inoltre, collegava Roma alle città più lontane, permettendo il commercio e, attraverso di esso, la progressiva assimilazione delle consuetudini romane da parte delle genti locali. L'Impero romano crolla dopo che la sua crisi economica, dovuta al fatto di non potersi espandere ulteriormente beneficiando della sua posizione di predominio, apre le porte all'arrivo dei barbari, che segnerà l'inizio della buia era del Medioevo. Ma la civiltà romana, in un certo senso, non è mai scomparsa completamente. Infatti l'alfabeto, la lingua, il sistema giuridico, l'architettura, l'arte e il nostro sistema di vita moderno rappresentano tutti l'evoluzione di quelli romani.

Il futuro a medio termine della civiltà tecnologica sulla Terra non è, quindi, legato all'esistenza della civiltà occidentale, se non per il fatto che la scomparsa della nostra civiltà potrebbe coincidere con un'autodistruzione dell'intera specie umana. Escludendo che nel frattempo vi siano eventi inattesi in tal senso, il futuro a breve termine – diciamo 20 o 30 anni – della civiltà tecnologica può essere descritto attraverso gli sviluppi prevedibili nei vari campi del sapere e della tecnica, tenendo comunque presente che, in tale lasso di tempo, vi saranno nuove scoperte e nasceranno nuove discipline. Sul più lungo termine, invece, ogni estrapolazione o modello valido oggi per il futuro più immediato diventerà obsoleto. Infatti, l'evoluzione sociale non è prevedibile: non esistono leggi della Storia che ne determineranno il futuro come ne hanno determinato il passato e, in una certa misura, essa procede attraverso il caso e le circostanze.²⁶ Pertanto, non è possibile dire se l'andamento odierno del livello di sviluppo della nostra civiltà tecnologica, caratterizzato da un progresso continuo o quasi continuo, possa proseguire a lungo o meno.

Il fatto certo è che la Storia non si ripete mai. La nostra civiltà occidentale potrebbe continuare a sopravvivere anche con una nuova civiltà dominante sotto una qualche forma di eredità culturale, un po' come è avvenuto per la civiltà romana. La Storia, tuttavia, ci mostra che la civiltà non avanza necessariamente in maniera continua, bensì conosce degli alti e dei bassi: basti pensare alla Grecia e a Roma, al Medioevo e al Rinascimento. Il futuro dell'umanità potrebbe, dunque, essere caratterizzato da una serie di nascite, decadenze e morti di civiltà successive a quella occidentale, che potrebbero rivelarsi per certi aspetti di molto superiori alla nostra, e per altri versi assai inferiori. La novità rispetto al passato, però, è che per la prima volta nella Storia l'umanità è oggi in grado di autodistruggersi: anche se in futuro eviteremo lo «scoppio» improvviso a causa di una guerra termonucleare globale, di un'epidemia naturale o



Figura 4.13. Il complesso megalitico di Stonehenge, in Inghilterra, risalente a 3.200 anni fa. Costruito dai locali popoli celtici, è una testimonianza della loro civiltà. Un giorno, la nostra civiltà tecnologica potrebbe regredire in poco tempo a tale stadio.

provocata dall'uomo o di altre grandi catastrofi, la nostra civiltà tecnologica potrebbe giungere alla sua fine attraverso strade meno violente e assai più contorte (almeno inizialmente), cioè con un lento «lamento».

È dunque impossibile prevedere l'andamento futuro della curva dello sviluppo tecnologico della civiltà umana o la durata di quest'ultima. Tra cento, mille o diecimila anni, la civiltà tecnologica potrebbe essere scomparsa, regredita a uno stadio primitivo irreversibile oppure essere giunta a un livello ben più alto di quello attuale. Inoltre, per quanto ne sappiamo, la durata di una civiltà tecnologica che abbia superato le inevitabili crisi che ne accompagnano lo sviluppo, ed evitato così l'autodistruzione, può essere notevole. In ogni caso, l'unica via di uscita da questo singolare «collo di bottiglia» evolutivo in cui l'umanità sta entrando, caratterizzato dalla possibilità praticamente mai presentatasi prima di una prematura estinzione della nostra specie,

pare costituito dalla colonizzazione ampia e permanente dello spazio interstellare vicino. Quest'impresa, che potrebbe venire un giorno realizzata anche da una civiltà diversa da quella occidentale, garantirebbe verosimilmente la sopravvivenza a lungo termine dell'uomo sulla Terra o nello spazio, poiché si creerebbero delle civiltà-isola del tutto indipendenti fra loro.

In ogni caso, come a questo punto dovrebbe risultare chiaro, le tendenze principali del nostro tempo, le «correnti» su grande scala che da almeno un paio di secoli rimodellano continuamente il nostro mondo, sono essenzialmente tre: la crescita *demografica*, la crescita *tecnologica* e la crescita *economica*. La prima l'abbiamo già ampiamente analizzata nel secondo capitolo, mentre la crescita tecnologica è stata oggetto del terzo capitolo e, insieme a quella economica, di parte del presente capitolo. Le tre correnti in questione sono strettamente legate fra loro da complessi cicli di azione e di retroazione che, nei limiti del possibile, abbiamo cercato di mettere fin qui in evidenza. Poiché la crescita demografica è stata provocata, in ultima analisi, dalla crescita tecnologica, e quest'ultima è principalmente una conseguenza della continua ricerca di una crescita economica su cui il sistema liberal-capitalistico si fonda, se dovessimo indicare la tendenza più importante e che più di ogni altra può determinare il nostro futuro – in assenza di cambiamenti rivoluzionari – diremmo che si tratta proprio della crescita economica.

5. IL FUTURO DELL'*HOMO SAPIENS*

*Il nostro pianeta è la culla dell'umanità,
ma non resterà la sua culla
per tutta la vita.*

(Konstantin Tsiolkovski)

Se l'uomo riuscirà anche in futuro a controllare i micidiali prodotti del suo ingegno, evitando così una rapida e prematura autodistruzione, e se riuscirà a limitare sia i danni ecologici che già oggi causa al pianeta, sia quelli che gli deriverebbero da un impatto con un grosso corpo extraterrestre, allora la nostra specie – *Homo sapiens* – difficilmente potrà estinguersi: semmai, si trasformerà continuamente e assai velocemente, magari espandendosi nello spazio o in colonie spaziali artificiali, sperimentando così cammini evolutivi differenti. In effetti, se nel terzo capitolo abbiamo preso in considerazione lo scenario più pessimistico possibile – quello di un'improvvisa e rapida fine dell'attuale civiltà tecnologica – nelle pagine che seguono analizzeremo l'ipotesi di gran lunga più ottimistica relativa al nostro futuro: cioè che riusciremo a sopravvivere sia come specie sia come civiltà tecnologica, continuando, anzi, a sviluppare la nostra tecnologia fino ai suoi limiti estremi. Quali sarebbero, in questo caso, le conseguenze per l'umanità?

UNA FASE DI TRANSIZIONE: IL TRANSUMANESIMO

È difficile immaginare cosa avverrà all'uomo e alla nostra civiltà tecnologica nel Ventunesimo secolo e, a maggior ragione, nei secoli e nei millenni successivi. Ma difficilmente l'*Homo sapiens* rimarrà a lungo come è oggi. Noi uomini di inizio del Terzo millennio non rappresentiamo, probabilmente, il punto di arrivo dell'evoluzione, bensì solo un gradino intermedio tra i nostri antenati ominidi e una possibile civiltà spaziale di «superuomini» o di «supermacchine».

Una civiltà tecnologica poco più avanzata di quella attuale potrebbe infatti manipolare, arrestare o indirizzare la propria evoluzione biologica e probabilmente creare macchine più intelligenti degli umani, forse addirittura coscienti di sé e capaci di provare emozioni. Inoltre la nostra è l'unica specie, tra le miliardi e miliardi di quelle fino a oggi apparse sulla Terra, in grado di andare nello spazio, sia pure per rimanervi, ora, solo pochi giorni o mesi. Non sappiamo, dunque, se i nostri lontani discendenti terrestri o spaziali saranno robot superintelligenti o ibridi uomo-macchina, individui geneticamente modificati o tecnologicamente potenziati e digitalmente interconnessi. Tuttavia, che ci piaccia o no, il miglioramento artificiale degli esseri umani e la nascita di nuove specie biologiche o di «quasi-specie» non biologiche avverrà non appena il progresso delle conoscenze scientifiche lo renderà possibile. Paradossalmente, l'uomo, per rimanere uguale per migliaia o per milioni di anni, dovrebbe intervenire sull'evoluzione stabilizzandola, ovvero scegliendo un modello «stazionario» che mantenga la natura e la nostra specie come sono oggi.

Già in passato la tecnologia e, più in generale, la cultura si sono sostituite alla selezione naturale come fattore di adattamento all'ambiente e di evoluzione. Ma ora il peso della tecnologia è destinato a crescere enormemente, al punto che alcuni nostri discendenti potrebbero essere dei robot. Le protesi elettroniche

o meccaniche e la realtà virtuale contribuiranno a potenziare le capacità del corpo, del cervello e dei sensi. D'altra parte, la re-ingegnerizzazione del corpo e della mente e l'allungamento della vita sono direzioni in cui convergono diversi tipi di intervento sull'uomo, e lasciano presagire un intervento diretto nei processi dell'evoluzione umana. Nulla, infatti, impedisce di prevedere, in un futuro non lontano, la nascita di uomini geneticamente modificati: creature progettate per essere superiori all'uomo attuale, per migliorarne caratteristiche come l'intelligenza, la forza o la longevità. Oggi simili tecnologie o non sono disponibili o vengono usate soltanto a scopo reintegrativo, riparatorio; ma un domani potrebbero venire impiegate anche per migliorare le nostre prestazioni fisiche, intellettive e percettive.

Attualmente, ci troviamo in una fase di transizione fra il tradizionale mondo umano e il cosiddetto mondo «post-umano», o del dopo-umano, popolato da alcuni possibili e rivoluzionari discendenti dell'*Homo sapiens*: esseri biologici, elettromeccanici o ibridi con capacità fisiche e mentali superiori o nettamente



Figura 5.1. L'uomo di oggi vive probabilmente in un'epoca di transizione verso un possibile mondo «post-umano» ancora tutto da scoprire.

superiori alle nostre. Nessuno sa dire chi – o meglio, che cosa – sarà il post-uomo, perché quest'epoca non ci consente di formulare neppure delle ipotesi vagamente predittive a riguardo. Né, tanto meno, sappiamo se l'umanità avrà, nel frattempo, già colonizzato o iniziato a colonizzare il Sistema Solare e lo spazio interstellare. Ma di certo, nel mondo post-umano, scompariranno le tradizionali distinzioni tra uomo e macchina, tra naturale e artificiale, tra vivo e morto, tra organico e inorganico, tra presente e distante. L'odierna fase transizionale tra l'umano e il post-umano, nota come *transumanesimo*, terminerà – non prima di vari decenni, o forse secoli – o in maniera graduale o quando avverrà un gigantesco e rapido balzo evolutivo verso il post-uomo, rompendo la continuità tra quest'ultimo e il suo progenitore.

Il transumanesimo rappresenta oggi un vero e proprio movimento filosofico e culturale che mira a diventare, in tempi brevi, una rigorosa disciplina accademica e scientifica. I transumanisti rappresentano la punta più avanzata dei teorici della tecnoscienza tesa a portare l'uomo in quanto singolo, più che come società nel suo insieme, a un più elevato livello fisico, mentale e sociale, superando così i limiti imposti alla nostra specie dall'evoluzione biologica naturale. «Transumano» è così diventata una comune e ricorrente abbreviazione di «uomo transizionale»: in pratica, un essere senziente che costituisce il *trait d'union* fra l'uomo moderno e le futuribili creature post-umane vere e proprie. Come vedremo nel corso del capitolo, i metodi e le tecnologie indipendenti attraverso i quali i transumanisti sperano di raggiungere lo status di post-umani sono numerosi: le nanotecnologie avanzate, le biotecnologie, la robotica avanzata, l'intelligenza artificiale e le tecnologie legate alla colonizzazione dello spazio fino ai loro limiti estremi, come la crionica, l'ingegneria su scala galattica e la manipolazione dello spazio-tempo.

La gente crede che il compimento di certe imprese al momento quasi fantascientifiche richieda un tempo lunghissimo. In realtà, al contrario, nella nostra civiltà tecnologica la veloci-

tà dei cambiamenti è sempre più elevata, ed essi sono sempre più radicali, al punto che, già entro la fine del secolo, la curva del progresso scientifico e tecnico potrebbe diventare assai ripida, dando luogo a una «singolarità tecnologica». Il concetto di singolarità è stato introdotto nel saggio *The Coming Technological Singularity* (1993) dal matematico Vernor Vinge, per il quale i progressi nell'intelligenza artificiale, nell'integrazione uomo-computer e in altre forme di amplificazione dell'intelligenza porteranno, prima o poi, a un processo di retroazione positivo: macchine o esseri viventi più intelligenti, cioè, potranno progettare discendenti ancora più intelligenti in un tempo più breve dei progettisti umani odierni, e così via. Questo meccanismo di retroazione è considerato da Vinge abbastanza potente da trasformare il mondo, forse addirittura già in questo secolo, al di là della nostra immaginazione, rendendolo popolato da esseri «superintelligenti».

Al concetto di singolarità tecnologica è associata l'idea che sia impossibile predire ciò che accadrà dopo un tale evento, ovvero dopo una simile accelerazione esponenziale in grado di far compiere all'umano transizionale un vero e proprio balzo verso l'era del post-umanesimo. Infatti, il mondo postumano che si determinerebbe con l'emergere di un'intelligenza superiore a quella dell'*Homo sapiens* potrebbe esserci così alieno da impedirci quasi del tutto di immaginare come questo mondo davvero sarà. Naturalmente, ciò che è imprevedibile in un dato momento storico può diventare prevedibile man mano che ci si avvicina all'evento. Una persona vissuta nel 1950, ad esempio, poteva predire molte più cose del mondo attuale di quanto non potesse fare un genio del Rinascimento quale Leonardo, che, in ogni caso, poteva essere in proposito ben più preveggen- te di un uomo dell'età della pietra. Ma ora che siamo ancora lontani dalla singolarità tecnologica, il transumanesimo rappresenta un approccio nuovo e «necessario» alla predizione del futuro, sebbene quelle esplorate dai transumanisti siano possibilità estreme.

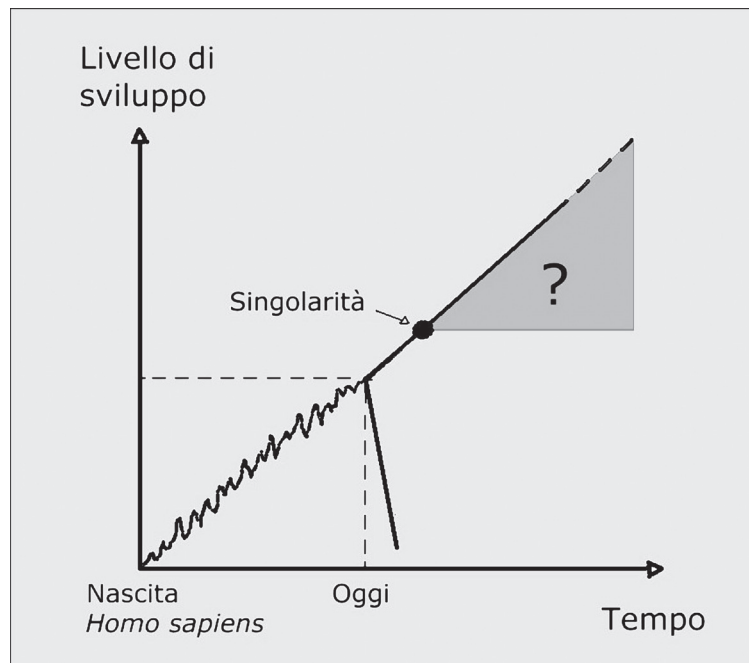


Figura 5.2. La singolarità tecnologica impedisce, in linea di principio, la previsione di ciò che accadrà dopo di essa (qui rappresentato con l'area più scura). Il movimento filosofico e culturale del transumanesimo da una parte, e la fantascienza dall'altra, possono illuminarci su questa sorta di «zona d'ombra» del nostro futuro.

In futuro molte cose potrebbero diventare possibili e la scienza si avvicinerà sempre più alla fantascienza. In effetti, alcune delle possibilità che vengono discusse dai transumanisti e che leggerete in questo capitolo sono quasi al limite dell'inverosimile, e possono suonare facilmente come fantascienza. Non è un caso. Molte delle idee del transumanesimo sono state, difatti, discusse e analizzate nell'ambito di questo genere letterario. Autori come Arthur C. Clarke, Isaac Asimov, Robert A. Heinlein, Stanislaw Lem e, in seguito, Bruce Sterling,

Greg Egan, Vernor Vinge e numerosi altri hanno esplorato vari aspetti del transumanesimo, e contribuito alla sua diffusione. La stessa parola «transumano» fu usata, per la prima volta, in un racconto di fantascienza da Damien Broderick nel 1976, sebbene con un significato alquanto diverso. La fantascienza, d'altra parte, ha il merito di aver mostrato i vantaggi ma anche i pericoli, ovvero le conseguenze negative che le tecnologie futuribili potrebbero avere sull'uomo e sulla società, presentandoci, ad esempio, esseri umani spinti verso l'estinzione oppure verso l'omologazione dalle macchine.¹

PUÒ NASCERE NATURALMENTE UNA NUOVA SPECIE?

Una delle questioni più interessanti riguardanti il futuro dell'uomo da cui partiremo in questo capitolo è la seguente: rimarremo per sempre un'unica specie, l'attuale *Homo sapiens*, o invece ci separeremo, prima o poi, in modo naturale in più specie, come succede normalmente nel mondo animale ed è accaduto in passato ai nostri lontani antenati? E se l'umanità non «specierà», nel suo insieme tenderà comunque a trasformarsi spontaneamente in una nuova specie?

In biologia – è bene ricordarlo – una specie si definisce come un gruppo di organismi simili interfertili, cioè che si possono accoppiare fra loro generando una prole feconda. Pertanto, specie diverse sono riproduttivamente isolate, non si possono incrociare fra loro: se i genitori appartengono a specie molto vicine ma differenti (come nel caso di una cavalla e un asino), la loro discendenza consisterà di organismi *ibridi* (i muli), di solito sterili e con vitalità ridotta, almeno nella seconda generazione. L'uomo è l'unica specie nel mondo vivente che, come vedremo, in linea di principio può speciare anche in modo diverso dagli animali: biologicamente, con un intervento genetico su se stesso, oppure non biologicamente, ad esempio

creando una specie artificiale di robot intelligenti in grado di autoreplicarsi. Tuttavia, in questo paragrafo ci interessa capire se, nel caso in cui l'uomo non intervenisse su se stesso, l'umanità potrebbe andare incontro a una speciazione «naturale», ovvero attraverso i normali meccanismi biologici che in natura agiscono sul lungo termine, e con cui ci siamo evoluti fino a diventare la specie attuale.

La questione è legittima, se non altro per il fatto che le *razze* geografiche – le quali vanno, a seconda degli autori, da cinque a oltre cinquanta: europea, africana, asiatica, eccetera – appaiono nettamente distinte fra loro, soprattutto per le loro caratteristiche fisiche superficiali, in modo altrettanto chiaro quanto le vere specie. Ma ciò non significa che si tratti di specie differenti: semmai, è corretto parlare di varietà o, al massimo, di sottospecie, anche se poi il grado di differenziazione al quale due gruppi vengono considerati come sottospecie distinte è in qualche modo arbitrario, imperfetto e difficile da stabilire. Le razze umane, semplicemente, non rappresentano vere e proprie specie perché, sebbene sembrino molto più diverse fra loro di quanto non lo siano le popolazioni che compongono una stessa razza, non sono affatto riproduttivamente isolate: se individui appartenenti a razze geograficamente lontane vivessero nella stessa area (e lo volessero) potrebbero accoppiarsi e generare. Poiché non si conoscono riduzioni di interfecundità tra le razze, la conclusione è banale: noi esseri umani apparteniamo tutti a una specie sola!

Per di più, le ricerche molecolari più recenti hanno rivelato che le varie razze sono strettamente affini fra loro, per cui persone che vivono in parti molto distanti del mondo possono sembrare assai diverse esteriormente, ma il loro patrimonio genetico è sostanzialmente lo stesso. Le varie differenze esteriori visibili – come il colore della pelle, degli occhi o dei capelli, la forma del cranio, delle labbra e del naso, nonché la statura – sono il risultato di differenze molto piccole nei

rispettivi genomi: in pratica, si è scoperto che le sequenze del DNA di due persone appartenenti a due razze qualsiasi coincidono al 99,9 per cento (il DNA della specie animale a noi più vicina geneticamente, lo scimpanzè, coincide col nostro solo per il 99,4 per cento).² Tutti gli esseri umani oggi presenti sul pianeta appartengono, dunque, alla stessa specie, sia perché sono interfertili sia perché il loro materiale genetico è praticamente identico. Le razze umane possono essere quindi, al più, considerate specie incipienti, che potrebbero un giorno diventare specie indipendenti se una separazione geografica fra loro venisse mantenuta abbastanza a lungo.

Infatti, nel mondo animale una nuova specie nasce solitamente per *speciazione*, ossia dalla divergenza genetica di due popolazioni riproduttivamente isolate, tramite un processo lungo e complesso. L'isolamento riproduttivo completo, o quasi, tra due popolazioni è un fattore molto importante del processo di speciazione in quanto i membri di una medesima specie hanno un patrimonio genetico comune e, dunque, l'isolamento determina la creazione di due *pool* genici separati, entro i quali l'evoluzione può seguire strade differenti. A causare la riduzione iniziale del flusso genico tra le due popolazioni – e innescare così il loro isolamento riproduttivo – sono tipicamente barriere di tipo geografico, fisiologico o comportamentale. Le due popolazioni con uno scambio genico ridotto possono diventare nel tempo sempre più diverse geneticamente acquisendo meccanismi isolanti specifici, differenti da caso a caso, che completeranno e renderanno irreversibile il loro isolamento riproduttivo.³ L'interfertilità, pertanto, spesso diminuisce gradualmente (prima di sparire del tutto) mentre le due popolazioni si vanno differenziando.

Le uniche barriere che si possono oggi erigere fra i membri della nostra specie causandone la speciazione sono quelle culturali. Tutti gli individui della società moderna, in effetti, evitano ogni incrocio con popolazioni umane meno evolute come possono essere, ad esempio, quelle africane dei pigmei oppure dei

watussi. Perciò, se queste popolazioni indigene numericamente assai ridotte non si estingueranno prima, potrebbero, un lontano giorno, dar vita a specie distinte che abitano il pianeta insieme alla nostra, come accadde per il nostro antenato *Homo sapiens* e per l'uomo di Neanderthal, una specie poi estintasi senza lasciare discendenti.⁴ Infatti, due popolazioni geneticamente isolate (o quasi) che occupano habitat diversi, anche se all'inizio identiche per composizione genica, devono adattarsi a condizioni ambientali differenti. Di conseguenza la comparsa, nel DNA di certi individui, di «mutazioni» casuali favorevoli a quel dato ambiente, può accrescerne il successo riproduttivo, premiando le caratteristiche associate a tali mutazioni – è il noto fenomeno della *selezione naturale* – e favorire così la speciazione.

A parte casi tipo quelli citati, la possibilità che la specie umana si divida in diverse specie non esiste affatto. Infatti, l'uomo occupa quasi l'intera superficie del pianeta, dall'Artide ai Tropici, ma tra le popolazioni delle diverse razze vi sono attualmente troppi contatti perché si possa avere una riduzione del flusso genico tale da condurre a una speciazione. Le diverse razze spesso si scambiano individui, sia grazie alle migrazioni sia, soprattutto, grazie al libero incrocio lungo i confini della loro distribuzione geografica. Ciò fa sì che non vi sia una specializzazione o un adattamento locale, poiché lo scambio genico all'interno della popolazione umana globale tende a controbilanciare l'effetto dell'adattamento genetico locale. Il flusso genico fra le diverse razze è comunque abbastanza limitato perché ciascuna possa sviluppare gli appariscenti tratti esteriori che la caratterizzano. Il risultato è che la popolazione globale conserva le caratteristiche generali di un'unica singola specie, ma mostra un cosiddetto «cline» razziale, cioè un gradiente genetico – ben visibile, ad esempio, nella fisionomia – passando da una zona del pianeta all'altra.

L'uomo, comunque, potrebbe speciare naturalmente se un giorno creasse nello spazio delle grandi colonie artificiali, to-

talmente indipendenti fra loro e dalla Terra dal punto di vista riproduttivo, grazie alle enormi distanze reciproche. Infatti, anche quando due popolazioni si separano andando a vivere in due ambienti simili, l'isolamento reciproco porta a una progressiva divergenza e, infine, alla speciazione, per due motivi. Il primo è che il corredo genetico di partenza delle due colonie è diverso, poiché ciascuna è fondata solo da un numero relativamente ristretto di individui, per cui conterrà soltanto una piccola porzione – e spesso un'insolita combinazione – dei geni della specie madre comune, caratterizzata da una popolazione molto più ampia. Il secondo motivo è che, in una popolazione piccola, è importante, per ragioni statistiche, il fenomeno della *deriva genetica*, che consiste in fluttuazioni casuali nel patrimonio genetico relative a tratti non aventi valore per la sopravvivenza e, dunque, non soggetti alla selezione naturale. È infatti proprio da geni diversi, sia pur di poco, che tendono a svilupparsi col tempo differenze diverse.



Figura 5.3. Le razze raffigurate in questo mosaico non sono specie incipienti: le differenze esteriori sono dovute semplicemente al diverso ambiente geografico dei vari popoli della Terra.

La nascita di una nuova specie può avvenire non solo attraverso la *speciazione divergente*, o cladogenesi, fin qui discussa, ma anche attraverso la graduale trasformazione di una specie nel suo insieme, fino a perdere i suoi principali connotati e a trasformarsi in un'altra specie che sostituisce la prima (*speciazione successionale*, o anagenesi). In questo particolare tipo di speciazione, che potrebbe in teoria provocare la «pseudoestinzione» – per distinguerla dall'estinzione vera e propria – dell'*Homo sapiens*, il principale fattore d'isolamento è costituito dal tempo, piuttosto che da barriere biologiche o spaziali. In effetti, una specie non deve essere vista come una realtà fissa e immutabile: la selezione naturale, le mutazioni, la deriva genetica e altri effetti casuali importanti nelle piccole popolazioni comportano delle modifiche del patrimonio genetico condiviso da una specie. Nel caso della specie umana odierna, però, la popolazione totale è così grande che il tasso di cambiamento prodotto da questi fenomeni di variazione genetica è talmente lento da diventare apprezzabile solo su tempi scala geologici.

IL DECLINO FISICO E INTELLETTIVO DELL'*HOMO SAPIENS*

Anche se non evolveremo naturalmente in una nuova specie perché non andremo nello spazio o perché la popolazione umana è troppo grande per sviluppare importanti cambiamenti nel proprio patrimonio genetico, ciò non significa che l'*Homo sapiens* non possa subire ugualmente un'evoluzione biologica significativa, sebbene su tempi dell'ordine dei millenni oppure più lunghi: numerosi autori, infatti, sostengono che si stia verificando un lento deterioramento del *pool* genetico umano, provocando un graduale declino fisico e intellettuale.

La selezione naturale, che nell'arco di pochi milioni di anni ha permesso l'evoluzione biologica dei nostri antichi antenati ominidi nell'uomo moderno, oggi non opera quasi più. Fino a

circa 200.000 anni fa, l'intelligenza e le prestazioni fisiche avevano un forte valore selettivo, cioè ogni loro aumento comportava una crescita della probabilità di un individuo di generare una prole sana e feconda, favorendo così la diffusione nella popolazione dei geni associati a una maggiore intelligenza o capacità fisica. Circa 150.000 anni fa, l'evoluzione biologica, o genetica, è sostanzialmente finita, ed è presumibile che le capacità fisiche e intellettive dei primi *Homo sapiens* – che in quell'epoca sostituirono popolazioni più primitive – fossero già quelle dell'uomo attuale. La fine dell'evoluzione biologica umana è coincisa con l'inizio di un'inarrestabile evoluzione culturale,⁵ che ha allontanato sempre più l'uomo dalla lotta quotidiana per la sopravvivenza e ha trasformato la selezione da naturale in «culturale»: la scelta del partner e la sopravvivenza dipendono ora da fattori socioculturali, più che fisici e intellettivi.

Pertanto, con il progredire dell'evoluzione culturale, che ha sostituito quella biologica, nell'uomo vi sono stati cambiamenti per tutte quelle caratteristiche fisiche non adattive, cioè relativamente poco importanti per la sopravvivenza fino all'età riproduttiva e per la riproduzione stessa. Sono così scomparsi la pelliccia e i canini sporgenti, resi inutili, rispettivamente, dall'uso di pelli animali e di armi tenute nelle mani; e, purtroppo, sono



Figura 5.4. Gli atleti non sono superuomini, bensì una categoria di persone con qualità innate specializzate nella prestazione fisica.

diminuite le prestazioni puramente fisiche e l'efficienza degli organi di senso, donde, ad esempio, l'aumento della frequenza dei difetti visivi e la conseguente diffusa necessità di usare oggi gli occhiali per correggerli. Dopo il passaggio dall'uomo cacciatore e raccoglitore all'agricoltura, in effetti, sono stati probabilmente favoriti dalla selezione naturale caratteri diversi da quelli adatti a una vita di caccia e di raccolta: dunque, piuttosto che un totale rilassamento della selezione naturale, con l'evoluzione culturale si è avuto un grande cambiamento dei caratteri selezionati; e questo fenomeno si sarebbe ripetuto, più recentemente, a seguito dei mutati stili di vita legati all'urbanizzazione.

Il fenomeno del declino fisico dell'uomo, tuttavia, si è assai accentuato nell'ultimo secolo, innanzitutto a causa dei cosiddetti «effetti disgenici» della medicina. Grazie all'estendersi dell'assistenza e delle terapie mediche moderne, difatti, vengono ormai salvati dalla morte la maggior parte dei neonati con tare genetiche e con gravi infermità una volta incurabili, dando così praticamente a tutti gli individui la stessa probabilità di riprodursi, con la sola eccezione degli idioti conclamati e degli individui con tare eccezionalmente gravi e non curabili, le quali riducono notevolmente la probabilità di sposarsi e di avere figli. Questa mancata selezione naturale sugli individui portatori di mutazioni dannose fa sì che la frequenza di geni deleteri, e quindi di malattie e di difetti ereditari – come ad esempio il diabete, l'ernia congenita, la spina bifida o la corea di Huntington – tenda ad aumentare sempre più nella popolazione. L'effetto globale di tale fenomeno potrebbe diventare chiaramente percepibile, però, solo tra 200 o 300 anni, quando l'incidenza delle malattie genetiche gravi potrebbe essere, in media, raddoppiata.

Il numero di geni umani che, modificandosi, possono causare effetti dannosi è molto elevato, e forse corrisponde al numero totale di geni presenti nel patrimonio genetico di un individuo. La maggior parte delle mutazioni possibili sono deleterie, e vanno nella direzione di un declino delle capacità fisiche e forse

intellettive della nostra specie. Proprio a causa del rilassamento selettivo e delle mutazioni spontanee, sia pure con il probabile contributo della deriva genetica o di altri fattori, il daltonismo – cioè l'incapacità di distinguere il verde e il rosso, una malattia che ha una chiara base genetica ed è scarsamente influenzata da fattori ambientali – ha oggi nelle popolazioni caucasiche una frequenza eccezionalmente alta (circa dell'8 per cento nei maschi, quasi il doppio rispetto alla frequenza tipica nei popoli cacciatori-raccoglitori o usciti da poco da questo stadio). Ma con l'evoluzione culturale e il conseguente rilassamento selettivo non solo si è quasi totalmente abolita l'evoluzione biologica: negli ultimi decenni, si sono in realtà gettate le basi per un'involuzione fisica e intellettuale *rapida* della specie umana!

Negli ultimi decenni, infatti, sono stati introdotti nell'ambiente molti agenti potenzialmente mutageni e, di solito, anche carcinogeni: in particolare, radiazioni ionizzanti – come quelle derivanti dalle esplosioni atomiche, dalla produzione di energia nucleare o da alcuni apparati medici diagnostici – e una grande varietà di sostanze chimiche dannose contenute in armi da guerra, in rifiuti industriali, in pesticidi o perfino in farmaci e in prodotti alimentari. Questi agenti accrescono senza dubbio la frequenza delle mutazioni spontanee, cioè degli errori biochimici che la cellula compie durante la divisione riproduttiva, rendendo l'accumulo di mutazioni deleterie più rapido del ritmo di mutazione spontaneo, sebbene tale aumento nella popolazione generale sia difficile da stimare. Ma se le mutazioni accidentali divenissero assai più numerose, a causa dei crescenti livelli di radiazioni ionizzanti cui siamo esposti e di sostanze inquinanti che assumiamo con l'aria, con l'acqua e col cibo, il *pool* genico dell'umanità ne sarebbe ben presto contaminato, con effetti irreversibili rappresentati da geni difettosi e da gravi tare ereditarie.

Lo stesso fenomeno di involuzione che abbiamo illustrato per le caratteristiche fisiche si verifica, probabilmente, per l'intelli-

genza, supponendo che le potenzialità intellettive umane siano almeno in parte sotto il controllo genetico, come suggerirebbe la rapida crescita della capacità cranica degli ominidi avvenuta da 2 milioni di anni or sono fino a circa 200.000 anni fa, quando essa subì un arresto. In pratica, gli ominidi con un cervello più grande avevano una maggiore capacità intellettuale la quale, essendo verosimilmente associata allo sviluppo del linguaggio, all'uso degli utensili e alla pratica della caccia di gruppo, garantiva loro un maggior successo riproduttivo. Oggi l'intelligenza non ha più un valore selettivo. Ciò non significa, però, che l'uomo stia diventando meno intelligente. Quella che diminuirebbe, infatti, è la quota genetica – ereditaria o innata – dell'intelligenza, strettamente legata al volume del cervello. Ma esiste anche una componente «ambientale» dell'intelligenza, acquisita grazie all'educazione e all'ambiente in cui viviamo, che è importante nell'uomo moderno, sebbene non siamo in grado di misurarla.

L'intelligenza si compone, in effetti, di molte diverse «capacità» – linguistica, logico-matematica, musicale, spaziale, cinestesica, interpersonale – che corrispondono ad altrettante abilità o talenti. Nell'uomo la sua misura è ancora legata al Quoziente di Intelligenza (QI), il quale valuta il grado di intelligenza di un individuo attraverso test standard che si limitano a considerare le capacità linguistiche e analitiche, rappresentando perciò una misura assai parziale delle capacità intellettive. Da vari decenni il QI va lentamente aumentando, e l'entità della crescita varia a seconda del paese e del tipo di test utilizzato: è il cosiddetto *effetto Flynn*, dal nome del docente di scienze politiche neozelandese James Flynn, che per primo lo ha scoperto e raccontato. Nel 1987, difatti, Flynn pubblicò uno studio che mostrava come, nei paesi più industrializzati del mondo, dagli anni Cinquanta vi fosse stata una crescita complessiva del QI di finanche 25 punti. Nel 1999, però, in Danimarca i risultati di queste misure hanno imboccato decisi la strada del peggioramento, il che potrebbe essere la spia di un cambiamento di rotta generale e duraturo.

Poiché è impossibile pensare che cambiamenti così marcati del QI in un periodo di tempo tanto breve abbiano una base genetica, è evidente che i fattori ambientali possono provocare variazioni dell'intelligenza ben più veloci dell'involuzione di natura biologica.⁶ In ogni caso, in assenza di pressione selettiva è possibile che anche il declino della componente ereditaria, genetica, dell'intelligenza risulti rapido e importante. Questo perché la frequenza spontanea di mutazione nell'uomo è particolarmente elevata, pur senza prendere in considerazione qualsiasi suo aumento dovuto alla contaminazione ambientale. In effetti, secondo uno studio condotto dall'antropologo italiano Giuseppe D'Amore, il cervello umano avrebbe raggiunto il suo massimo nel Paleolitico, 35.000 anni fa, con un volume cerebrale di 1.600 centimetri cubici (cc), per scendere a 1.500 cc durante il Neolitico, 8.000 anni fa, e toccare oggi i 1.400 cc. Se questa decadenza sempre più accelerata continuerà, nell'arco di appena alcuni millenni il nostro cervello potrebbe raggiungere i 1.000 cc, forse il limite per mantenere in vita una civiltà tecnologica.

L'UOMO INTERVIENE SU SE STESSO CON LE BIOTECNOLOGIE

Il deterioramento del *pool* genetico umano e la conseguente involuzione fisica e intellettuale della nostra specie non ci devono preoccupare troppo: non solo perché non costituiscono un pericolo immediato per l'umanità, ma soprattutto perché è molto probabile che, prima o poi, l'uomo intervenga geneticamente su se stesso per modificare le proprie caratteristiche biologiche, realizzando una sorta di selezione artificiale di cui possiamo solo tentare di immaginare gli esiti.

L'idea di migliorare il genere umano, sterilizzando o eliminando i bambini handicappati, risale già a Platone e agli antichi romani. Ma è solo nell'Ottocento che nasce l'*eugenetica*, termine coniato dall'inglese Francis Galton, cugino di Darwin, per indi-

care la scienza che si occupa di migliorare le qualità della nostra specie con l'allevamento selettivo degli individui più adatti. E nella prima metà del secolo scorso l'eugenetica godette di ampio seguito fra gli intellettuali, sia negli Stati Uniti sia in Gran Bretagna, prima di venire screditata dal Nazismo. Lo scopo dell'eugenetica era all'epoca considerato raggiungibile essenzialmente in due modi: o lentamente, impedendo agli individui tarati fisicamente o mentalmente di riprodursi (*eugenetica negativa*) oppure, assai più rapidamente, favorendo forzosamente l'incrocio e la procreazione artificiale tra uomini e donne entrambi eccezionalmente dotati di caratteristiche desiderabili (*eugenetica positiva*). Quest'ultima strada, tra l'altro, è largamente praticata dall'uomo da svariati millenni per selezionare i migliori tipi di piante da coltura e di animali domestici o da allevamento.

Oggi, però, l'ingegneria genetica sta per offrire la possibilità di realizzare una nuova forma di eugenetica positiva, cioè di arricchimento in qualità desiderabili, che non era possibile in passato e che è anche molto veloce, nonché relativamente facile da praticare rispetto alle precedenti tecniche, qualora si decida di adottarla. L'idea è di manipolare direttamente il DNA, la macromolecola a forma di scala a chiocciola scoperta nel 1953 da James Watson e Francis Crick, la quale è presente in ogni cellula di un organismo e racchiude l'informazione necessaria per dar vita a un intero essere vivente. In particolare, si vuole agire sui singoli «geni», cioè su quei segmenti componenti tale molecola che forniscono le informazioni per produrre le proteine essenziali alla struttura, al funzionamento e alla crescita delle cellule di un individuo. Nel caso dell'uomo e di oltre 600 virus e batteri, e di una manciata di funghi, animali e piante, si conosce l'insieme completo dei loro geni, il cosiddetto *genoma*.⁷ Intervenendo sul patrimonio genetico di un essere umano, sarà quindi un giorno possibile, in teoria, scegliere le caratteristiche di una persona.

Sono vari i modi in cui tale intervento può avvenire. Il primo è quello, del tutto indiretto, della selezione artificiale del *fenotipo* adulto, cioè dei caratteri visibili di un individuo adulto, come ad esempio il sesso, il colore degli occhi e dei capelli, la statura, la corporatura. Con l'amniocentesi è già possibile conoscere (e quindi scegliere) il sesso di un figlio nonché, per le coppie «a rischio», fare una diagnosi prenatale di malattie genetiche. Nel futuro prossimo, potrebbe diventare routine l'analisi del DNA di tutti i nuovi nati – ovvero degli embrioni o dei potenziali embrioni: gli spermatozoi e gli ovuli – non solo per scoprire le eventuali malattie genetiche o la predisposizione a malattie, ma anche per poter individuare nel genoma caratteri del fenotipo e forse perfino tratti come l'intelligenza, l'avvenenza e la longevità. Avendo un'idea delle caratteristiche probabili del futuro individuo adulto, i genitori potrebbero decidere di far sviluppare solo l'embrione più promettente o, se si opera allo stadio di gameti, di usare per la fecondazione artificiale lo spermatozoo e l'ovulo che rendono più probabili il fenotipo desiderato.

Naturalmente, si potrà pensare di agire solo sulle malattie e sui caratteri che hanno una componente genetica. Conosciamo



Figura 5.5. In un futuro prossimo potremo, in teoria, avere «figli su misura» grazie alla manipolazione genetica. Nascerà in questo modo una nuova specie?

circa quattromila malattie ereditarie che dipendono da un singolo gene, ma parecchie patologie importanti, come le malattie degenerative e il cancro, sono «poligeniche»: dipendono, cioè, dall'interazione di più di un gene. Analogamente, la stragrande maggioranza dei tratti umani ereditari fisici e non – per esempio, intelligenza, statura e pigmentazione della pelle – sono tendenzialmente poligenici e possono essere influenzati da fattori esterni, come l'ambiente. Per ora, tuttavia, ignoriamo in gran parte i geni associati alle malattie e ai tratti umani poligenici. Inoltre, dei 20.000-25.000 geni di cui il genoma umano è fornito ne conosciamo bene la funzione – se, cioè, comandano la produzione di enzimi, ormoni o altro – solo nel caso di 3.000-4.000, ovvero appena del 20 per cento.⁸ Rimangono, quindi, ancora da studiare la maggior parte dei singoli geni, il loro ruolo e le interazioni con altri geni. Tale studio è un obiettivo assai ambizioso che comporterà un'enorme mole di lavoro ma che, alla lunga, darà i suoi frutti.

L'altro modo di intervenire sul patrimonio genetico dell'uomo per determinare le caratteristiche di una persona è quello di manipolare direttamente il *pool* genetico umano per creare individui ideali di varia natura. Parliamo qui di manipolazione genetica delle cellule germinali, cioè nate dall'unione di un ovulo e di uno spermatozoo, introducendovi dei geni nuovi o modificati. I cambiamenti apportati al patrimonio genetico di una persona agendo su tali cellule – ovvero sulla linea *germinale* – hanno la caratteristica di venire ereditati dall'eventuale discendenza. È così possibile sradicare una volta per tutte un difetto ereditario, ma anche migliorare artificialmente la capacità umane, creando esseri superintelligenti o superlongevi; o, semplicemente, programmare un essere umano ideale, ovvero ordinare un «figlio su misura». Si potrebbe, in linea di principio, mutare il DNA degli esseri umani fino a creare addirittura una sorta di specie nuova e distinta, magari in competizione con gli umani convenzionali:

una stirpe di «superuomini» decisamente meno vulnerabili di noi alle malattie e assai più intelligenti e longevi.

È possibile immaginare anche un intervento sulla linea *somatica*, cioè che si limita alle cellule non germinali – somatiche, appunto – di un individuo particolare, per cui le modifiche apportate non entrano a far parte del suo patrimonio genetico trasmissibile e, quindi, non vengono ereditate dai suoi figli. Oggi questo tipo di intervento è sperimentato, per porre rimedio a condizioni causate da istruzioni genetiche difettose ereditate, su embrioni in stato di sviluppo avanzato, su feti o su individui adulti: è la cosiddetta *terapia genica*, una tecnologia rivoluzionaria che consiste nell'introdurre geni selezionati – cioè istruzioni sotto forma di sequenze di DNA – nelle cellule somatiche malate (quelle del sangue nei casi di emofilia, quelle dei muscoli in chi soffre di miopatie, e così via), in modo che queste producano una proteina capace di contrastare la patologia da curare. La terapia genica promette, dunque, di guarire o di evitare moltissime malattie, quando aumenterà la conoscenza delle loro basi genetiche. Tuttavia, nell'uomo le inserzioni mirate di geni in cellule somatiche non sono ancora realizzabili, oppure sono soltanto agli inizi.

Per ottenere un «superuomo», si può pensare di inserire, in futuro, dei geni opportuni nel genoma degli individui. Questi ultimi possono venire presi da genomi non parentali di esseri umani, ma non per correggere difetti genetici mediante la sostituzione di un gene difettoso con uno sano (come potrebbe accadere nel futuro prossimo), bensì per migliorare o potenziare una funzione sostituendo i geni che ci interessano – quali potrebbero essere quelli della statura – con geni umani dello stesso tipo, associati però a migliori caratteristiche fenotipiche: in questo caso, a una maggiore statura. I geni da introdurre nel genoma possono venir presi anche da altri organismi viventi, realizzando cioè delle modificazioni realmente «transgeniche»,

interventi mirati a modificare certe funzioni o caratteristiche umane, oppure ad aggiungerne di nuove *tout court*. Inoltre, si potrebbero inserire nel genoma dei geni aggiuntivi artificiali, ottenuti per sintesi o modificando geni esistenti, capaci di codificare anticorpi per le principali infezioni, enzimi atti a distruggere cancerogeni e inquinanti ambientali, o capaci di riparare il DNA e di ritardare, così, l'invecchiamento.

Le tecniche di sostituzione del DNA che potrebbero in futuro produrre superumani (o subumani) transgenici hanno già prodotto in laboratorio molti tipi di animali, piante e batteri transgenici, cioè geneticamente modificati attraverso l'introduzione del DNA di un altro organismo con metodi diversi dalla riproduzione convenzionale. Si va dalla pianta di tabacco fosforescente, che brilla perché nel suo DNA è stato inserito il gene che codifica l'emissione di luce nella lucciola, ai «super-topi» grandi il doppio del normale perché nei loro embrioni sono stati inseriti i geni umani che regolano la sintesi degli ormoni della crescita (per cui se li trasmettono, poi, di generazione in generazione). Si possono, inoltre, immaginare vari gradi di modificazioni transgeniche e, dunque, di miscelazione del materiale proveniente da due o più specie: da quelle molto modeste fino alla realizzazione di vere e proprie *chimere* umane, cioè di ibridi artificiali – probabilmente infecondi e frutto della fusione di due (o più) embrioni di specie differenti⁹ – dall'aspetto e forse dagli attributi così diversi da quelli umani da non poter venire classificati come esseri umani.

ALLA DISPERATA RICERCA DELL'«ELISIR DI LUNGA VITA»

Se effettuassimo un sondaggio fra il vasto pubblico, certamente il tipo di intervento genetico che riscuoterebbe maggior successo sarebbe quello in grado di allungare la durata della vita umana, o comunque di garantire in qualche modo, dopo la no-

stra morte fisica, la sopravvivenza di almeno una parte di noi stessi e della nostra unicità: infatti, uno dei sogni dell'uomo è, da sempre, il raggiungimento dell'immortalità, considerata sin dall'antichità un attributo divino.

In questa direzione, oggi l'intervento di ingegneria genetica che più colpisce l'immaginazione della gente è la cosiddetta *clonazione*, la creazione di più individui identici o quasi identici, realizzabile essenzialmente in due modi: o separando dopo la fecondazione *in vitro* gli embrioni che si vanno sviluppando, ottenendo così altrettanti gemelli identici; o, partendo da cellule adulte, ponendo il loro nucleo al posto di quello di una cellula-uovo, ottenendo così cloni che non sono identici al donatore di nuclei, ma gli assomigliano molto. Quest'ultima possibilità, cioè l'idea di «fotocopiare» delle persone riproducendole da cellule prelevate non tanto da embrioni o da feti, quanto piuttosto da individui già adulti, è molto seducente. Chi non vorrebbe creare un proprio clone nella speranza di avere una copia perfetta di se stesso o per semplice vanità? Chi riuscirebbe a resistere alla tentazione di clonare un personaggio di successo oppure un figlio morto in un incidente stradale? E si potrebbe perfino, in linea di principio, dar vita a una società esclusivamente femminile, capace di riprodursi senza ricorrere mai agli uomini.¹⁰

Nel 1997, la pecora Dolly è entrata nella Storia in quanto primo mammifero clonato a partire da una cellula adulta. Da allora, sono stati clonati vari altri tipi di mammiferi adulti: mucche, maiali, capre, cani, gatti, topi, conigli, cavalli, scimmie, e perfino un mulo. Negli ultimi anni si sono invano proposti di effettuare la clonazione umana, fra gli altri, l'italiano Severino Antinori e la setta dei Raeliani (che nel dicembre 2002 ha annunciato di aver creato il primo clone umano, ma non ha mai fornito prova di ciò); dopodiché, questa procedura è stata bandita sia negli Stati Uniti sia nell'Unione Europea.¹¹ In ogni caso, nei mammiferi l'attuale tecnica di clonazione produce individui molto vulnerabili che mostrano segni di invecchia-



Figura 5.6. La pecora Dolly, divenuta famosa perché è stata il primo mammifero clonato della Storia.

mento prematuro e quasi mai raggiungono l'età adulta. Dolly, in particolare, che era stata clonata da una pecora di 6 anni, è morta a 6 anni per una malattia polmonare tipica delle pecore vecchie, cioè di 11-12 anni, come se l'età dell'individuo clonato si sommasse all'età del clone.

Tuttavia, anche se risolvessimo questi problemi e un giorno clonassimo, ad esempio, una splendida modella come Naomi Campbell con la tecnica usata per Dolly e per gli altri animali, l'individuo che si svilupperebbe sarebbe la copia genetica, e non somatica, della persona da cui siamo partiti. Il nuovo organismo, dal punto di vista genetico, avrebbe le stesse caratteristiche della bella Naomi, ma come persona sarebbe totalmente differente, sia dal punto di vista dell'aspetto esteriore del corpo sia dal punto di vista psichico, in quanto la mente si costruisce nel rapporto con l'ambiente e con le esperienze che si vivono, ed entrambi sono diversi per ogni individuo. Inoltre la clonazione, se praticata su grande scala, potrebbe provocare un grosso cambiamento nel rapporto numerico fra i due sessi e, soprattutto, produrrebbe un'importante diminuzione della varietà genetica della specie

umana, ipotecando l'evoluzione ed eliminando la preziosa selezione naturale dei geni da trasferire ai figli. Quest'immobilità evolutiva potrebbe rappresentare alla lunga un problema, perché l'ambiente cambia nel tempo e la nostra specie, per poter sopravvivere, deve adattarsi ad esso.

Se la clonazione di un essere umano risulta oggi un'impresa molto difficile, paradossalmente la prospettiva di allungare la vita umana appare assai più concreta nel breve e nel medio periodo. Del resto, la tendenza ad allungarsi della *durata media della vita* è stata, nelle ultime migliaia di anni, nettissima: nella preistoria l'aspettativa di vita era di 18 anni; ai tempi di Roma antica, di 22 anni; agli inizi del 1900, in Italia era di 43 anni, mentre ora è di circa 80 anni, con «supernonni» che arrivano fino a oltre 110 anni. La durata media della vita umana si è allungata debellando le malattie, migliorando il livello di nutrizione e, tutto sommato, la qualità della vita, contribuendo quindi alla diminuzione della mortalità precoce. Dobbiamo però distinguere l'*aspettativa di vita*, una media delle età di tutti al momento della morte che è influenzata fortemente dalla mortalità infantile ed è sensibilmente aumentata nel tempo raddoppiando negli ultimi 130 anni, dalla *longevità massima*, che nell'arco di vari millenni non sembra, invece, essere cambiata molto: Platone e Sofocle, per esempio, morirono rispettivamente a 80 e 90 anni.

La longevità potenziale varia da specie a specie: va dai 2 anni per i topi ai 15 per i gatti, dai 50 anni per i cavalli ai 70 per gli ippopotami. Nei mammiferi, essa è in genere proporzionale alle dimensioni dell'organismo, ma gli umani vivono più a lungo di quanto la loro dimensione corporea potrebbe far prevedere. Nell'uomo, con l'avanzare dell'età, le probabilità di morte dovute a malattie degenerative come il cancro, l'arteriosclerosi e il morbo di Alzheimer aumentano, e ciò è dovuto al decadimento causato dall'invecchiamento. Eliminando il cancro e le malattie cardiovascolari – cioè le due principali cause di morte – aggiungerebbero solo sei anni all'aspettativa di vita umana. Ma, inve-

stendo ancora sul miglioramento dell'ambiente e sulla ricerca scientifica, nel corso dei prossimi 50 anni – e, comunque, entro questo secolo – la durata media della vita crescerà notevolmente: già nell'arco di 25 anni si dovrebbe arrivare, nelle condizioni attuali, a una vita media di 85-86 anni, e forse questa potrà addirittura raddoppiare quando riusciremo a intervenire direttamente sulle cause genetiche dell'invecchiamento e della morte.

Infatti, mentre il concetto di morte è estraneo ad organismi quali i batteri, che si moltiplicano dividendosi in due e muoiono solo per disgraziati accidenti, esso compare con la riproduzione sessuale negli organismi pluricellulari, in cui la lunghezza della vita è determinata geneticamente ed è fissata dalla selezione naturale in modo che la morte sia rimandata almeno fino a dopo la riproduzione (e, nel caso dell'uomo, anche più a lungo, perché i piccoli dei nostri antichi progenitori per sopravvivere necessitavano delle cure parentali). Perciò, se un gene ha un effetto letale che si manifesta in tarda età, la selezione naturale non ha alcuna influenza sul destino di quel gene. Per aumentare la longevità massima dell'uomo, cioè per ritardare il processo innato dell'invecchiamento e il progressivo declino delle funzioni fisiologiche, il cui ritmo è immutato da millenni, si potrebbe quindi semplicemente innalzare l'età riproduttiva. In teoria, per elevare la longevità umana anche a parecchi secoli, basterebbe vietare la riproduzione prima di una certa età, diciamo 40 anni, per poi elevare questo limite minimo a 50 anni, e così via.¹²

Poiché un approccio del genere nella realtà non è proponibile, occorre cercare di identificare i geni letali o quasi letali che si manifestano tardivamente, sfuggendo alla pressione selettiva operante fino all'età riproduttiva e accumulandosi, così, nella popolazione. Tali geni, infatti, potrebbero in linea di principio venire modificati con l'ingegneria genetica per ritardare l'invecchiamento. Finora, sono stati scoperti solo alcuni geni che potrebbero essere correlati alla durata della vita, soprattutto in animali semplici come il verme *Caenorhabditis elegans*, il mo-

scerino della frutta o la mosca: modificando o eliminando tali geni, si è già riusciti ad aumentare la breve esistenza di queste creature di un valore compreso tra il 20 e il 50 percento. Ma nel 1999 un gene molto importante è stato trovato anche in un mammifero, il topo: è il p66shc, che controlla la risposta delle cellule allo stress ossidativo. Eliminando questo gene dalle cellule staminali, un gruppo di ricercatori italiani, guidato dall'oncologo Pier Giuseppe Pelicci, ha scoperto che la vita dell'animale si allunga ben del 35 percento, senza provocare alcun danno o anomalia nella crescita.

Gli esperimenti sugli animali lasciano pensare che un allungamento della vita umana di almeno un 10-20 percento sarà un giorno davvero possibile grazie a una più profonda conoscenza del nostro genoma e alla sua manipolazione. La cosa non si presenta, però, semplice. Infatti, appare molto difficile che geni singoli con effetti così profondi possano venire scoperti nell'uomo: mentre negli organismi inferiori la longevità è controllata da un numero esiguo di geni, nella nostra specie la situazione è più complessa, perché nella fase di invecchiamen-



Figura 5.7. La francese Jeanne Louise Calment, che è stata negli ultimi anni l'essere umano più anziano del mondo. Quando è morta, nel 1997, aveva ben 122 anni.

to di un individuo si attivano almeno 35 geni che fino a quel momento erano rimasti «in silenzio». Tuttavia, è possibile che i geni in grado di avere un forte impatto sulla durata della vita umana siano in realtà assai pochi e li si stanno cercando nel DNA degli ultracentenari. In ogni caso, non si vedono ostacoli alla possibilità di aumentare la longevità umana, una volta che si sarà riusciti a capire come realizzare e fornire ai giovani dei geni «antinviechiamento» realizzati *ad hoc* o come preparare cocktail di farmaci biotecnologici che svolgano la stessa funzione dell'ingegneria genetica.¹³

LA NASCITA DI UNA NUOVA SPECIE: L'UOMO BIONICO

Se l'idea di un intervento genetico sull'uomo può al momento sembrare fantascienza, il *cyborg* o «uomo bionico», fusione tra l'organico e l'artificiale, sta – al contrario – già diventando realtà: anzi, sta dando luogo alla nascita di una nuova «specie» di *Homo*, sia pure solo in senso lato, dal momento che le tecnologie della bioingegneria si applicano a qualunque singolo individuo, ma le capacità così acquisite dal suo cervello o dal suo corpo non si trasmettono alla progenie.

Nata intorno agli anni Cinquanta, la bioingegneria è una disciplina relativamente moderna che applica l'ingegneria alla medicina. Per uomo bionico si intende, quindi, colui che recupera una condizione di normalità od ottiene un miglioramento fisico mediante l'utilizzo delle tecniche e dei materiali messi a punto dalla bioingegneria. Oggi, grazie allo sviluppo esplosivo conosciuto da questa disciplina, la tradizionale distinzione tra uomo e macchina, tra biologico e artificiale, non è più netta come in passato. È già possibile estendere i sensi e le facoltà umane con protesi ad alta tecnologia, realizzando così una sorta di «cyborg», un organismo cibernetico composto da una parte vivente e da una parte meccanica o elettronica connesse

fra loro. In molti casi, la connessione è indiretta: in un certo senso, è un cyborg anche chi usa un'automobile o un computer, due protesi che permettono di accrescere, rispettivamente, le capacità delle nostre gambe e del nostro cervello. Ma in futuro, grazie all'impianto diffuso di microprocessori e di protesi elettroniche all'interno del corpo, l'uomo diventerà un vero cyborg: avrà, cioè, un *cybercorpo*.

In senso letterale, ha un cybercorpo anche un uomo con un pacemaker, con un'anca ricostruita in acciaio, con un impianto di lenti corneali, con denti finti o con altre comuni protesi meccaniche o elettromeccaniche. D'altra parte, i trapianti d'organo fatti con organi artificiali biocompatibili per sostituire in modo permanente parti ossee, interi arti o perfino il cuore, sono già, in molti casi, quasi una routine.¹⁴ E anche le moderne protesi elettroniche, o «bioniche», sono passate da tempo dai laboratori di ricerca alle corsie degli ospedali: sempre più spesso elettrodi, microchip e altri congegni elettronici miniaturizzati (collegati di solito a sensori o a computer esterni) vengono impiantati sotto la pelle o nel cervello di esseri umani, finendo per integrarsi e interagire con i tessuti biologici. Così, ad esempio, è possibile far camminare dei paraplegici, mentre occhi e orecchi bionici pos-

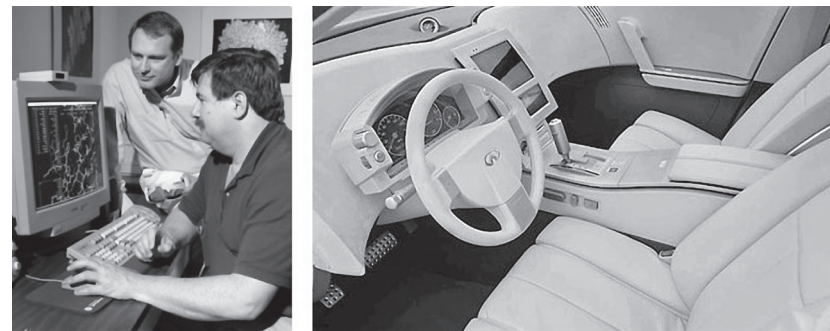


Figura 5.8. Quando usiamo un personal computer o guidiamo un'automobile siamo dei cyborg, sia pure in senso lato, in quanto potenziamo con un mezzo esterno le capacità del nostro cervello e delle nostre gambe.

sono restituire una sorta di vista e di udito a chi li ha persi. Con tutte le protesi inerti o intelligenti che già esistono, si potrebbe «costruire» una persona completa all'80 per cento, essendoci sostituiti meccanici o elettronici per 8 parti del corpo su 10.

Dunque, gli esseri umani dotati di un cybercorpo già si aggirano fra noi. Ma ci piace pensare che, pur non arrivando a evocare l'esasperata immagine di uomo-macchina invincibile della fantascienza, il vero cyborg sia una persona con capacità superiori, un uomo potenziato (letteralmente «aumentato», *enhanced*), in cui la tecnologia permette di estendere quasi senza limiti ciò che può fare con il suo corpo e soprattutto con la sua mente, e ciò che può percepire con i suoi sensi. Estrapolando le tendenze attuali nel prossimo futuro, possiamo dire che le protesi diverranno sempre più ubiqua, a cominciare per esempio dai cosiddetti *esoscheletri*: le strutture meccaniche – come le corazze motorizzate, le tute *hi-tech* e le braccia robot – costruite intorno agli arti umani per darci più forza e capacità eccezionali. Potremo così sollevare e spostare senza fatica un'auto o altri oggetti pesanti semplicemente noleggiando e indossando due braccia meccaniche; oppure correre per chilometri senza stancarci grazie alla spinta di potenti gambe-robot; o, infine, arrampicarci sui muri di un edificio con speciali ventose applicabili a mani e piedi.

Analogamente, dispositivi come le tastiere e i mouse, i monitor, i trasmettitori senza fili, diverranno così piccoli che potremo letteralmente «indossare» un computer. Grazie a speciali occhiali, sarà quindi possibile leggere una e-mail o visitare un sito Internet mentre camminiamo per strada. Questa sorta di esoscheletro informatico potrà anche ampliare la nostra memoria e mostrarci una *realtà aumentata*: in pratica, visualizzare sugli occhiali dati utili, come ad esempio una cartina turistica o il nome di una persona che non ci ricordiamo. Sempre un esoscheletro, grazie all'aggiunta di stimoli olfattivi e sensoriali tramite protesi e attuatori indossabili, potrà farci immergere

con mente e corpo nella *realtà virtuale*, o «cyberspazio»: un mondo virtuale e interattivo creato al computer. Inoltre, potremo connetterci via modem agli innumerevoli ambienti virtuali tridimensionali che ci saranno messi a disposizione in tempo reale dalla rete Internet del prossimo futuro, la cosiddetta *Grid*.¹⁵ Essa permetterà di vivere con chiunque un'esperienza reale o simulata – d'affari, sociale, o perfino sessuale – a prescindere dalla vicinanza fisica.

Le tecnologie e i materiali della bioingegneria oggi sono usati solo a scopo reintegrativo, per recuperare una normalità perduta a seguito di incidenti o malattie, ma in futuro potrebbero essere usate per accrescere le nostre capacità fisiche, intellettive e percettive. Kevin Warwick, professore di cibernetica all'Università di Reading, è stato, in questo senso, il primo vero cyborg: nel 2002, per esplorare i confini tra uomo e macchina, si è fatto impiantare nel braccio un chip per registrare gli impulsi nervosi collegati alle varie funzioni motorie dell'arto, allo scopo di poterli classificare e riprodurre artificialmente. In precedenza, Warwick si era fatto inserire sottopelle un chip per segnalare la sua posizione nell'edificio universitario: da tale idea è nato *VeryChip*, un chip in commercio negli Stati Uniti che, impiantato nell'avambraccio, consente di essere localizzati e salvati sempre e dovunque o di inserire informazioni essenziali, come quelle riguardanti la salute. Il prossimo obiettivo di Warwick è capire se, tramite, un chip nel corpo o nel cervello, due persone possono trasmettersi stimoli, emozioni o addirittura pensieri.

Nel 1998, nel cervello di un uomo completamente paralizzato, è stato per la prima volta inserito un chip che, captando gli impulsi cerebrali, fa muovere un cursore sul monitor di un computer e gli permette di comunicare pensieri e desideri. Ciò è stupefacente. Tuttavia, i primi cyborg «evoluti», fusione di mente e macchina, saranno animali, esseri che meglio si prestano a questo tipo di esperimenti. Cyber-insetti e cyber-pesci, nel cui corpo sono stati applicati elettrodi e circuiti microelettronici per

direzionarli attraverso impulsi inviati via radio, sono ormai una realtà. All'inverso, una scimmia con decine di elettrodi impiantati nel cervello per raccogliere i segnali in uscita dai neuroni è riuscita, più di recente, a controllare, con la sola «forza del pensiero», un braccio robot con cui ha potuto procurarsi del cibo. Perfino parti estratte dal cervello di una lampreda, collegate in maniera bidirezionale a un robot sensibile agli stimoli luminosi, hanno prodotto dei movimenti complessi. Prima o poi, forse, anche l'uomo potrà governare a distanza un robot come se fosse un'estensione delle proprie funzionalità corporee e, a sua volta, potrà venire controllato da altri individui.

Sebbene oggi appaia fantascientifico, in un futuro più lontano diventare cyborg significherà che, grazie a impianti nel cervello, potremo comunicare in modo diverso, già solo col pensiero, e forse espandere la nostra memoria, registrare su un computer i ricordi e le emozioni, o trasmetterli in tempo reale da un cervello all'altro. Un giorno, infatti, diverranno possibili e del tutto comuni i collegamenti diretti tra cervello e computer, sensori esterni o altri apparecchi elettronici, aggirando l'uso degli occhi, delle orecchie e della pelle, cioè i nostri sensi ordinari. Strumenti tecnologici di ogni tipo diverranno una sorta di «periferiche» a cui il nostro cervello sarà costan-



Figura 5.9. La realtà virtuale sarà una delle applicazioni tecnologiche che più «spingerà» nella direzione di trasformare l'uomo in un vero cyborg.

temente collegato. Ciò significherà la possibilità non solo di allargare il proprio campo visivo e di accedere al cyberspazio senza necessità di usare un mouse e una tastiera, ma anche di estendere le proprie capacità sensoriali dotandosi di un sesto senso o di sensi aggiuntivi con cui monitorare la realtà esterna: potremo così acquisire sensibilità chemioelettriche, sentire gli infrasuoni o gli ultrasuoni, avere sensi basati sui raggi infrarossi o su quelli ultravioletti, eccetera.

Già per la fine di questo secolo, i nostri cervelli potrebbero essere potenziati da *impianti neurali*, cioè da reti di neuroni al silicio in microchip connessi con neuroni biologici o da neuroprotesi di nuova concezione. Avremo così veri e propri «supercervelli», ibridi tra il naturale e l'artificiale capaci di prestazioni straordinarie in termini di percezione, memoria, pensiero logico. Non sappiamo quanto questi supercervelli saranno più intelligenti e diversi dai nostri, o se potremo pensare milioni di volte più velocemente di quanto facciamo ora, ma sicuramente saremo collegati direttamente al web: visitare un sito sarà come entrare, con un'immediata operazione mentale, in un ambiente di realtà virtuale talmente convincente che l'esperienza, reale o immaginaria che sia, sarà vissuta come lo è oggi la realtà. Attraverso la ricezione di stimoli sensoriali simulati provenienti dalla rete o da apparati elettronici di riproduzione, potremo avere comunicazioni e esperienze fisiche virtuali di contatto con altre persone. Tutto ciò influenzerà profondamente il nostro comportamento emotivo, sessuale, sociale e il nostro stato d'animo.

DALL'HOMO SAPIENS ALL'ARTIFICIALE ROBO SAPIENS

La bionica probabilmente permetterà in questo secolo la nascita di una quasi-specie in parte umana e in parte meccanica ed elettronica, mentre l'ingegneria genetica consentirà forse, un giorno, la nascita in maniera artificiale di nuove specie biolo-

giche dall'attuale *Homo sapiens*. L'interazione tra l'intelligenza artificiale e la robotica avanzata potrebbe invece portare sulla Terra, in un lontano futuro, alla creazione di una nuova specie completamente artificiale: il *Robo sapiens*.

Dal primo «robot» della commedia di Karel Čapek messa in scena nel 1921 al film *Metropolis* (1926) di Fritz Lang, dalla trilogia dei robot di Isaac Asimov del 1950 al fumetto giapponese *Mazinga Z* (1972), dal film *Il mondo dei robot* (1973) di Michael Crichton ai cartoni animati *Jeeg robot d'acciaio* (1974) e *Goldrake* (1975) di Go Nagai, dal film *Star Wars* (1977) di George Lucas a *Terminator* (1984) di James Cameron, da *Robocop* (1987) di Paul Verhoeven a *A.I., Intelligenza Artificiale* (2001) di Steven Spielberg, i robot – macchine più o meno intelligenti spesso con aspetto e funzioni simili a quelle umane, nel qual caso sono chiamati «androidi» – prima ancora di diventare una realtà tecnologica hanno colpito la fantasia e riempito la cultura di massa nella fantascienza e nei fumetti, popolando i sogni e gli incubi di milioni di persone. Il robot David, l'androide fanciullo di *A.I.* costruito da una società di elettronica e in grado di provare sentimenti, propone addirittura un'umanizzazione estrema della macchina, da cui oggi siamo ancora lontanissimi. Ma allora il capolavoro di Spielberg è solo fantasia, o rappresenta anche un possibile futuro?

Se alla fine degli anni Sessanta i robot erano solo poche decine, ora quelli impiegati dall'uomo nelle più svariate attività sono milioni. La tecnologia ha già sviluppato sofisticati robot «non antropomorfi», come i robot industriali, i robot artificieri o sottomarini comandati a distanza, gli esploratori spaziali autonomi. E oggi si progettano aiutanti casalinghi per le pulizie domestiche e robot da intrattenimento sotto forma di robot calciatori, robot gladiatori e animali giocattolo, come il famoso cane Aibo della Sony. Intanto nei laboratori di ricerca si sperimentano i cosiddetti robot *zoomorfi*, che recuperano da insetti e piccoli animali strutture motorie, modalità di movi-

mento e di interazione con l'ambiente, nel tentativo di imitarli. Ancora più interessanti, in prospettiva futura, sono gli sforzi per realizzare robot *antropomorfi*, di cui vediamo oggi dei precursori negli umanoidi in grado di camminare su due gambe creati dalla Honda o nel robot Kismet del MIT di Boston, che riproduce le emozioni umane con le sue espressioni facciali. L'invasione dei robot nella nostra vita, insomma, è appena all'inizio e forse comincerà proprio dalle nostre case.

I robot attualmente utilizzati dall'uomo sono strutture articolate in grado di muoversi in un ambiente reale e di svolgere, di solito in modo del tutto autonomo, un compito assegnato. Robot altamente specializzati lavorano con successo nei campi più disparati, e sostituiscono la figura umana in lavori ripetitivi o pericolosi e in ambienti estremi, come le zone interessate da radiazioni o da incendi, le profondità marine o il vuoto dello spazio. Ma una cosa è costruire un robot in grado di svolgere un compito specifico, e un'altra è creare un robot umanoide «universale»: una macchina abbastanza intelligente da imparare dall'esperienza, e autonoma da cavarsela in compiti e situazioni anche molto diversi da quelli per cui era stata istruita. Dotato ormai di un corpo e di mani, al computer manca dunque solo di sviluppare un'intelligenza sintetica, una sorta di senso comu-

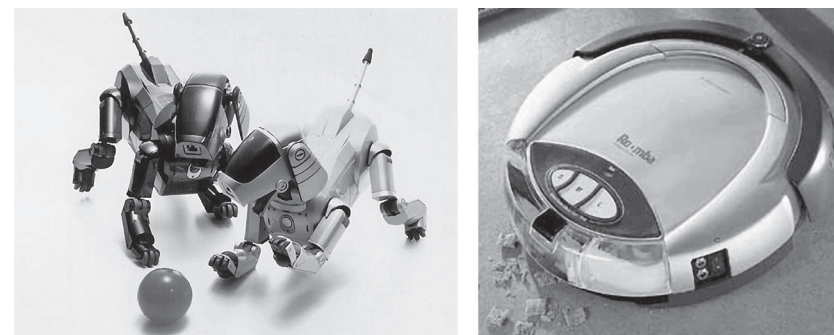


Figura 5.10. Due esempi di robot odierni. Il cane giocattolo Aibo della Sony e il robot Roomba, che pulisce da solo l'intero pavimento di una casa.

ne che gli permetta di affrontare le novità e le nostre richieste più disparate. Tuttavia, chiunque si aspetti che già nei prossimi cinquant'anni dai computer emerga una forma di intelligenza umanoide è probabilmente destinato a rimanere deluso.

Certo, la potenza di calcolo dei computer aumenterà molto nei prossimi decenni. La previsione di Gordon Moore, tra i fondatori della Intel, il quale nel 1965 predisse che i microprocessori avrebbero raddoppiato la potenza ogni 18 mesi – una tendenza nota oggi come *legge di Moore* – non solo è ancora valida, ma sembra potersi estendere ben oltre il 2013, quando cioè verrà raggiunto il limite fisico dell'attuale tecnologia a semiconduttore che utilizza transistor ad effetto di campo. Il tranquillo progresso o addirittura il superamento di questa legge sarà, infatti, assicurato per almeno altri trent'anni da tecnologie del tutto nuove (vedi la *box* sui computer del futuro a pag. 230). È quindi verosimile che, entro il 2030, saremo in grado di costruire personal computer un milione di volte più potenti in quanto a velocità e capacità di calcolo rispetto a quelli odierni, i quali saranno in grado di compiere 100 milioni di miliardi di operazioni al secondo, una potenza computazionale paragonabile a quella del cervello umano.¹⁶ Entro il 2055, un personal computer medio avrà una potenza di calcolo paragonabile a quella di tutti i cervelli umani all'epoca presenti sulla Terra.

La potenza di calcolo, tuttavia, è una condizione necessaria ma non sufficiente per raggiungere con le macchine un'intelligenza di livello umano. Di maggiore importanza è il «software» dell'intelligenza, una materia che siamo ancora lontani dal dominare. Prova ne è il largo insuccesso, in oltre mezzo secolo di tentativi, nel ricreare in macchine informatiche le prestazioni delle capacità intellettive più elevate dell'essere umano.¹⁷ I moderni computer sono già capaci di risolvere rapidamente complessi problemi matematici e logici. Ne è un chiaro esempio il supercomputer dell'IBM *Deep Blue*, che nel 1997 ha sconfitto per la prima volta il campione del mondo di scacchi in una sfida in

più partite. Anche le altre applicazioni correnti dell'intelligenza artificiale – dal riconoscimento vocale ai programmi per il riconoscimento di forme, dai sistemi di diagnostica medica ai software per la ricerca di informazioni su Internet – sono ancora specializzate e immature. Le macchine non saprebbero dove cominciare per svolgere anche una sola delle attività più semplici che ognuno di noi riesce a fare ogni giorno senza sforzo.

Un primo approccio per un software che dia ai computer un'intelligenza di tipo e livello umano è quello «dall'alto verso il basso» utilizzato dal sistema *CYC* (diminutivo di *Encyclopedia*), sviluppato da Douglas B. Lenat sin dal 1984: esso consiste nel dotare la macchina di senso comune e di informazioni su «come va il mondo» fornendogli una specie di enciclopedia, cioè un gran numero di conoscenze di base (del tipo: gli animali si muovono, le piante no) e, soprattutto, milioni di regole pratiche e di inferenze logiche, che possono aiutare il computer a districarsi nelle situazioni più disparate del mondo reale. Ma in seguito si è capito che, per rendere le macchine intelligenti quanto o più dell'uomo, occorre adottare un approccio «dal basso verso l'alto»: un computer deve acquistare nuove capacità attraverso l'auto-apprendimento, imparando da solo a muoversi, a vedere e a sentire nell'ambiente circostante. Per far questo, la macchina ha bisogno di un corpo simile a quello degli esseri viventi, cioè dotato di arti e di organi di senso, ovvero di appendici meccaniche e di sensori: deve essere, quindi, un robot.

Dotando i computer di un hardware abbastanza potente e del software giusto, un robot potrebbe imparare allo stesso modo di un bambino, facendosi una mappa mentale di ciò che lo circonda e collegando ai simboli che gli vengono forniti la sua esperienza concreta con i vari oggetti del quotidiano e con l'uomo. La difficoltà consiste nell'emulare con un software l'architettura e i principi base del cervello umano: in particolare, i meccanismi dell'apprendimento. Oggi non conosciamo abbastanza il cervello da poterne simulare con un programma il funzionamen-

to. Esistono già software in grado di apprendere e dotati di un certo grado di autonomia decisionale – quali le *reti neurali* e gli *algoritmi genetici*¹⁸ – ma nessuno è ancora di complessità paragonabile al «programma» che gestisce un centro di elaborazione come il nostro cervello. I futuri progressi nelle neuroscienze dovrebbero, tuttavia, consentire di apprendere quel tanto che basta sul cervello da poterne replicare la struttura e gli algoritmi su un computer di sufficiente potenza, sebbene sia difficile dire quanto tempo occorrerà per giungere a questo traguardo.

Secondo l'americano Hans Moravec, senza dubbio uno dei maggiori esperti al mondo di robotica, nei prossimi decenni si succederanno quattro generazioni di robot e di computer connessi con queste macchine. I robot di I^a generazione (2010) saranno macchine mobili di dimensioni umane ma con capacità cognitive paragonabili a quelle di una lucertola, in grado di svolgere semplici lavori domestici come spolverare e portar fuori l'immondizia, sufficienti a creare un mercato di massa. I robot di II^a generazione (2020), con una capacità di elaborazione pari a quella di un topo, sapranno adattarsi e potranno ricevere un addestramento. I robot di III^a generazione (2030) avranno una capacità intellettuale al livello delle scimmie e svolgeranno un'ampia varietà di lavori domestici e manuali. I robot di IV^a generazione (2040), infine, saranno dotati delle capacità intellettive di un essere umano. Una volta creato un robot del genere, il passo verso la specie *Robo sapiens* è breve, perché un robot così intelligente potrà presto far meglio degli esseri umani in ogni area e realizzare, quindi, anche delle copie evolute di se stesso, diventando autoreplicante.

UNO SGUARDO AI COMPUTER DEL FUTURO

I microchip al silicio come li conosciamo oggi potranno essere ancora utilizzati per una decina d'anni, quando verranno rag-

giunti i limiti fisici che rendono impossibile un'ulteriore miniaturizzazione dei loro componenti principali, i transistor. Le possibili vie d'uscita da questo vicolo cieco, che permetteranno un incremento della capacità di calcolo di svariati ordini di grandezza, sono molteplici.

Innanzitutto, i microprocessori potrebbero essere fatti con più strati di circuiti anziché con l'unico strato dei chip odierni. Un'ulteriore soluzione potrebbe arrivare dal neonato campo dell'*elettronica molecolare*, una branca delle nanotecnologie in cui singole molecole organiche assemblate a formare microprocessori completi rimpiazzerebbero i tradizionali transistor scolpiti litograficamente. Una soluzione estremamente promettente in tal senso è legata alla sostituzione del silicio con sottilissimi nanotubi di carbonio, realizzabili legando fra loro le molecole a forma di pallone di calcio scoperte nel 1985, i fullereni, costituiti da 60 atomi di carbonio: si farebbero infatti agire i nanotubi, dopo averli trasformati in semiconduttori, come transistor di dimensioni centomila volte inferiori a quelle di un capello. Ma, soprattutto, vari filoni di ricerca emergenti su tipi di computer completamente nuovi potrebbero portare, in un futuro più lontano, a novità rivoluzionarie:

- *Computer quantistico*. Suggesto nel 1982 dal fisico Richard Feynman, opera a livello subatomico, sfruttando i peculiari fenomeni tipici dell'infinitamente piccolo, dove le leggi della fisica tradizionale lasciano il posto a quelle della fisica quantistica. Si tratta, in sostanza, di un sistema macroscopico che processa e immagazzina l'informazione in *qubit*, o bit quantistici: atomi o altri sistemi microscopici che sono l'equivalente quantistico dei circuiti con stati «0» e «1» dei computer tradizionali (in cui l'informazione risiede nelle sequenze di 0 e 1). Ogni *qubit* può assumere non solo lo stato 1 o quello 0, ma anche qualsiasi combinazione di entrambi. Poiché il singolo

atomo o sistema microscopico si trova in diversi stati quantistici contemporaneamente, il computer può eseguire in un unico ciclo un numero elevatissimo di calcoli (uno per ogni stato in cui l'atomo si trova), lavorando in parallelo anziché in serie, come invece i calcolatori elettronici. Il computer quantistico, inoltre, è ultraveloce, perché manipola l'informazione alla velocità della luce. Tuttavia, manca ancora una nanotecnologia che permetta di costruire circuiti subatomici e vi sono ostacoli pratici legati alla stabilità degli stati quantistici.

- *Computer a base molecolare.* Ideato nel 1987 dal biologo Thomas Head, prevede l'utilizzo di macromolecole organiche artificiali per la costruzione di bioprocessori e circuiti che operano in modo simile a quanto avviene negli esseri viventi. Il «computer a DNA», in particolare, processa e memorizza le informazioni all'interno di strutture molecolari rappresentate da sequenze di DNA manipolate da specifici enzimi. Per elaborare l'informazione codificata su una o più sequenze di DNA, le si «sparano contro» una serie di enzimi che la smontano, rimontano, attivano e neutralizzano. Queste operazioni svolte dagli enzimi (ogni enzima è un'operazione) costituiscono l'analogo delle operazioni basilari di calcolo. Ma là dove un PC svolge poche operazioni alla volta, un computer a DNA può svolgerne centinaia di milioni di miliardi al secondo. Il calcolo a DNA è dunque altamente parallelo, perché sfrutta l'interazione simultanea di tutte le molecole di DNA coinvolte. Purtroppo, ancora non esistono le nanotecnologie necessarie per codificare senza errori informazioni nel DNA e per controllare i fattori chimici e termodinamici che disturbano il comportamento e la stabilità delle grandi strutture molecolari.

- *Computer ottico.* È un calcolatore che, per trasferire ed elaborare l'informazione, utilizza fotoni (già usati, per immagazzinarla, nei CD e DVD). Tali fotoni, che viaggiano su fibre

ottiche o su speciali film sottili, sono usati al posto dei tradizionali elettronici. Una corrente elettrica, infatti, viaggia appena al 10 per cento della velocità della luce: un computer ottico, dunque, può eseguire operazioni almeno 10 volte più velocemente di uno elettronico. Inoltre, i transistor ottici potrebbero potenzialmente operare migliaia di volte più velocemente dei loro cugini elettronici. Infine, si potrebbero effettuare un gran numero di connessioni e di calcoli contemporaneamente, in parallelo. Un passo importante verso questo tipo di computer, che sarebbe molto più piccolo di uno elettronico di pari potenza poiché i fasci di luce potrebbero incrociarsi fra loro senza interferire in uno spazio a due dimensioni, è la messa a punto di un'alternativa ottica al transistor, e quindi di un chip ottico. Calcolatori completamente ottici sono molto lontani nel futuro, ma ben prima potrebbero venire sviluppati dei computer ibridi elettro-ottici, che per trasferire dati utilizzano sia fotoni sia elettroni e i relativi componenti o circuiti.

- *Computer biologico ibrido.* Si tratta di uno strano dispositivo ibrido tra l'elettronico e il biologico, tra microchip al silicio o al carbonio e cellule neuronali viventi animali o umane. Già oggi cellule nervose di sanguisuga collegate a un computer sono in grado di compiere semplici operazioni aritmetiche, e si riescono ormai a coltivare in vitro reti di neuroni per poi farle crescere nel modo voluto su chip di silicio. Un domani si potrebbe trovare la maniera di unire le reti neurali biologiche a dei microprocessori, «coltivando» o «allevando» nuove generazioni di computer «viventi» e giungendo così a una reale convergenza tra organico e artificiale; perciò, a quel punto la distinzione tra cervello e computer diventerebbe del tutto irrilevante. Inoltre, un computer biologico ibrido potrebbe essere capace di pensare, di trovare soluzioni da solo e di svolgere compiti che il cervello umano svolge normalmente e che un

cervello completamente artificiale e inorganico non potrebbe forse mai svolgere. Questo biocomputer ibrido sarebbe miliardi di volte più veloce di un computer tradizionale e, interfacciato al nostro sistema nervoso, si potrebbe integrare nel corpo umano trasformandoci in veri cyborg.

Non sappiamo quale di queste soluzioni tecnologiche vincerà la sfida, ma una cosa è certa: se gli ostacoli che ancora permangono verranno superati, i computer di domani non saranno più basati sul silicio e, grazie ai principi del tutto nuovi su cui si fonderanno, raggiungeranno dimensioni ridottissime, lavoreranno a velocità altissime e avranno consumi energetici bassissimi; inoltre, potranno risolvere velocemente anche problemi di calcolo complesso insolubili con i tradizionali computer elettronici, come, per esempio, la decifrazione di messaggi codificati.

VERSO IL POST-UMANO: I NOSTRI POSSIBILI DISCENDENTI

Noi umani siamo rimasti essenzialmente identici, dal punto di vista genetico, negli ultimi centomila anni. Ma dovrebbe, a questo punto, risultare chiaro che in futuro la nostra specie potrebbe evolvere molto più rapidamente che in passato, in quanto, per la prima volta nella Storia, stiamo raggiungendo la capacità di intervenire sull'evoluzione biologica umana e, forse, addirittura quella di creare nuove specie non organiche, sintetiche, almeno altrettanto intelligenti della nostra.

Certo, abbiamo molta difficoltà a immaginare che l'uomo possa cambiare, in un tempo relativamente breve, diventando un essere dissimile o addirittura completamente diverso da noi. Tuttavia, nel prossimo futuro vi saranno così tante possibilità di auto-trasformazione che difficilmente la nostra specie rimarrà a

lungo nella sua forma attuale. Del resto, alcuni vorranno sicuramente mantenere la situazione presente; ma altri, più idealisti e coraggiosi, potrebbero prima o poi voler esplorare dei nuovi modi di essere, delle strade evolutive differenti. L'uomo è l'unica specie del mondo animale che può speciare quando decida di farlo, e può creare una specie non biologica – cioè basata sull'intelligenza artificiale – anche se quest'ultima vivrebbe rinchiusa nella sua prigione inorganica, a metà strada tra l'uomo e l'animale. Se cerchiamo di immaginare come sarà l'uomo tra un migliaio di anni, dobbiamo quindi considerare la possibilità che l'*Homo sapiens* attuale abbia già cessato di esistere, soppiantato da qualcos'altro grazie all'ingegneria genetica o ai progressi nel campo dell'intelligenza artificiale e della robotica avanzata.

I nostri eredi potrebbero essere umanoidi geneticamente ingegnerizzati, più veloci, più forti e più intelligenti degli umani, come i «replicanti» del film *Blade Runner* (1982) di Ridley Scott, usati per lavori da schiavi dai terrestri nelle loro colonie spaziali. In altre parole, il post-uomo potrebbe essere un «su-

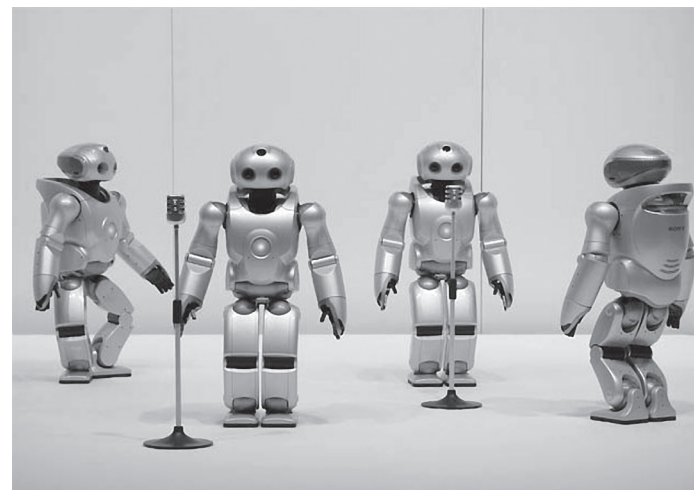


Figura 5.11. Robot antropomorfi nel ruolo di attori e cantanti. Saranno un giorno davvero al posto degli umani?

peruomo», una creatura biologica nettamente superiore a noi, risultato di molti miglioramenti parziali di un umano odierno, con modifiche riguardanti, in particolare, le capacità del corpo, del cervello e dei sensi. Mediante la manipolazione genetica, infatti, si potranno progettare esseri umani con attributi predeterminati e con caratteristiche fisiche particolari. Le manipolazioni sulla linea germinale, che sono in linea di principio permanenti in quanto si trasmettono alla progenie mediante la riproduzione sessuale – purché l'incrocio avvenga esclusivamente tra portatori della stessa modifica genetica – non sono oggi possibili, e non lo saranno per parecchio tempo a venire. Il modificare, invece, le proprie cellule somatiche, in modo da non rendere la modifica ereditabile, sarà possibile e permissibile già sul breve termine.

Se l'intervento sulla linea germinale dell'uomo può dare origine a una o più nuove «vere» specie biologiche, per quello sulla linea somatica si può parlare, al massimo, della nascita di una o più «quasi-specie», in quanto le capacità acquisite dal singolo individuo attraverso l'ingegneria genetica non si trasmettono alla discendenza con l'incrocio sessuale. La stessa cosa, del resto, si verifica nel caso della quasi-specie in parte organica e in parte artificiale rappresentata dal cyborg, o «uomo bionico»: un ibrido uomo-macchina che, nella nostra società, sta già velocemente diventando realtà. Il post-umano costituito dalla figura del *cyborg*, l'organismo cibernetico che su una base umana innesta delle componenti artificiali elettroniche o meccaniche, potrebbe essere caratterizzato da un «supercervello» o da un «supercorpo», ottenuto questa volta non mediante la manipolazione genetica, bensì attraverso protesi altamente tecnologiche interne o anche esterne al corpo. Lo sviluppo e l'applicazione di tali protesi saranno il frutto, non lontano nel tempo, del lavoro in campi come le neuroscienze, l'intelligenza artificiale, la robotica e la bionica.

Una quasi-specie completamente non biologica è rappresentata, infine, dai robot intelligenti delle prossime genera-

zioni, che, qualora venissero dotati della capacità di autoreplicarsi, potrebbero un giorno addirittura arrivare a costituire una nuova vera specie, sia pure non organica: il *Robo sapiens*. Alcuni pensano, in effetti, che i primi post-umani in grado potenzialmente di rimpiazzare l'attuale *Homo sapiens* saranno robot intelligenti. Incrocio tra potenti «super-computer» e sofisticati «super-robot», queste macchine futuribili potrebbero raggiungere il nostro livello o livelli decisamente superiori di intelligenza ed emulare, entro certi limiti, la nostra mente in quanto a pensieri, emozioni e sensazioni, ma anche carattere, morale, personalità, idee e comportamenti. Forse, però, i robot non saranno mai dotati di una coscienza simile a quella umana, cioè di una profonda consapevolezza di se stessi e del mondo che li circonda, in quanto per realizzare un robot consapevole quanto noi umani dovremmo costruire intorno al suo cervello un corpo altrettanto complesso del nostro, e questa potrebbe rivelarsi un'impresa disperata.

Forse, già nel Ventunesimo secolo, l'*Homo sapiens* dovrà rinunciare a definirsi l'essere più intelligente della Terra. Umanoidi geneticamente modificati, supercomputer rivoluzionari nell'hardware e nel software, e ibridi uomo-macchina, significheranno prima o poi un aumento senza precedenti dell'intelligenza individuale dell'uomo e delle macchine, ovvero il raggiungimento della cosiddetta «superintelligenza»: cioè, di un'intelligenza di gran lunga superiore a quella umana praticamente in ogni campo, inclusa la creatività scientifica.¹⁹ D'altro canto, l'unico modo che l'uomo moderno ha per evitare il sorpasso da parte delle superintelligenze artificiali di computer e robot è proprio quello di potenziarsi, di incrementare almeno nella stessa misura delle macchine la propria intelligenza diventando cyborg o intervenendo geneticamente su se stesso. Vi è, in realtà, un terzo modo, ben più fantascientifico, con cui l'uomo potrebbe un giorno diventare superintelligente, ed è quello di ridurre la mente umana a un semplice software che

«gira» su un potente elaboratore: è il cosiddetto *mind uploading* suggerito dai transumanisti.

L'*uploading* si basa sull'idea che la mente e tutti gli aspetti legati ad essa nascono dall'attività interna del nostro cervello, che già oggi può essere rilevata e visualizzata sullo schermo di un computer con sofisticate tecniche di *imaging*. Future tecnologie di scansione ad alta risoluzione potrebbero mostrare le connessioni tra i neuroni, mentre l'operazione di rilevare il loro stato elettrico, secondo i transumanisti, potrebbe venir compiuta, grazie alle nanotecnologie avanzate, da miliardi di nanorobot sguinzagliati in ogni capillare del cervello. Queste futuribili tecnologie permetterebbero forse di «copiare» su un computer l'esatta architettura di un determinato cervello umano, riproducendone senza grosse perdite, modifiche o distorsioni, il comportamento. Tuttavia, trasferire una mente dal supporto originario a un computer di enorme potenza, sostituto del corpo umano, significherebbe perdere la possibilità di nuotare, di mangiare, o di fare l'amore. In compenso, la mente trasferita, che non costituirebbe una nuova persona perché creata dall'uomo e fatta di tessuti non biologici, potrebbe sperimentare qualsiasi realtà virtuale.

Nell'immaginario dei transumanisti le nanotecnologie avanzate potrebbero, un domani, consentire non solo di fare una mappa neurone per neurone della struttura del cervello umano, permettendo di riprodurre in modo fedele su un computer la rete neuronale di un individuo, ma potrebbero anche aiutare a riportare in vita persone defunte. Se infatti una mente trasferita da un corpo ormai vecchio diviene, su un supporto elettronico, di fatto immortale, poiché è possibile farne diverse copie – un po' come avviene oggi con programmi e dati, duplicabili e inviabili da un computer all'altro – e inoltre non necessita di cibo o di riprodursi, il nostro corpo rimane sempre mortale. Così, l'unica possibilità di riportare nel futuro in vita un'intera persona scomparsa è quella di ricorrere, subito dopo la morte, alla *crionica*: la tecnica

di congelamento del corpo umano, per evitare il processo di decomposizione. Ciò nella speranza che qualcuno scongeli il corpo ibernato il giorno in cui si sapranno riparare, con minuscoli nanorobot simili a sottomarini, i danni provocati alle singole cellule dal rapido congelamento del cervello e di altri organi.²⁰

LO SPAZIO, ULTIMA FRONTIERA PER IL GENERE UMANO

Quali che siano i nostri discendenti, è probabilmente solo questione di tempo prima che essi si espandano nel cosmo. In effetti, molto del nostro futuro come specie dipenderà dalla colonizzazione dello spazio interstellare. Tuttavia, il problema non è se la nostra specie, così come è oggi, potrà espandersi nell'universo, bensì sapere se i nostri eredi saranno in grado di farlo: da quanto abbiamo visto finora, infatti, è alquanto improbabile che essi siano ancora degli *Homo sapiens*.

Lo spazio potrebbe rappresentare il posto dove l'umanità infine si indirizzerà: la cosiddetta «ultima frontiera» del genere umano. La nostra specie è l'unica capace di allontanarsi dalla superficie della Terra e, d'altra parte, se non abbandoneremo il Pianeta Azzurro potremmo essere, un giorno non lontano, condannati alla stagnazione tecnologica – o, addirittura, alla totale estinzione – a causa della sovrappopolazione, dell'esaurimento delle risorse, del deterioramento ambientale e delle armi di distruzione di massa con cui possiamo in qualsiasi momento autodistruggerci: in quest'ultima evenienza, saremmo semplicemente una sorta di esperimento fallito. L'esplorazione sistematica dello spazio e la sua successiva conquista definitiva, permanente, dovrebbero essere il seguito logico di tutti i progressi che hanno caratterizzato l'ultimo secolo. Sebbene questa strada non porti alla soluzione di tutti i problemi che ci affliggono, sarà comunque opportuno percorrerla, perché i nostri bisogni potrebbero un giorno superare le risorse ener-

getiche e minerali della Terra, e la nostra attività potrebbe alla fine minare il suo fragile ambiente.

Lo sbarco dell'uomo sulla Luna, a cavallo degli anni Sessanta e Settanta, è paragonabile al viaggio del vichingo Leif Ericson alla volta del Nord America: una visita con diversi secoli di anticipo sui tempi.²¹ Noi andremo stabilmente nello spazio solo quando tecnologie più sofisticate renderanno il volo spaziale più economico e questo si trasformerà in un vero e proprio *business*. Il divertimento e lo svago sono il modo più veloce con cui una tecnologia può diventare popolare e dare profitto. In un prossimo futuro, assisteremo alla nascita del turismo spaziale e allo sfruttamento minerario della Luna, di asteroidi e di comete. Quando i viaggi spaziali diventeranno così routine, saremo in grado di costruire habitat su larga scala, e un numero considerevole di persone migreranno nello spazio circumterrestre. Il passo successivo sarà andare a vivere lontano dalla Terra e dai pianeti del Sistema Solare, in isolate città-stato sospese nello spazio interplanetario, magari agganciate a piccoli asteroidi o comete. Solo dopo aver colonizzato il Sistema Solare, potremo pensare di espanderci, più o meno gradualmente, nella Galassia.

I nuovi mondi potrebbero essere colonizzati da umanoidi, individui geneticamente modificati affinché i loro corpi siano adatti al nuovo ambiente, cioè alla vita in colonie spaziali o su altri pianeti. Senza l'uso dell'ingegneria genetica, in effetti, non è realistico pensare di abbandonare la Terra e di creare delle ecologie vivibili in nuovi habitat adattandovi forme di vita terrestri. Intervenendo sul nostro patrimonio genetico, sarà possibile aumentare la resistenza del corpo umano alle radiazioni letali presenti nello spazio, allungare la durata della nostra vita e forse permettere l'*ibernazione* degli astronauti, ovvero la sospensione a tempo indeterminato del loro metabolismo corporeo, per affrontare un lungo viaggio interstellare. C'è chi si immagina, ad esempio, un equipaggio composto da

«astronidi»: creature solo vagamente umanoidi adatte a vivere nello spazio in quanto piccole, leggere e con braccia supplementari al posto delle gambe. In fondo, già oggi in laboratorio è facile trasformare le mosche nelle creature più bizzarre, e riusciamo a creare topi con zampe supplementari, o con più di due orecchie, o con molti occhi; e gli stessi geni che controllano il corpo di questi insetti esistono nell'uomo.

Colonizzare lo spazio interstellare significherebbe, per l'uomo, liberarsi dalla minaccia permanente di estinzione. Oggi la nostra specie occupa un piccolissimo pianeta in un immenso universo. Ma sulla Terra le specie confinate in singole isole corrono sempre il massimo pericolo di estinzione, e nel cosmo il nostro pianeta non è altro che un'isola minuscola. Inoltre, mai in passato la nostra civiltà tecnologica ha avuto i mezzi per autodistruggersi e per distruggere il pianeta che la ospita come li ha, o

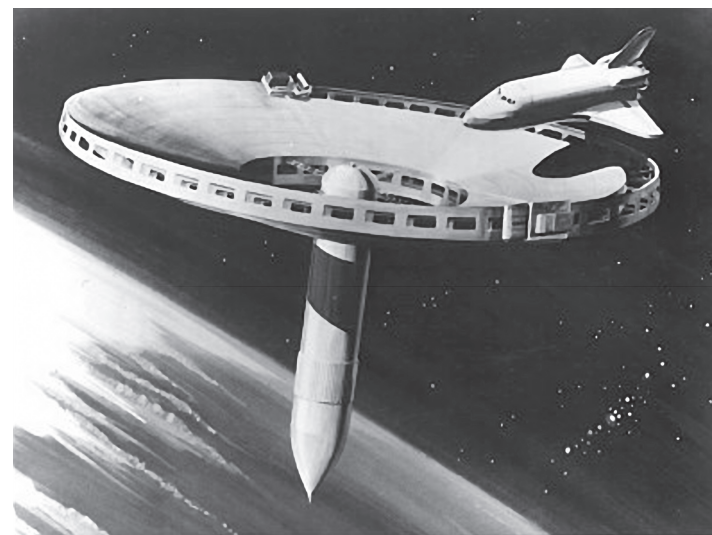


Figura 5.12. Una colonia spaziale artificiale. Soltanto la conquista permanente dello spazio interstellare libererebbe l'umanità dal rischio di estinzione.

sta per avere, nella presente epoca storica. Tuttavia, quando in un lontano futuro le distanze tra le colonie spaziali o i sistemi stellari colonizzati dall'uomo o dai suoi discendenti saranno troppo grandi per venire percorse su una scala temporale umana, ciascuna di esse costituirà un mondo a se stante, isolato dagli altri dallo spazio e dal tempo. Perciò queste colonie, in grado di sopravvivere autonomamente nello spazio e lontane fra loro e dalla Terra, costituirebbero una sorta di «polizza di assicurazione» sulla vita della specie umana contro qualsiasi catastrofe naturale o provocata dall'uomo che si verificasse sul nostro pianeta.²²

In un futuro remoto, la nostra galassia potrebbe essere popolata da molte specie indipendenti, ma tutte nostre discendenti. Infatti, le differenze genetiche prodotte da eventuali biotecnologie avanzate applicate all'uomo per cambiarne o migliorarne aspetto, prestazioni e capacità, sulla Terra potrebbero diventare causa di intolleranza politica e di conflitti sociali fra liberali e conservatori, fra credenti e non credenti, tra ricchi e poveri. Invece, i nostri discendenti che su una colonia spaziale, in completa autonomia e isolamento, decidessero di intervenire geneticamente su se stessi, potrebbero liberamente e senza troppi problemi diversificarsi dalla nostra specie. È ipotizzabile, anzi, una rapida evoluzione della nostra specie in una moltitudine di specie intelligenti adattate a una varietà di situazioni e di ambienti fisici: il caldo e il freddo, l'assenza di gravità e una gravità intensa, una pressione elevata e la vita nel vuoto. Al punto che, se questi lontani discendenti umani dovessero, dopo mille anni, entrare di nuovo in contatto fisico tra loro, non sarebbero forse nemmeno in grado di riconoscersi come derivanti da un unico ceppo.

La conquista dello spazio interstellare non è tuttavia un'impresa alla portata dell'attuale civiltà tecnologica terrestre. In una classificazione proposta dall'astrofisico sovietico Nikolai Kardashev nel 1964, esistono infatti tre livelli di evoluzione di una civiltà tecnologica, legati al suo consumo di energia. Le civiltà

di Tipo I, o planetarie, utilizzano tutta l'energia irradiata dalla propria stella sull'intera superficie del loro pianeta, che è compresa tra i 10^{16} e i 10^{17} watt. Le civiltà di Tipo II, o stellari, come la civiltà protagonista della serie *Star Trek*, sono capaci di imbrigliare e impiegare l'intera quantità di radiazione emessa dalla propria stella, che varia tra i 10^{26} e i 10^{27} watt. Infine, le civiltà di Tipo III o galattiche, come l'impero galattico del film *Guerre stellari*, hanno accesso a un'energia comparabile con la luminosità della propria galassia, fra i 10^{37} e i 10^{38} watt. Noi oggi siamo una civiltà appena di Tipo 0,7, ma tra uno o due secoli potremmo raggiungere il Tipo I.²³ I passaggi ai livelli successivi, estrapolando la crescita odierna del consumo energetico, dovrebbero avvenire, rispettivamente, fra 800 anni e 10.000 anni.

In generale, maggiore è il consumo di energia di una civiltà tecnologica e più vaste sono la regione di spazio da essa occupata e la sua scala di attività. Le civiltà di Tipo I sono in grado di modificare il clima su scala globale, di muovere i primi passi nella conquista dello spazio e hanno una buona comprensione delle leggi della fisica, al punto da aver sviluppato la tecnologia della fusione nucleare controllata per risolvere il problema della produzione di energia. Le civiltà di Tipo II sono società assai più avanzate della nostra, capaci di ristrutturare il loro intero sistema planetario e di imbarcarsi in imprese di esplorazione o di colonizzazione interstellare, di realizzare opere di ingegneria cosmica e, soprattutto, di sviluppare ad altissimo livello la robotica, l'intelligenza artificiale e la genetica. Le civiltà di Tipo III, infine, sono in grado di costruire strutture su scala molto grande, delle vere e proprie opere di astroingegneria, al limite ristrutturando completamente la galassia di appartenenza. Una civiltà del genere potrebbe avere una durata superiore al milione di anni, e i suoi individui potrebbero aver scoperto i segreti dell'immortalità.

Non sappiamo se una civiltà di superuomini o di supermacchine nostre discendenti colonizzerà, un giorno, il cosmo. Una

civiltà di Kardashev di Tipo I potrebbe ragionevolmente intraprendere un'esplorazione con sonde automatiche delle stelle che popolano i dintorni solari. Ma per andare di persona su un'altra galassia o per colonizzare la nostra in tempi brevi, occorrerebbe poter viaggiare più velocemente della luce, una barriera invalicabile. La teoria della relatività generale di Einstein pare offrire, sul piano teorico, alcune possibilità di viaggi, per l'appunto, a velocità «superluminali»: per esempio, attraverso la creazione di cunicoli (*wormholes*) nello spazio-tempo o di deformazioni locali nella struttura di quest'ultimo (*motori a curvatura*), che richiedono entrambi grandissime quantità di energia. In pratica, i voli interstellari con equipaggio umano potrebbero essere alla portata solo di una civiltà di Kardashev di Tipo II, sia dal punto di vista energetico che del progresso scientifico-tecnologico: è quindi possibile che tra secoli, o più verosimilmente millenni, diventino praticabili pure per la nostra civiltà tecnologica.

LA VARIEGATA SOCIETÀ DEI POST-UMANI

Non sappiamo quanto tempo passerà prima che l'*Homo sapiens* diventi qualcosa di diverso: prima, cioè, che una specie futura nostra discendente, biologica o sintetica, si giri indietro e guardi verso di noi riconoscendoci come suoi predecessori. Ma, in conseguenza dell'accelerazione esponenziale del progresso scientifico-tecnologico, quel giorno potrebbe essere meno lontano di quanto si pensi.

Naturalmente, tra l'essere umano così come è oggi e una persona ridotta a un semplice software quale immaginata dai transumanisti, esistono infinite possibilità intermedie, e il concetto di specie come «entità riconoscibile e unica per sua natura», nel caso dell'uomo, è forse destinato a diventare anacronistico. Tuttavia, ai fini pratici si possono individuare essenzialmente tre tipi di post-umani, cioè di discendenti dell'*Homo sapiens* che, in

quanto – per certi aspetti – nettamente superiori a noi, non possono venire considerati appartenenti alla nostra stessa specie: (1) gli umanoidi geneticamente modificati sulla linea somatica o germinale, che rappresentano una specie artificiale di superumani progettata «su misura» dall'uomo anziché dalla natura; (2) i *cyborg*, o uomini bionici, creature in parte biologiche e in parte meccaniche, veri e propri ibridi uomo-macchina che costituiscono una quasi-specie, o specie in senso lato; (3) i *Robo sapiens*, robot assai intelligenti dotati di supercomputer rivoluzionari, che formano una specie artificiale inorganica in grado, a sua volta, di riprodursi e di speciare, sia pure non biologicamente.

Le tre strade appena illustrate potrebbero condurre a un singolo tipo post-umano, o più verosimilmente – soprattutto nel caso dei *cyborg* – a un'intera varietà di post-umani. È però difficile dire quale tipo di creatura post-umana emergerà per prima e darà vita a un'intera società di post-umani. In effetti, la nostra specie potrebbe, in futuro, diversificarsi e separarsi gradualmente in vari tipi di esseri post-umani, i quali potrebbero coesistere pacificamente insieme per un certo tempo ed evolvere, solo in seguito, in specie separate culturalmente e socialmente (se non da un punto di vista fisico o biologico). Inizialmente, gli umani rimarrebbero dominanti a causa del loro vasto numero, ma l'influenza e l'entità numerica dei post-umani aumenterebbero poi sempre più. Purtroppo, non abbiamo idea di come i post-umani potranno interagire con gli umani in questa fase di transizione, sempre ammesso che i post-umani vorranno farlo: dunque, non è facile immaginarsi la vita in una società in parte umana e in parte post-umana, o addirittura totalmente post-umana; ma una simile società sarebbe senz'altro assai diversa dalla nostra.

L'ingegneria genetica, in particolare, offrirà alle persone soluzioni tecniche per migliorare se stesse e i propri figli, nonché per creare nuove specie agendo sulla linea germinale. All'inizio il miglioramento della razza umana, sia pure solo sulla linea somatica, sarà forse ufficialmente disapprovato e proibito dalla

legge, ma ampiamente praticato, soprattutto in quei paesi dove le leggi saranno meno restrittive o potranno venire aggirate. In seguito, gruppi più o meno ristretti di uomini e donne potrebbero desiderare figli superumani transgenici sulla linea germinale per potenziare alcuni caratteri – come la prestanza fisica, le capacità mentali, la longevità – e trasmettere queste modifiche alla discendenza mediante la riproduzione sessuale.²⁴ In questo modo potrebbe nascere una «vera» specie nuova e distinta dagli umani più convenzionali, dal momento che per conservare le loro caratteristiche nelle generazioni successive (con una probabilità di successo pari al 100 per cento), gli esseri umani geneticamente modificati dovrebbero incrociarsi esclusivamente con altri adulti transgenici che abbiano subito le stesse modifiche.

D'altra parte, anche i robot potrebbero diventare una nuova specie, se e quando acquisiranno la capacità di auto-replicarsi. Oggi questo traguardo può apparire fantascientifico quanto l'intervento genetico sulla linea germinale, ma i progressi in questo campo potrebbero essere relativamente veloci. Una volta creato il robot intelligente, il passo verso la specie robot – perché, cioè, la macchina possa fare copie di se stessa – è breve. Certo, prima di poterci sedere al bar a chiacchierare con un umanoide elettromeccanico, dovranno passare, come minimo, decenni. Ma un giorno, nel tentativo di realizzare il grande sogno della robotica, ossia che macchine intelligenti possano lavorare al posto nostro, le macchine ci rimpiazzeranno davvero, e forse addirittura ci succederanno se noi non evolveremo altrettanto rapidamente. Tuttavia, se i robot saranno un alleato intelligente o un'oscura minaccia, dipende soprattutto da noi: siamo davvero sicuri di voler condividere il mondo con creature che avrebbero molta più intelligenza, memoria e forza di noi? Per la prima volta nella Storia, infatti, potremmo trovarci di fronte a una specie in grado di dominarci.

Il post-uomo, dunque, potrebbe essere completamente sintetico, cioè basato sull'intelligenza artificiale, oppure il risultato di

molti miglioramenti parziali di un essere umano o transumano, cioè un essere biologico. Più specie di individui geneticamente modificati sulla linea germinale e di robot intelligenti potrebbero convivere sulla Terra con almeno altrettante quasi-specie di uomini transgenici sulla linea somatica e di «semplici» cyborg. Le implicazioni etiche, sociologiche, estetiche e culturali sulla strada per ottenere una mente e un corpo superiore, per diventare potenzialmente immortali e per conquistare lo spazio, saranno enormi. Per esempio, i primi membri di queste nuove specie di superuomini potrebbero appartenere alle popolazioni dei paesi ricchi e industrializzati, nonché alle classi sociali superiori di tali nazioni. È difficile, dunque, che la nostra società rimanga a lungo come è ora, quando vi sarà la possibilità di migliorare le proprie prestazioni fisico-intellettive e, almeno apparentemente, la qualità della propria vita. Del resto, già oggi siamo ben avviati in questa direzione, soprattutto sul versante del cyborg.

Ci sono, in effetti, molte tecnologie indipendenti che permetteranno di arrivare a un mondo post-umano, ma vi è incertezza su quale verrà perfezionata per prima. A ciò si aggiunge l'incognita di quando potrebbe effettivamente avvenire la conquista definitiva dello spazio con colonie umane permanenti, che permetterebbe una diversificazione della specie umana e l'esplorazione di nuove strade evolutive molto più ampia e rapida che non sulla Terra. In altre parole, l'uomo si trasformerà *prima* di colonizzare lo spazio interstellare oppure solo *dopo* aver spostato il proprio baricentro vitale al di fuori del nostro piccolo pianeta? Le differenze tra i due scenari sono notevoli. Infatti, i post-umani sulla Terra potrebbero comportarsi come semidèi benevoli nei confronti degli umani superstiti prendendosi cura di loro o, al contrario, decidere di portare l'ormai «vecchia» specie umana all'estinzione. Perciò, le motivazioni e le scelte umane, nonché la differente velocità di sviluppo delle varie tecnologie, saranno decisive nel determinare i tempi della nostra espansione nello spazio e il ruolo di quest'ultimo nel futuro del genere umano.



Figura 5.14. La conquista definitiva dello spazio con varie colonie umane indipendenti permetterà alla nostra specie di diversificarsi, e quindi di seguire cammini evolutivi differenti. Non sappiamo, però, se e quando l'uomo si trasformerà in qualcosa di post-umano prima di espandersi nello spazio profondo.

Oggi l'uomo sta entrando – o meglio, è già da poco entrato – in un'era di transizione caratterizzata da una profonda rivisitazione del proprio corpo e delle sue prestazioni ad opera della tecnologia. Per migliaia di anni, in fondo, l'uomo ha fuso e forgiato i materiali inerti quali i metalli per crearne di nuovi più utili, e ora stiamo iniziando a fare lo stesso con i materiali viventi, spostandoci dall'era della pirotecnologia a quella della biotecnologia. Adesso, nei confronti del vivente, operiamo un

po' come facevano nei confronti della materia inerte gli alchimisti del Medioevo, predecessori dei chimici moderni e grandi sognatori (alla ricerca, fra l'altro, dell'elisir di lunga vita e della pietra filosofale): ci limitiamo a poco più di un «taglia e incolla» semiempirico da un DNA all'altro, stando a vedere cosa succede. Un giorno, tuttavia, saremo probabilmente in grado di comprendere il linguaggio del DNA e di riscrivere noi stessi questo codice, arrivando – una volta compresa a fondo anche la complessità dell'organizzazione cellulare – alla progettazione e alla totale costruzione in laboratorio di forme di vita nuove e senza precedenti sulla Terra.²⁵ Ebbene, quel giorno, in un certo senso, ci saremo sostituiti a Dio!

6. IL DESTINO DELL'UNIVERSO

*E così, un certo giorno,
i maestosi baluardi del possente universo
accerchiati con forza ostile si piegheranno
e affronteranno il declino cadendo in rovina.*

(Lucrezio)

Quale sarà il lontano futuro della Terra, del Sistema Solare, della Galassia e, infine, dell'intero universo? La domanda non è peregrina. Noi, come esseri pensanti, siamo parte del cosmo proprio come i pianeti, le stelle e le galassie, e il nostro destino è inestricabilmente legato alla sua evoluzione. Oggi sappiamo che, tra decine o centinaia di milioni di anni, i nostri eventuali eredi rimasti a popolare la Terra, e quelli che nel frattempo si saranno spinti nello spazio interstellare, dovranno fare i conti con tutta una serie di possibili catastrofi astrofisiche che ne minacceranno la sopravvivenza: impatti con grossi asteroidi e comete, esplosioni di supernove vicine, lampi di raggi gamma, spasmi di instabilità del Sole, collisioni con oggetti cosmici, eccetera. Poi, nel giro di qualche miliardo di anni, il Sistema Solare diventerà un luogo sempre più inospitale e la stessa cosa accadrà, sebbene per ragioni diverse e su tempi scala assai più lunghi, alla nostra galassia. Ma quale sarà la fine ultima dell'universo nel suo insieme – ovvero, collasso finale o espansione senza limiti – non siamo, purtroppo, in grado di prevederlo.

LA CADUTA SULLA TERRA DI ASTEROIDI E COMETE

Neppure lo scrittore più immaginifico può prevedere come saranno i nostri eventuali discendenti terrestri nel futuro più remoto; né, tanto meno, come reagiranno alle sfide che l'ambiente planetario porrà alla loro esistenza. Ma, nel corso dei prossimi miliardi di anni, essi certamente si troveranno ad affrontare il problema che ha accompagnato la storia della vita sin dal suo inizio: il «bombardamento» della Terra da parte di grossi corpi provenienti dallo spazio.

Dal paziente studio degli antichi resti fossili, abbiamo imparato che quello associato alla fine dei dinosauri non è stato l'unico grande evento di estinzione ad avere in passato colpito la vita sul nostro pianeta. Negli ultimi 600 milioni di anni, da quando cioè sono apparsi gli organismi complessi pluricellulari, vi sono stati ben 15 episodi di *estinzioni di massa*, ovvero periodi piuttosto brevi su una scala di tempo geologica in cui si estinsero gran parte delle specie all'epoca viventi sulla Terra. In particolare, vi sono state cinque «grandi» estinzioni di massa, ciascuna delle quali ha eliminato, nel giro di meno di un milione di anni, almeno il 65 percento delle specie di invertebrati marini. L'estinzione più catastrofica è stata quella che, 251 milioni di anni fa, pose fine all'era geologica del Permiano, eliminando oltre il 90 percento delle specie marine. Le altre quattro grandi estinzioni di massa si sono verificate 435, 365, 220 e 65 milioni di anni fa: cioè, rispettivamente, alla fine dell'Ordoviciano, del Devoniano, del Triassico e del Cretaceo.

La più famosa estinzione di massa, quella che 65 milioni di anni fa provocò la scomparsa dei dinosauri e del 75 percento degli invertebrati marini, sembra ormai certamente collegata allo schianto sulla Terra di un corpo asteroidale o cometario: lo testimonia la presenza, nel golfo del Messico, del cratere associato – il Chixculub – e di un'anomala abbondanza, negli strati sedimentari relativi a quell'epoca, di un elemento contenuto in di-

screta concentrazione in alcuni meteoriti, l'iridio.¹ Ma di recente si è scoperto che pure l'estinzione più catastrofica in assoluto, quella del tardo Permiano, fu probabilmente innescata dalla caduta di un corpo dallo spazio. Difatti, in numerosi sedimenti sparsi per il globo e risalenti a 251 milioni di anni fa, sono state trovate molecole di fullerene contenenti elio e argon con rapporti isotopici non presenti sulla Terra, simili a quelli riscontrati nelle comete o negli asteroidi. Tuttavia, in questo caso sono state rinvenute concentrazioni di iridio modeste rispetto all'evento legato ai dinosauri, suggerendo un urto cometario (oppure di un asteroide, ma contro l'oceano anziché la terraferma).

Pare che gli impatti di asteroidi e comete possano essere implicati in qualche altra estinzione di massa, tuttavia provarlo non è facile: 200 milioni di anni fa le terre emerse erano riunite



Figura 6.1. Un'immagine artistica dell'impatto di un asteroide contro la Terra, come quello che, 65 milioni di anni fa, avrebbe causato la catastrofe climatica ed ecologica che condusse all'estinzione dei dinosauri.

tutte in un gigantesco supercontinente chiamato *Pangea*, ma in seguito il pianeta ha subito dei cambiamenti a causa dei lenti e inarrestabili spostamenti delle zolle continentali, che hanno modificato profondamente la superficie planetaria:² il cratere associato a un'antica estinzione può quindi essere stato cancellato dai successivi moti tettonici, e anche la ricerca di altri indizi non si presenta affatto semplice. D'altra parte, i cambiamenti climatici e le conseguenti variazioni del livello marino associati alla maggior parte delle estinzioni di massa potrebbero essere stati le conseguenze di un impatto ma anche di altri fenomeni naturali: dalle glaciazioni alla stessa deriva dei continenti. Pertanto, non esiste un meccanismo accettato da tutti che possa spiegare il fenomeno delle estinzioni di massa, sebbene la maggior parte degli scienziati concordino oggi sul fatto che gli impatti di corpi extraterrestri svolsero un ruolo decisamente importante.

A questo proposito, è interessante osservare che, come notato già nel 1984 da Jack Sepkoski e David Raup, i maggiori episodi di estinzione di massa registrati nei circa 600 milioni di anni di vita pluricellulare terrestre sono spazati fra loro nel tempo abbastanza regolarmente, e si sono verificati approssimativamente ogni 26 milioni di anni. Così, nel 1985, gli astronomi Daniel Whitmire e John Matese hanno ipotizzato l'esistenza di una stella compagna del Sole ma più piccola e scura – chiamata *Nemesis* – che si troverebbe a una distanza compresa tra 20.000 e 90.000 volte quella Terra-Sole, e che periodicamente perturberebbe le orbite delle comete della Nube di Oort, provocando un notevole incremento degli impatti cometari contro la Terra. Negli ultimi anni, alcuni studi del moto orbitale di comete provenienti da questa Nube hanno, in effetti, evidenziato delle anomalie compatibili con l'esistenza, a una distanza pari a circa 30.000 volte quella Terra-Sole, di un corpo perturbatore: una stella nana bruna o un pianeta almeno di massa gioviana, entrambi troppo piccoli per essere scoperti con la presente generazione di strumenti astronomici.

A prescindere dal fatto che questa teoria delle estinzioni periodiche dovuta agli impatti cometari sia fondata o meno, non c'è dubbio che, soprattutto sul lunghissimo periodo – quando, cioè, la Nube di Oort può essere fortemente perturbata da stelle di passaggio o da nubi molecolari presenti all'interno della Galassia – le comete rappresentino per il nostro pianeta una minaccia paragonabile a quella attuale degli asteroidi. Abbiamo avuto un «assaggio» delle possibili conseguenze nel 1994, quando, tra il 16 e il 22 luglio, abbiamo assistito per la prima volta «in diretta» a una collisione cosmica: ventuno frammenti della cometa Shoemaker-Levy 9 si sono tuffati, alla velocità di oltre 60 chilometri al secondo, nella fitta coltre di nubi che ricopre Giove, perturbandone in modo ben visibile al telescopio l'atmosfera. Ma se tali frammenti, invece di centrare questo gigante del Sistema Solare, avessero colpito la Terra, lo stesso evento sarebbe stato terrificante, di una potenza devastatrice inferiore, forse, solo a quella dell'impatto che causò la fine dei dinosauri.

In conclusione, su una scala di tempo dell'ordine dei 100 milioni di anni, le estinzioni da impatto saranno senz'altro la più seria minaccia di tipo astrofisico per la vita terrestre e per gli eventuali discendenti dell'uomo ancora viventi sul pianeta. Se le estinzioni di massa sono davvero periodiche, allora oggi dovremmo essere circa alla metà di un ciclo e potremo stare relativamente tranquilli per almeno 10 milioni di anni. Ma, in ogni caso, è solo questione di tempo prima che un nuovo grosso corpo di natura asteroidale o cometaria arrivi a colpire la Terra, come è già accaduto in passato. La popolazione di oggetti che oggi ci minaccia, infatti, in tempi che vanno dai 100.000 anni ai 100 milioni di anni sarà rimossa dalle interazioni gravitazionali planetarie, che porteranno questi corpi a fuggire dal Sistema Solare o a collidere con il Sole o con dei pianeti; nel frattempo, però, nuovi potenziali proiettili continueranno a fuoriuscire dai serbatoi asteroidali e cometari, perpetuando la minaccia di una catastrofica collisione cosmica.

MINACCE ASTROFISICHE PER IL SISTEMA SOLARE

In un lontano futuro, oltre agli impatti contro la Terra di asteroidi e comete, si potrebbero verificare degli eventi ancora più catastrofici, causati da minacce esterne al Sistema Solare. Si tratta di fenomeni nuovi o che, pur essendosi manifestati anche in passato, potrebbero replicarsi con diversa intensità e con diverse conseguenze. Queste minacce sono rappresentate dagli oggetti vaganti nello spazio interstellare e dalle violente esplosioni di alcuni corpi celesti.

Il Sistema Solare, infatti, si trova immerso in quel vastissimo sistema stellare che è la Via Lattea, una galassia composta da almeno 200 miliardi di stelle di massa molto varia, che, partendo da un minimo di qualche centesimo della massa del Sole, può giungere fino a cento volte la massa solare. La Galassia ha la forma di un disco molto appiattito del diametro di circa 100.000 anni luce, con una protuberanza centrale da cui si dipartono alcuni bracci spiraliformi formati da stelle e da nubi di gas. Questi oggetti orbitano lentamente attorno al centro galattico insieme a un numero imprecisato di comete, asteroidi, pianeti, satelliti e di «cadaveri stellari» più o meno esotici: nane brune, stelle di neutroni e buchi neri. Il Sole, che con tutto il suo corteo di pianeti e satelliti è situato su uno dei bracci a spirale, impiega 220 milioni di anni per completare un'orbita intorno al centro della Galassia, da cui dista circa 30.000 anni luce. Durante questo lungo percorso, il nostro sistema planetario è, purtroppo, soggetto a parecchie potenziali disavventure.

La minaccia più ovvia è costituita dall'incontro con grossi oggetti esterni, quali pianeti vaganti, nane brune e buchi neri. In fondo, come il nostro spazio interplanetario è popolato da una miriade di corpi più piccoli dei pianeti, quali gli asteroidi e le comete, così lo spazio interstellare galattico è probabilmente popolato da una congerie di corpi celesti più piccoli delle stelle «normali» che vediamo nel cielo. Per fortuna, date le grandi

distanze che separano, in media, le stelle della nostra galassia, è assai poco probabile che, nei prossimi miliardi di anni, vi sia una vera e propria collisione contro la Terra (un evento capace di provocare la distruzione fisica del nostro pianeta) o che la struttura su grande scala del Sistema Solare sia sconvolta dagli effetti gravitazionali di un incontro ravvicinato. Tuttavia, la difficoltà nello scoprire, perfino con i potenti telescopi e satelliti per l'infrarosso finora lanciati nello spazio, corpi così poco o per niente luminosi come quelli appena citati, non permette di fare previsioni più precise in proposito.

Si possono, comunque, dire sin d'ora alcune cose sui futuri incontri ravvicinati cosmici del nostro sistema planetario. Estrapolando il moto per i prossimi 10 milioni di anni di 120.000 stelle normali presenti nei dintorni solari, un gruppo di astronomi ha recentemente calcolato che nessuno di questi astri è in rotta verso la Terra, e che solo la nana rossa *Gliese 710* sembra capace di avvicinarsi, tra mezzo milione di anni, così tanto al Sistema Solare da perturbare la Nube di Oort e spingere molte delle sue comete verso il nostro pianeta. Ben poco sappiamo, però, su cosa potrebbe accadere su una scala di tempo più lunga, dell'ordine dei 100 milioni di anni o superiore. L'unica certezza è che il nostro Sistema Solare, nella sua rotazione intorno al centro della Via Lattea, continuerà ad attraversare, all'incirca ogni 30 milioni di anni, il piano galattico e le nubi di gas e polveri che lo affollano: secondo alcuni, ciò potrebbe perturbare la Nube di Oort e di conseguenza, come detto, spiegare la periodicità delle estinzioni di massa del passato.

L'altra grande minaccia per il nostro sistema planetario, durante il suo peregrinare per la Galassia, è l'esplosione in supernova di una stella che in quel momento gli si trovi a passare vicino. Infatti, quando una stella abbastanza più grande del Sole esaurisce tutte le possibili reazioni di fusione nucleare che la possano sorreggere, collassa innescando un processo esplosivo che libera verso l'esterno parte della materia stellare e una gran-

dissima quantità di energia sotto forma di neutrini e di radiazioni; al termine dell'evento, come residuo dell'astro originario rimane una stella di neutroni di pochi chilometri di diametro e la materia scagliata via nello spazio. Abbiamo assistito «in diretta» a questo violento fenomeno celeste il 23 febbraio 1987, quando una stella è esplosa all'improvviso nella Grande Nube di Magellano, una piccola galassia satellite distante 163.000 anni luce dalla Terra; e nell'ultimo millennio vi sono state diverse supernove galattiche registrate dalle cronache storiche, tutte lontane fra i 6.500 e i 33.000 anni luce.

Il pericolo rappresentato dalle supernove è dovuto al fatto che, se la loro esplosione si verificasse entro un raggio di poche decine di anni luce dal Sistema Solare, l'atmosfera terrestre verrebbe investita senza alcun preavviso da una radiazione gamma così intensa da strappare alla Terra lo strato di ozono, indispensabile per proteggere dai raggi ultravioletti del Sole soprattutto i piccoli organismi alla base della catena alimentare marina. Per fortuna, attualmente la stella più vicina che potrebbe esplodere in supernova dista oltre 1.000 anni luce. Inoltre la frequenza di

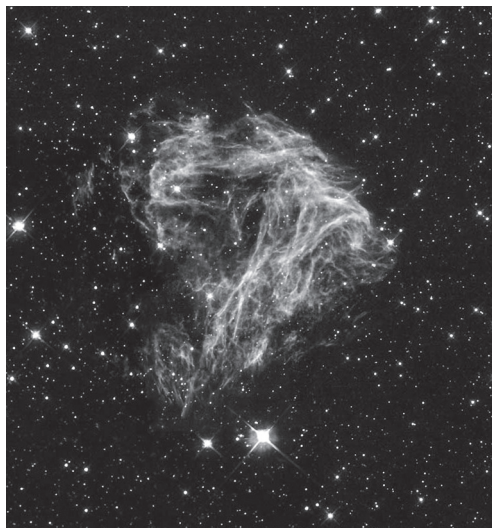


Figura 6.2. Il residuo dell'esplosione di una supernova fotografato nel 2003 dal telescopio spaziale Hubble. Chiamato LMC N49, rappresenta il più luminoso oggetto del genere presente nella Piccola Nube di Magellano, una galassia nana distante 169.000 anni luce dalla Terra.

questi eventi, stimata dalle osservazioni di altre galassie, è di 1-2 per secolo: dunque, un'esplosione a 30 anni luce da noi si potrebbe verificare una volta ogni miliardo di anni. Tale intervallo di tempo tra due eventi diventa inoltre cento volte più grande per esplosioni ben più vicine al Sistema Solare, nelle quali gli energetici raggi gamma sarebbero capaci di attraversare l'atmosfera terrestre e si rivelerebbero perciò fatali anche per gli esseri umani o per i loro futuri discendenti.

Se le supernove costituiscono, sul lunghissimo termine, un qualche pericolo, allora potenzialmente ancora più temibili – in quanto ad effetti – sono i *lampi di raggi gamma*, le esplosioni cosmiche extragalattiche, migliaia di volte più potenti delle supernove, scoperte alla fine degli anni Sessanta dai satelliti militari per la sorveglianza degli accordi sui test nucleari. Recentemente, sono emerse le prove che almeno una sorgente di questi che rappresentano i fenomeni di gran lunga più violenti verificantisi nell'universo sono le *ipernove*: esplosioni di stelle di massa decine di volte più grande di quella del Sole che lasciano come residuo una stella di neutroni o addirittura un piccolo buco nero. Fortunatamente, anche per questi eventi la frequenza nella Galassia è molto bassa, stimata all'incirca in uno ogni 10 milioni di anni. Ciò significa che un lampo di raggi gamma potrebbe verificarsi entro qualche centinaio di anni luce dalla Terra – distanza alla quale potrebbe sterilizzare il pianeta – in tempi dell'ordine, almeno, di 10 miliardi di anni.³

FINCHÉ IL SOLE NON DISTRUGGERÀ I SUOI PIANETI

Se, verosimilmente, nessuna delle precedenti catastrofi astrofisiche interverrà nei prossimi 4 o 5 miliardi di anni nel determinare il futuro e la fine del Sistema Solare – o più semplicemente della Terra – quale noi oggi lo conosciamo, il destino del Pianeta Azzurro e del nostro sistema planetario dipenderà allora da

cause interne al sistema stesso; e cioè, in pratica, dall'evoluzione fisica del Sole e, prima ancora, da quella dinamica dei nove pianeti che gli orbitano attorno.

Come abbiamo visto nel precedente paragrafo, infatti, è poco probabile che nel giro di qualche miliardo di anni – la scala di tempo associata alla massima possibile durata futura del Sistema Solare – la struttura su grande scala del nostro sistema planetario possa subire drammatici sconvolgimenti a causa degli effetti gravitazionali di un incontro ravvicinato con qualche grosso corpo celeste vagante proveniente dall'esterno del sistema. Pertanto, occorre domandarsi se ci saranno, in questo lunghissimo periodo di tempo, delle conseguenze sulla struttura del Sistema Solare prodotte, invece, dalle mutue interazioni gravitazionali fra i pianeti che lo compongono. In altre parole, si tratta di capire se il nostro sistema planetario sia dinamicamente stabile o meno: se vi sia, insomma, la possibilità che su tempi dell'ordine delle centinaia di milioni di anni, o più lunghi, le orbite planetarie possano modificarsi a tal punto da provocare, nello specifico caso terrestre, gravi effetti sul clima e, in generale, collisioni tra pianeti diversi, o anche solo incontri ravvicinati tra loro, che potrebbero provocare la fuga di un corpo dal sistema.

Purtroppo, il Sistema Solare è *caotico*, cioè gli errori in qualsiasi predizione della sua evoluzione futura crescono in maniera esponenziale quanto più la predizione si spinge in là nel tempo. Nonostante ciò, le moderne teorie matematiche sul caos nei sistemi dinamici e le simulazioni numeriche con potenti e veloci computer mostrano che il Sistema Solare è stabile nei suoi grandi pianeti esterni (Giove, Saturno, Urano e Nettuno), che rimarranno legati al Sole in orbite quasi circolari per miliardi di anni. Al contrario, le orbite dei piccoli pianeti interni – Mercurio, Venere, Terra e Marte – hanno un'evoluzione irregolare, «caotica», già su tempi intorno ai 10 milioni di anni. Possiamo comunque essere sicuri che la Terra non avrà incontri ravvicinati con altri pianeti su tempi non troppo lunghi, e le simulazioni mostrano

che non li avrà nemmeno su un tempo comparabile a quello della vita residua del Sole. Diversamente, l'orbita di Mercurio (e di Plutone) è instabile, e potrebbe diventare così ellittica da condurre il corpo all'incontro ravvicinato con il vicino Venere e, in seguito, alla collisione col Sole o alla fuga dal sistema.

Per quanto riguarda, invece, il clima futuro del nostro pianeta, sulla scala di tempo delle centinaia di migliaia di anni esso dovrebbe subire importanti cambiamenti, dovuti alle variazioni astronomiche dei parametri orbitali terrestri, che dalla paleoclimatologia sappiamo avere già in passato provocato ciclicamente delle glaciazioni. Questa ciclicità dipende, come suggerito negli anni Venti dall'astronomo serbo Milutin Milankovitch, dal complesso sommarsi e compensarsi delle fluttuazioni periodiche di tre parametri legati al movimento del nostro pianeta: l'eccentricità dell'orbita (cioè il suo essere più o meno ellittica), il grado di inclinazione dell'asse di rotazione terrestre e la direzione di tale inclinazione. I tre parametri variano, rispettivamente, secondo un ciclo di 100.000, 41.000 e 22.000 anni, e le analisi dei fossili nei sedimenti hanno mostrato che questi cicli orbitali coincidono con le glaciazioni degli ultimi 500.000 anni.⁴ Pertanto, se l'uomo non avrà nel frattempo alterato in modo drammatico il clima terrestre, in base a tale teoria già fra qualche migliaio di anni potrebbe verificarsi una nuova era glaciale.

Il moto della Terra intorno al Sole, dunque, subisce piccole variazioni periodiche i cui effetti sul clima potrebbero essere tuttavia catastrofici se queste diventassero, un giorno, molto più ampie. Anche se nei prossimi 10-20 milioni di anni l'eccentricità dell'orbita della Terra non si discosterà molto dal noto andamento ciclico attuale, in un futuro più remoto imprevedibili variazioni di natura caotica potrebbero influenzare in maggiore misura la temperatura del nostro pianeta. Paradossalmente, altrettanto poco conosciute – anche perché solo da pochi anni studiate – sono le conseguenze sul clima terrestre che l'attività solare può produrre su scale di tempo brevissime: pochi decenni

o secoli. Gli scienziati sospettano che vi sia una *connessione Sole-clima*: un legame evidenziabile su base statistica, in particolare, tra le fluttuazioni della temperatura e le variazioni a breve termine nell'attività solare, riguardanti la luminosità globale, i raggi ultravioletti, le tempeste magnetiche, eccetera. Ciò potrebbe spiegare parte del riscaldamento globale in atto, sebbene i meccanismi che lo provocherebbero non siano ben compresi.⁵

Su tempi scala assai lunghi, dell'ordine delle centinaia di milioni di anni, il clima terrestre muterà comunque senz'altro in maniera pronunciata per la notevole variazione della luminosità – e quindi dell'energia – irradiata verso il nostro pianeta dal Sole, la quale non è affatto costante. Durante il noto ciclo undecennale delle macchie solari, infatti, la luminosità globale fluttua soltanto di una quantità molto piccola – al massimo dell'uno per mille – ma sul lungo termine, a causa della normale evoluzione di una stella, la luminosità del Sole andrà lentamente e inesorabilmente aumentando: in base ai modelli stellari elaborati dagli astronomi, nel prossimo miliardo di anni il Sole arriverà a brillare il 10 per cento più di adesso.

Circa 4,5 miliardi di anni fa, la nostra stella era il 25-30 per cento meno luminosa di oggi. Ma si pensa che in passato nell'atmosfera terrestre vi fosse più anidride carbonica; perciò poi, con l'aumentare della luminosità del Sole, e quindi della temperatura della Terra, i processi di riciclaggio e di intrappolamento dell'anidride carbonica nei sedimenti marini, che vedono implicati gli oceani e la tettonica a zolle, sarebbero diventati più efficienti; e, aiutati dalla nascita della vita e dunque dall'azione della fotosintesi, essi avrebbero sottratto anidride carbonica all'atmosfera terrestre compensando, con il minore effetto serra prodotto, l'aumento della temperatura planetaria, che dunque si è «autoregolata» permettendo l'affermarsi della vita superiore. In un lontano futuro, però, con l'ulteriore aumento della luminosità solare, un simile meccanismo di autoregolazione della temperatura a un certo punto non funzionerebbe più.



Figura 6.3. La nebulosa planetaria M3, residuo di una stella morente simile al nostro Sole. Situata a oltre 3.000 anni luce dalla Terra, si è formata migliaia di anni fa, quando la stella cominciò a espellere materia nello spazio.

Infatti, anche qualora venisse sottratta – naturalmente o artificialmente – tutta l'anidride carbonica presente nell'atmosfera terrestre, ciò non basterebbe a compensare, con il diminuito effetto serra, l'aumento della temperatura del nostro pianeta. Così, si prevede che entro 600 milioni di anni sulla Terra la vita superiore non sarà più possibile. Inoltre, entro 3,5 miliardi di anni, quando la luminosità del Sole sarà aumentata di ben il 40 per cento, e sulla Terra gli oceani saranno evaporati, sul nostro pianeta si innescherà un inarrestabile effetto serra a valanga, tipo quello che si verificò a suo tempo su Venere (ammesso che un processo del genere non sia stato causato già, nel frattempo, dall'attività umana).⁶ A quel punto, sulla Terra anche l'esistenza di vita elementare sarà praticamente impossibile.

Proprio a causa dell'evoluzione della nostra stella, il Sistema Solare non potrà di certo rimanere per sempre stabile nella sua struttura, in conseguenza delle perturbazioni prodotte dalle fasi

finali del ciclo di vita del Sole, un astro che oggi, a 4,6 miliardi di anni dalla sua nascita, si trova quasi a metà della sua esistenza. Quando infatti, all'incirca fra sei miliardi di anni, il Sole giungerà al termine della lunga e tranquilla fase di «sequenza principale» (in cui la stella è sorretta dalle reazioni termonucleari interne che bruciano l'idrogeno in elio), si trasformerà in una cosiddetta *gigante rossa*: per la forza di gravità, l'astro contrarrà il suo nucleo fino a innescare le reazioni di fusione dell'elio, e a quel punto i suoi strati più esterni si espanderanno centinaia di volte, raggiungendo senz'altro le distanze a cui oggi si trovano i pianeti più vicini, Mercurio e Venere. Trascorsi al massimo un miliardo di anni in questa fase di combustione dell'elio, la nostra stella brucerà in poco tempo altri elementi via via più pesanti, collassando alla fine in una «nana bianca», una minuscola e debolissima stellina condannata al freddo eterno.

Non sappiamo, invece, quale sarà esattamente il destino ultimo della Terra: se verrà essa pure «inghiottita» dalla fornace solare nella fase di gigante rossa o se invece, più probabilmente stando alle recenti simulazioni al computer, sopravviverà perché durante questa delicata fase, insieme ai pianeti più esterni del sistema, verrà sospinta, man mano che gli strati esterni del Sole si espanderanno, in un'orbita considerevolmente più lontana. In ogni caso, lo scenario che si presenterà sulla superficie del nostro pianeta sarà sconsolante. Già da tempo gli oceani saranno evaporati e l'atmosfera sarà stata dispersa nello spazio a causa dell'effetto serra a valanga, rendendo la Terra inabitabile e inadatta alla vita. Ma, durante il primo dei parossismi del Sole in agonia, la temperatura terrestre diventerà tale da fondere tutte le rocce, e un ribollente oceano di silicio cancellerà ogni varietà topografica. I successivi episodi di perdita di materia dal Sole allontaneranno la Terra a una distanza doppia di quella attuale, dove permarrà per tempi di decine di miliardi di anni condividendo con la sua stella il destino di un lento raffreddamento.

STELLE E GALASSIE: UNA MORTE ASSAI LENTA

Qualsiasi cosa possa accadere entro qualche miliardo di anni alla Terra, all'intero Sistema Solare e alle sue forme di vita, il resto della Galassia sembrerà non accorgersene neanche. Ma nell'universo pure le galassie hanno un loro ben preciso ciclo di vita – nascita, evoluzione e, alla fine, morte – e la Via Lattea non potrà certo sottrarsi a questo destino. Ecco, dunque, uno schema di come dovrebbero svolgersi verosimilmente gli eventi che segneranno il futuro a lungo termine della nostra galassia e di tutte le altre oggi presenti nel cosmo.

Per poter illustrare l'evoluzione futura dell'universo, è innanzitutto necessario conoscere qualcosa della sua attuale struttura su grande scala. La Via Lattea non è una galassia isolata

Figura 6.4. Le galassie delle Antenne, NGC4038 e 4039, così chiamate a causa della lunga coda di materia luminosa prodotta dall'interazione gravitazionale nell'incontro tra i due oggetti, che ricorda le antenne di un insetto. Le Antenne si trovano a circa 63 milioni di anni luce dalla Terra, nella costellazione del Corvo.



ma fa parte, insieme a quella quasi gemella di Andromeda e a una quarantina di galassie nane, del cosiddetto *Gruppo Locale*, un piccolo ammasso del diametro di 6 milioni di anni luce, i cui membri sono legati fra loro dalla forza gravitazionale. A sua volta, il Gruppo Locale e una quindicina di altre associazioni di galassie simili ad esso sono legati gravitazionalmente all'ammasso della Vergine, costituito da più di 2.300 galassie e distante 50 milioni di anni luce. L'ammasso della Chioma di Berenice, con un migliaio di galassie, è ancora più lontano: dista 300 milioni di anni luce. E innumerevoli ammassi delle medesime proporzioni, facenti parte a loro volta di complessi ancora più grandi – i *superammassi* di galassie – si estendono un po' dovunque nel cosmo, almeno fino all'orizzonte visibile dell'universo, posto a circa 14 miliardi di anni luce.

Ebbene, secondo gli scenari tracciati dagli astrofisici, su scale di tempo dell'ordine delle decine o centinaia di miliardi di anni, si assisterà a una serie di «collisioni» fra le galassie che fanno parte di ammassi: non bisogna, però, pensare a catastrofici scontri fisici tra le singole stelle (e a conseguenti sconvolgimenti nei loro sistemi planetari), date le enormi distanze che separano sempre i singoli astri, bensì a compenetrazioni e ad attraversamenti reciproci tra le galassie stesse, che alla lunga portano alla loro fusione in vere e proprie *supergalassie*. La Via Lattea, per esempio, potrebbe collidere già entro sei miliardi di anni con la galassia di Andromeda e, anche se dovesse limitarsi a sfiorarla, la collisione – e, soprattutto, la fusione definitiva – sarebbero, in realtà, soltanto rimandate. Più in generale, si stima che nel giro di mille miliardi di anni – ovvero 10^{12} anni – al posto degli attuali ammassi di galassie troveremo nell'universo solo delle gigantesche supergalassie, separate da distese sempre più sconfinite di spazio praticamente vuoto.

Nel frattempo, l'evoluzione fisica delle singole stelle all'interno delle galassie e delle supergalassie andrà avanti senza sosta. Già nell'arco dei prossimi dieci miliardi di anni, la mag-

gior parte delle stelle oggi presenti nell'universo esauriranno il loro combustibile nucleare e si «spegneranno», una dopo l'altra, come le luci in un teatro. Ma molte altre stelle continueranno, nel frattempo, a nascere dal gas interstellare, che tra dieci miliardi di anni sarà ancora assai abbondante. In seguito, tale gas andrà progressivamente diminuendo, mentre aumenteranno i «cadaveri» stellari: nane brune, nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri, che rappresentano i prodotti finali dell'evoluzione di astri aventi massa iniziale, rispettivamente, ben minore, simile, maggiore o assai maggiore di quella del Sole. Le stelle di piccola massa possono sopravvivere per centinaia di miliardi di anni, tuttavia anche le ultime nate saranno del tutto morte quando l'universo avrà ormai raggiunto un'età di circa 10^{14} anni, ovvero di centomila miliardi di anni.

Le galassie e le supergalassie non avranno un destino molto migliore di quello delle stelle. Infatti, in un universo sempre più freddo e buio, illuminato solo occasionalmente dai lampi di luce prodotti dalle collisioni tra stelle nane, queste strutture lentamente «evaporeranno», cioè disperderanno una parte della propria massa – sotto forma di stelle morte, buchi neri di taglia stellare, pianeti vaganti e gas interstellare residuo – nello spazio intergalattico, mentre la massa restante collasserà verso i nuclei galattici, dando origine a buchi neri di dimensioni gigantesche o, eventualmente, accrescendo quelli già esistenti. Il risultato complessivo di tale processo sarà che, entro qualcosa come 10^{20} anni, ovvero cento miliardi di miliardi di anni, la materia si distribuirà nello spazio in modo inusuale: il grosso della massa sarà concentrata in buchi neri massicci o attorno ad essi, mentre un gran numero di oggetti essenzialmente liberi da legami gravitazionali (stelle morte, piccoli buchi neri, pianeti) vagheranno attraverso gli oscuri spazi siderali.

L'universo non sarà tuttavia popolato per sempre dai buchi neri delle dimensioni più varie, dalle fredde e scure stelle morte e dai numerosi pianeti vaganti e solitari. Si pensa, infatti, che

i protoni – i «mattoni» costituenti (insieme ai neutroni e agli elettroni) gli atomi e, dunque, tutta la materia – non siano eterni come gli elettroni, ma abbiano una vita finita che, secondo numerose «grandi teorie unificate», sarebbe compresa fra 10^{31} e 10^{33} anni. Entro tale arco di tempo, pertanto, la materia che forma i pianeti e i vari cadaveri stellari si eroderà progressivamente, via via che i protoni si trasformeranno in particelle figlie (elettroni, positroni, neutrini) e in fotoni gamma – cioè radiazioni – di bassa energia. Parte di questa materia, insieme a quella oscura e invisibile ai nostri strumenti che sembra predominante nel cosmo, sarà attratta all'interno dei buchi neri, non influenzati dal decadimento del protone. Il nostro universo, sempre più scuro e vuoto, sarà a quel punto formato da buchi neri, da un gas rarefatto di particelle e da radiazione.

Ma, nel 1974, il cosmologo inglese Stephen W. Hawking ha proposto una teoria secondo cui i buchi neri, nonostante il nome che portano, non sarebbero poi completamente neri: in altre parole, da essi possono lentamente sfuggire, in una sorta di processo di evaporazione, particelle e radiazione. Anzi, man mano che un buco nero di taglia stellare evapora e si contrae, il processo accelera, culminando in un'esplosione di luce e di particelle. Di conseguenza, anche i buchi neri non durano per sempre, bensì sono destinati a scomparire in un tempo che è inversamente proporzionale al quadrato della loro massa, e raggiunge all'incirca i 10^{98} anni per i buchi neri più grandi, quelli formati dal collasso di un ammasso di galassie. Perciò, in un lontanissimo futuro, che si può collocare oltre, diciamo, i 10^{100} anni a partire da oggi, l'intero universo sarà costituito soltanto da un gas sempre più rarefatto di particelle elementari – elettroni, positroni, neutrini – e da una radiazione che diventerà di sempre più bassa energia man mano che il cosmo continuerà ad espandersi.

LE IPOTESI ATTUALI SULLA FINE DELL'UNIVERSO

Quale sarà il destino ultimo del cosmo? Continuerà per l'eternità a espandersi e a raffreddarsi, come sta facendo già ora? Oppure, prima o poi, magari fra ben più di 10^{100} anni, la forza di gravità arresterà l'espansione e l'universo finirà per collassare su se stesso, in una sorta di rovescio del *Big Bang* da cui ha avuto origine? La storia del cosmo, in altre parole, si concluderà con un lungo e flebilissimo gemito o con un'implosione fragorosa e di durata brevissima?

Appena dieci anni fa, si pensava che la risposta a questa domanda dipendesse semplicemente dal tipo di universo in cui viviamo. Infatti, esistono tre possibili tipi di universo – chiuso, aperto e piatto – che si differenziano per la quantità di materia e di energia in grado di opporsi al processo di espansione. In un universo chiuso, tale quantità è abbastanza grande perché la forza gravitazionale arresti, a un certo punto, l'espansione; l'universo è pertanto destinato a raggiungere, dopo un certo tempo, una dimensione massima, per poi contrarsi e collassare su se stesso in un *Big Crunch* («grande implosione»), nel quale tutta la materia e la radiazione sono inghiottite in uno spazio di densità infinita, o quasi. In un universo aperto, invece, la materia e l'energia non sono presenti in quantità tale da arrestare l'espansione; in questo caso, l'universo, seppur rallentando, si espande per sempre. In un universo piatto, infine, la forza di gravità è esattamente uguale a quella di espansione; quest'universo, in pratica, non è differente da quello aperto, poiché l'espansione rallenta via via di più, ma non si arresta mai.

Fino a poco tempo fa, i cosmologi non sapevano in quale tipo di universo viviamo. Da ormai quasi vent'anni, però, sia le osservazioni sia gli studi teorici sembravano almeno escludere la possibilità di un universo chiuso. Da una parte, infatti, la materia visibile nel cosmo è risultata chiaramente insufficiente a renderlo piatto (o addirittura aperto), sebbene osservazioni indirette indichino che esiste molta più materia di quella che vediamo.⁷ Dall'altra parte, una delle previsioni fondamentali

della *teoria inflazionaria* proposta dal fisico Alan Guth negli anni Ottanta – la quale postula una fase primordiale di rapidissima espansione dell'universo per risolvere diversi paradossi che si presentano nel modello convenzionale del *Big Bang* – è che viviamo in un universo piatto. Oggi, grazie alle raffinate osservazioni della cosiddetta «radiazione cosmica di fondo», residuo del *Big Bang*, che sono state effettuate nel 1998 dal pallo-

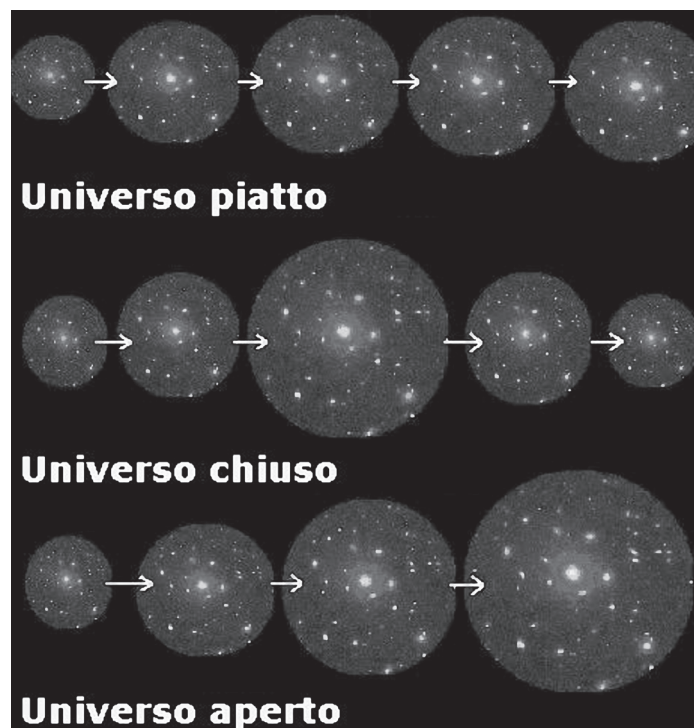


Figura 6.5. I tre tipi di universo possibili secondo il modello classico, prima della recente scoperta della misteriosa «energia oscura» che sta attualmente accelerando l'universo. In un universo piatto, l'espansione cosmica, pur rallentando via via di più, prosegue per sempre. Un universo chiuso si richiuderebbe, invece, su se stesso, mentre un universo aperto continuerebbe tranquillamente a espandersi all'infinito.

ne stratosferico Boomerang, e nel 2001-2002 dalla sonda WMAP (Wilkinson Microwave Anisotrope Probe) della NASA, abbiamo ormai fortissime indicazioni che l'universo sia proprio piatto, in accordo con la teoria inflazionaria.

Però, diversamente da quel che ci si attendeva con un universo piatto, chiuso o aperto, si è di recente scoperto che l'espansione dell'universo non sta oggi rallentando, bensì accelerando. Negli ultimi anni, infatti, grazie soprattutto al telescopio spaziale *Hubble*, è stato possibile misurare direttamente la velocità di espansione dell'universo studiando la luce di una classe di supernove di luminosità pressappoco costante a distanze via via più lontane. Decine di queste stelle esplose tra 4 e 7 miliardi di anni fa sono risultate, in media, del 25 per cento meno luminose di quanto ci si aspettasse: come, cioè, se si fossero nel frattempo allontanate più del previsto. Si è inoltre scoperto che la supernova 1997ff, una stella esplosa 11 miliardi di anni fa, aveva, al contrario, una luminosità maggiore di quella attesa. Si pensa, quindi, che molto tempo fa, quando la luce abbandonò questa supernova lontana, l'espansione dell'universo probabilmente stava rallentando a causa della forza di gravità; ma in seguito, per qualche ragione sconosciuta, il ritmo dell'espansione cominciò ad aumentare, e lo starebbe facendo ancora oggi.

Per spiegare il fatto che l'universo stia espandendosi in maniera sempre più rapida, i fisici stanno avanzando le teorie più strane, che prevedono, ad esempio, una qualche forma di energia repulsiva riposta nel vuoto (cioè una sorta di «costante cosmologica» di einsteiniana memoria), oppure associata a un campo quantistico scalare (la cosiddetta *quintessenza*), o magari un'opportuna modifica alla legge di gravità, o altre idee ancora più esotiche. Ma una cosa appare, a questo punto, già chiara: potrebbe non essere la materia, visibile od oscura che sia, a controllare il destino ultimo dell'universo. Difatti, la misteriosa «energia oscura» che accelererebbe oggi l'espansione potrebbe non essere costante: in tal caso, il destino dell'universo dipen-

derebbe dalla legge con cui essa varia nel tempo. Per quanto ne sappiamo al momento – cioè, quasi nulla! – in un lontanissimo futuro la velocità di espansione potrebbe smettere di aumentare e tramutarsi, addirittura, in una contrazione. Del resto, potrebbe esservi un precedente per questo tipo di cambiamenti notevoli e, in un certo senso, inattesi: l'enorme espansione inflazionaria avutasi nell'universo primordiale. Ma si tratta di speculazioni che, forse, rimarranno per sempre tali.

In cosmologia, una speculazione per certi aspetti ancora più ardita è quella dei *molti universi*, secondo cui il nostro potrebbe essere solo uno di infiniti possibili universi «paralleli» e non connessi fra loro, ognuno dei quali avrebbe avuto il proprio *Big Bang* ma costanti di natura – come la velocità di espansione, la massa delle particelle e l'intensità delle forze fondamentali – lievemente differenti. Quest'idea, che nasce come un'incarnazione della teoria inflazionaria combinata con le più recenti ipotesi della meccanica quantistica, spiegherebbe in modo elegante il fatto veramente notevole che nel nostro universo ci siano proprio le costanti e le leggi fisiche adatte allo sviluppo di una vita intelligente (constatazione che nel 1986 aveva portato gli astronomi John Barrow e Frank Tipler alla formulazione del *principio antropico*). Il nostro universo, infatti, sarebbe solo uno dei pochissimi abitabili di un insieme assai più grande di universi, la maggior parte dei quali sarebbero governati da leggi che non permettono l'emergere della complessità e quindi della vita.

Secondo alcune teorie dei molti universi, il nostro universo sarebbe nato dal vuoto: da una sorta di bollicina di vuoto immensamente più piccola di un atomo immersa in un oceano primordiale, fatto anch'esso di vuoto. Ma il vuoto di cui si parla qui non è affatto «vuoto», cioè non è il vuoto fisico che tutti immaginiamo, bensì un vuoto quantistico, il quale brulica di particelle continuamente create dal nulla che sopravvivono pochi istanti.⁸ Anche se non c'erano ancora né atomi né luce, dunque, il vuoto da cui avrebbe avuto origine tutto ciò che

oggi vediamo pullulava di fluttuazioni casuali di energia capaci di generare particelle e interi universi. A un certo punto, una gocciolina di questo oceano di vuoto fluttuante si staccò dal resto, espandendosi velocemente fino a diventare il nostro universo: in questo processo generò tutta la materia esistente e lo spazio stesso che la contiene. Pertanto, l'intero nostro universo potrebbe essere nato dal vuoto – un'idea che riscuote sempre più successo tra i fisici – ma altre bollicine potrebbero aver dato vita a universi paralleli, di cui ignoriamo, e forse ignoreremo per sempre, l'esistenza.

In particolare, secondo il cosmologo Andrei Linde, non solo il nostro universo sarebbe nato dal vuoto di un altro universo, ma nuovi universi potrebbero nascere e ingigantirsi anche all'interno del nostro: quindi, il nostro sarebbe uno dei tanti universi di un *multiverso* più ampio ed eterno, senza né inizio né fine. Secondo un altro noto fisico, Lee Smolin, i nuovi universi non nascerebbero dal vuoto, bensì conseguentemente alla formazione di buchi neri, e ogni volta che da un universo-genitore ne nasce un altro le leggi fisiche trasmesse si modificherebbero un po': perciò, per una sorta di «selezione naturale cosmologica», i tipi più comuni di universo sarebbero quelli che producono più copie di loro stessi. Infine, secondo gli astrofisici Richard Gott e Li-Xin, alla base della dinastia di universi ci sarebbe un unico «universo-madre» in cui il tempo scorre ciclicamente, per cui il passato coincide con il futuro: dalle fluttuazioni del vuoto di questo universo-mamma nascerebbero senza fine embrioni di nuovi universi, mentre l'universo-madre non sarebbe nato dal nulla, ma da qualcosa: e quel qualcosa era se stesso.

QUAL È IL SENSO DELL'EVOLUZIONE COSMICA?

La sorte della nostra società tecnologica è forse l'aspetto del destino dell'universo compreso meno bene, ma per noi più impor-

tante. Tuttavia, allorché siamo indotti a riflettere sulle dimensioni cosmologiche della nostra esistenza, la quotidiana lotta per la sopravvivenza sul pianeta Terra si colloca in un contesto completamente nuovo. Ci si chiede, infatti: qual è il senso della vita umana? La materia porta naturalmente alla vita e, quest'ultima, alla tecnologia? Esiste forse un fine ultimo, nell'evoluzione cosmica, che non ci è dato conoscere?

Noi non sappiamo se il genere umano sia destinato ad avere un ruolo nell'evoluzione del cosmo o se invece esistiamo, in un certo senso, «tanto per esistere». La materia si è organizzata, nel tempo, a molti livelli: dapprima nelle galassie; poi, sulla Terra, nelle macromolecole della vita; infine, l'evoluzione biologica ha portato alla coscienza auto-riflessiva e all'intelligenza. L'attività intellettuale e sociale dell'uomo rappresenta il livello di organizzazione più elevato osservato finora. Certo è che solo una frazione infinitesima della materia presente nell'universo si è trasformata nella materia organica del cervello umano. Come risultato, però, una parte dell'universo può ora riflettere sull'intero processo dell'evoluzione cosmica che ha portato fino al cervello umano stesso. Probabilmente, questo fenomeno è estremamente raro nell'universo, ma forse, in qualche caso, la vita si è evoluta in una civiltà tecnologica perfino molto più avanzata della nostra. Semplicemente, non lo sappiamo. D'altra parte, è chiaro che la scoperta di qualche altra forma vivente nella Galassia cambierebbe radicalmente la concezione del nostro posto nella natura.

Ma cos'è la vita? Se infatti vogliamo cercare o riconoscere altre forme di vita nell'universo, abbiamo bisogno di una definizione di vita che non sia né troppo restrittiva né talmente generale da risultare inutile. Il problema è che conosciamo solo il tipo di vita terrestre, il che rende molto difficile separare gli aspetti essenziali della vita dalle inevitabili idiosincrasie associate al singolo campione disponibile. Gli scienziati che si occupano della *teoria della complessità* – la disciplina che studia dal

Figura 6.6. Sulla Terra l'uomo non è che una delle tantissime specie inventate dalla natura. Anche altrove nell'universo potrebbero esistere tipi di vita assai diversi dalla nostra, ma non per questo meno interessanti di quell'unico esempio che conosciamo.



punto di vista matematico l'«auto-organizzazione» della materia in strutture complesse – stanno cercando di giungere a modi di descrivere la vita che non dipendano dai dettagli fisici, chimici e biologici della vita terrestre.⁹ Essi concepiscono la vita come una sorta di «proprietà emergente» della materia, un fenomeno non prevedibile dalla conoscenza delle singole componenti che ha potuto aver luogo sulla Terra grazie alla presenza delle giuste condizioni: flussi abbastanza stabili di materia e di energia, disponibilità di mattoni chimici elementari capaci di sfruttare tale potenziale per produrre organizzazione, od ordine.

L'evoluzione cosmica non sarebbe dunque, secondo gli studiosi della complessità, completamente «cieca», ma, al contrario, guidata da una tendenza universale verso l'auto-organizzazione, la complessità e, forse, la vita. Se potessimo esplorare altri corpi celesti, magari noi umani scopriremmo di non essere stati poi così straordinari nel creare una civiltà tecnologica; oppure – chissà – l'intera vita terrestre potrebbe dimostrarsi unica, rivelandosi solo un esempio di una molteplicità di possibili vite alternative tutte diverse e a loro modo speciali, così

come l'uomo è solo una specie tra le tante nel vasto mondo animale. Del resto, se ammettiamo la possibilità che la vita possa evolversi e adattarsi in una quantità di ambienti diversi, come sostengono i teorici della complessità, ciò comporta implicitamente che la vita extraterrestre sia in gran parte diversa da quella che conosciamo qui sulla Terra. Una vita come la nostra, insomma, non rappresenterebbe affatto uno spaccato delle possibili soluzioni sperimentate dall'evoluzione, così come una qualsiasi esposizione canina non rappresenterebbe certamente l'intera varietà della vita terrestre.

Riguardo la vita extraterrestre più evoluta, le possibilità sono due. Da una parte vi è chi ritiene che, se altrove esiste, essa dovrà per forza apparire differente da quella terrestre, sia per quanto riguarda la morfologia che tutte le altre caratteristiche fondamentali, compresa l'intelligenza. Questo perché l'evoluzione è altamente divergente, essendo sensibile a piccole differenze nei fattori ambientali e nelle specifiche circostanze storiche. Anche ambienti non radicalmente diversi dal nostro pianeta possono dunque aver prodotto forme di vita che non hanno nulla in comune con quella terrestre e con l'uomo. All'estremo opposto, vi è chi pensa che esseri evolutisi su altri pianeti in condizioni paragonabili a quelle terrestri abbiano sviluppato notevoli somiglianze con il nostro mondo animale – sebbene i particolari debbano necessariamente differire – perché nell'adattamento a un ambiente ci sono problemi generali da risolvere e soluzioni comuni a tali problemi: in altre parole, l'evoluzione sarebbe, almeno se la base biochimica è quella stessa «nostra» del carbonio e dell'acqua, un processo convergente verso prodotti finali simili.¹⁰

Le civiltà tecnologiche come quella umana oppure ancora più avanzate – in grado di effettuare comunicazioni interstellari o di viaggiare all'interno di una galassia – sembrano comunque qualcosa di davvero raro nell'universo, poiché il ripetersi in altri luoghi di circostanze del tutto analoghe a quelle che hanno caratterizzato il Sistema Solare, la Terra e la vita terre-

stre, appare alquanto improbabile. Inoltre, secondo il compianto paleontologo Stephen Jay Gould, se dovessimo riavvolgere all'indietro il «film» dell'evoluzione biologica sulla Terra e riproiettarlo – oppure se non fossimo mai apparsi, o se dovessimo estinguerci – non comparirebbe un «nuovo uomo»: non perché ciò sia impossibile, ma perché la probabilità che questo avvenga è così bassa da apparire assolutamente ridicola. Nell'evoluzione, infatti, c'è una forte componente casuale, come abbiamo visto illustrando la nostra singolare origine: questa contingenza è dovuta a fattori genetici accidentali, quali le mutazioni, e a fattori ambientali locali che influenzano la Storia mediante il meccanismo della selezione naturale, ed è accentuata sul lungo termine dalle estinzioni di massa.

Nel corso di *playback* virtuali della storia della vita sulla Terra, probabilmente non apparirebbe neppure alcun tipo di «umanoide»: cioè, un animale morfologicamente assai diverso da noi, ma in grado di dar vita, come l'*Homo sapiens*, a una civiltà tecnologicamente evoluta, capace di costruire radiotelescopi o di viaggiare nello spazio. Questo perché il corso dell'evoluzione, come osserva, fra gli altri, il biologo Richard Dawkins, «non segue nessuna legge o tendenza globale né una direzione preferenziale, bensì è puramente casuale». L'idea di una scala regolare dai primi microbi agli organismi pluricellulari e da un gruppo animale al successivo con in cima l'uomo, o l'immagine di un progresso continuo che conduce inesorabilmente a un qualche umanoide, secondo Gould è del tutto illusoria. L'uomo rappresenta solamente un minuscolo e fortunato ramoscello di quell'enorme «cespuglio arboreo» che è la vita terrestre. L'evoluzione biologica è la storia di quest'albero enorme e lussureggiante, i cui rami più alti non sono altro che monconi contingenti, e non prevedibili punti di arrivo del cespuglio sottostante.

Del resto, gli organismi ultimi arrivati sulla Terra non appaiono particolarmente migliori dei loro lontani predecessori e, soprattutto, il successo evolutivo delle varie forme di vita non

sembra essere legato all'aumento della complessità strutturale o dell'intelligenza. In termini di longevità, per esempio, i dinosauri sono stati uno dei gruppi animali di maggior successo, dominando la Terra per oltre cento milioni di anni, contro gli appena duecentomila dell'*Homo sapiens*. In termini di popolazione più numerosa, invece, gli insetti sono superiori addirittura a tutti gli altri animali pluricellulari messi insieme e, non potendo venire eliminati neppure dall'uomo, sono certamente tra gli organismi più «vincenti» del mondo. Ma il vero successo dell'evoluzione è costituito dagli organismi unicellulari, come i batteri, rimasti pressoché immutati nel corso della loro lunga permanenza sul pianeta: essi non soltanto rappresentano la maggior parte della massa vivente e occupano una grandissima varietà di ambienti, bensì sono anche gli unici organismi terrestri in grado di sopravvivere perfino a una guerra nucleare globale.

Analogamente, come argomenta Pietro Greco nel suo ben documentato libro *Evoluzioni* (1999), nell'universo non sembra esistere una legge di natura che impone, a ogni livello, l'aumento ineluttabile della complessità: una legge di natura, cioè, così potente da spiegare l'evoluzione cosmica dall'origine dell'universo fino alla complessa organizzazione sociale ed economica raggiunta dallo stato collettivo della materia più complesso che si conosca: l'uomo. Tutte le strutture che osserviamo intorno a noi – dai quark alle galassie, dalle amebe agli ecosistemi planetari – appaiono come il prodotto unico, e quasi sempre contingente, dell'intreccio tra le leggi fondamentali della fisica e la serie imprevedibili delle loro realizzazioni. Non c'è, insomma, una legge fisica generale e progressiva che garantisca la nascita nel cosmo di una grande varietà di esseri viventi, qualcuno dei quali dotato di autocoscienza e in grado di porsi problemi come questi. Pertanto, come conclude Greco: «Noi uomini siamo ospiti occasionali, senza alcuna speciale prenotazione, alla *reception* del Grand Hotel Universo. Non siamo intrusi. Ma non eravamo neppure attesi».

LA DURATA DELLA NOSTRA CIVILTÀ TECNOLOGICA

Qualunque sia il senso dell'evoluzione cosmica e della nostra presenza al mondo, l'evoluzione della vita e di una civiltà tecnologica è, senza dubbio, un processo «rapido» sulla scala dei tempi astronomici. È dunque possibile che nell'universo la nostra vita e la nostra civiltà esistano per un tempo indefinitamente lungo? In fondo, noi, come esseri pensanti, siamo parte del cosmo come le stelle di neutroni e le nane bianche, e il nostro destino appare inestricabilmente legato solo a quello dell'habitat in cui viviamo: il Sistema Solare, la Galassia e l'universo stesso.

La tecnologia rappresenta il livello supremo di attività organizzata che conosciamo, e probabilmente determinerà la sorte ultima dell'uomo. Noi non sappiamo dire, oggi, se la nostra specie o i nostri discendenti, siano essi di carne e ossa o dei robot, sopravviveranno a lungo o meno. Tuttavia, negli ultimi anni alcuni scienziati e filosofi hanno utilizzato degli argomenti statistici di tipo nuovo – e piuttosto curiosi – per predire la durata dell'umanità e quindi della nostra civiltà tecnologica. Alla base dei loro ragionamenti vi è il cosiddetto *principio di mediocrità*, o copernicano, secondo cui la Terra non occupa alcuna posizione privilegiata nel cosmo. Copernico, infatti, stabilì che il nostro pianeta non è al centro dell'universo, poiché orbita con altri corpi simili intorno al Sole. Messa alla prova grazie alle osservazioni astronomiche, la versione spaziale di tale principio si è rivelata corretta. La Terra è risultata un piccolo pianeta che orbita attorno a una stella normalissima rispetto alle miriadi di altre stelle della Galassia che, a sua volta, non ha nulla di eccezionale tra le centinaia di miliardi di galassie dell'universo osservabile.

Nel 1993, il cosmologo americano J. Richard Gott ha applicato il principio di mediocrità alla nostra posizione temporale: l'esistenza, all'inizio del Ventunesimo secolo, di te che stai leggendo questo libro e di me che lo ho scritto non ha, secondo Gott, nulla di eccezionale. Sarebbe, al contrario, eccezionale se

io e te ci trovassimo proprio quasi all'inizio o alla fine della storia dell'umanità. È più probabile, invece, che ci troviamo in una posizione temporale intermedia, in una posizione qualsiasi tra i due estremi appena considerati. La ragione è che, se si osserva qualcosa in un istante casuale, c'è il 50 per cento di probabilità di coglierla nei due quarti intermedi del suo periodo di osservabilità, ovvero che la sua durata futura sia compresa fra un terzo e il triplo di quella passata. Analogamente (si veda la figura alla pagina seguente) c'è il 95 per cento di probabilità di cogliere una qualunque cosa nel 95 per cento centrale del suo periodo di osservabilità – ossia non durante il primo e l'ultimo 2,5 per cento, pari a $1/40$, dell'intervallo – e che dunque la durata futura sia compresa tra $1/39$ di quella passata e 39 volte tale durata.¹¹

La versione temporale del principio di mediocrità proposta da Gott consente, perciò, di quantificare la probabile longevità futura della specie umana, che chiameremo T_{FUTURO} , sfruttando la nostra conoscenza della sua durata passata, che indicheremo con $T_{PASSATO}$. Poiché la nostra specie intelligente, *Homo sapiens*, è nata tra 100.000 e 200.000 anni fa, se adottiamo quale $T_{PASSATO}$ il valore di 100.000 anni, possiamo dire che vi è il 95 per cento di probabilità che la speranza di vita residua sia compresa tra 2.500 anni (pari a 100.000 diviso 39) e circa 4 milioni di anni (come si ottiene moltiplicando 100.000 per 39). Se invece scegliamo quale $T_{PASSATO}$ il valore di 200.000 anni, troviamo che vi è il 95 per cento di probabilità che la durata futura sia compresa fra 5.100 anni e circa 8 milioni di anni. In altre parole, è assai probabile che la nostra specie non duri più di qualche milione di anni, e questa è una durata simile a quella dei nostri antenati ominidi – per esempio l'*Homo erectus*, nostro antenato diretto, visse 1,6 milioni di anni – ed è all'incirca la durata media della maggior parte delle specie di mammiferi sulla Terra.

Nel suo libro *Viaggiare nel tempo*, Gott applica il principio copernicano a varie situazioni concrete della vita quotidiana per stimare quanto a lungo è probabile che duri qualcosa che si sta

osservando. Per esempio, egli racconta che 108 dei 115 leader politici di tutto il mondo al potere al momento della sua nascita (ossia il 94 per cento) ebbero in seguito una longevità al potere in accordo con la predizione copernicana, secondo cui vi è il 95

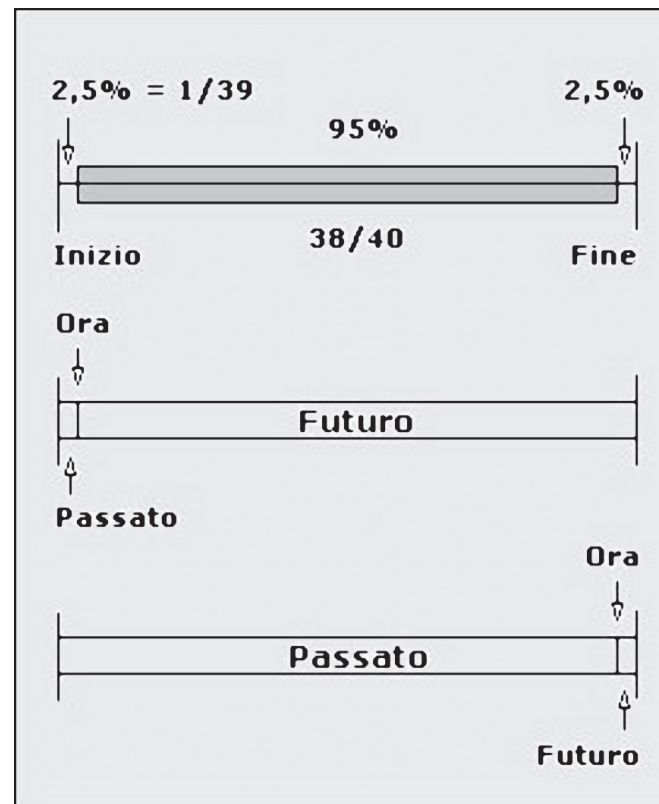


Figura 6.7. Se si osserva qualcosa in un istante a caso, c'è il 95 per cento di probabilità di coglierlo nel 95 per cento centrale del suo periodo di osservabilità (diagramma in alto). All'estremo sinistro di questo intervallo centrale (diagramma al centro) il futuro è 39 volte più lungo del passato, mentre all'altro estremo (diagramma in basso) il futuro è lungo $1/39$ del passato. Quindi vi è una probabilità del 95 per cento che la durata futura sia compresa fra $1/39$ di quella passata e 39 volte tale durata.

per cento di probabilità che la longevità futura sia compresa tra 1/39 della longevità passata e 39 volte tale durata. Gott, inoltre, sottolinea che la formula copernicana è particolarmente utile per i viaggi: se si vuole evitare con il 95 per cento di probabilità l'«ultimo viaggio» di una nave o di un altro mezzo – il quale spesso è dovuto a un incidente catastrofico – basta evitare i primi 39 viaggi di quel veicolo.¹² In effetti, questa semplice regola vi avrebbe permesso di salvarvi dall'affondamento del *Titanic* (avvenuto al viaggio inaugurale), dall'esplosione del dirigibile *Hindenburg* (alla 35ª traversata atlantica) e dalle tragedie degli Shuttle *Challenger* (giunto al decimo lancio) e *Columbia* (al suo ventottesimo volo nello spazio).

Nel suo libro *The End of the World* («La fine del mondo»), l'eminente filosofo canadese John Leslie applica alla popolazione umana un argomento simile a quello di Gott. Secondo Leslie, dovremmo essere alquanto riluttanti nel credere che noi siamo – eccezionalmente – tra i primi uomini intelligenti della Storia: cioè che apparteniamo al primo decimo, millesimo o milionesimo di tutti gli umani che vivranno mai. D'altra parte, a causa delle recente crescita esponenziale della popolazione, questo è proprio quello che succederebbe se la popolazione non declinerebbe bruscamente al più entro qualche secolo, poiché la maggior parte degli individui vivrebbero altrimenti dopo di noi e, se non siamo speciali, sarebbe senz'altro più probabile che noi fossimo tra questi. Il principio di mediocrità, in effetti, indica che esiste ad esempio, una probabilità dell'80 per cento che noi apparteniamo ora all'80 per cento centrale di tutti gli esseri umani nati e nascituri. Pertanto, noi ora vivremmo in vicinanza di un picco massimo nella curva della popolazione mondiale semplicemente perché la maggior parte delle persone vivono in tale fase.

Il corollario della tesi di Leslie è che coloro i quali mettono in guardia da una futura brusca caduta della popolazione andrebbero presi sul serio. Infatti, se siamo davvero nell'80 per cento centrale dell'elenco cronologico degli esseri umani – ossia non

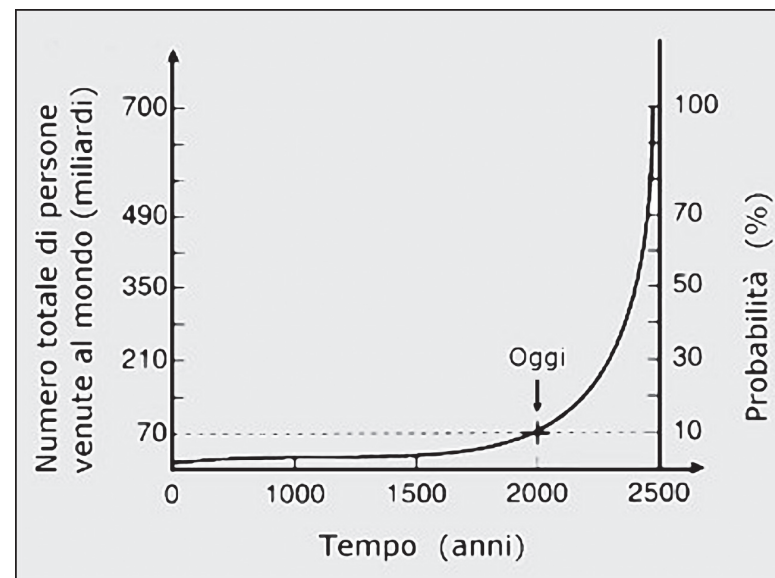


Figura 6.8. La durata futura dell'umanità, se siamo nell'80 per cento centrale della popolazione mondiale nata e nascitura (cioè non apparteniamo al primo 10 per cento) e ipotizzando che essa continui a crescere al ritmo attuale, risulta, al più, di 500 anni.

durante il primo e l'ultimo 10 per cento, pari a 1/10, del totale – si può dire, con un'attendibilità dell'80 per cento, che i nascituri futuri saranno al più 9 volte maggiori degli esseri umani nati fino a oggi, che nei 150.000 anni di storia della nostra specie sono stati circa 70 miliardi: dunque, al più, i nati futuri saranno 630 miliardi. Se pertanto la crescita della popolazione mondiale continuasse al ritmo attuale, ci si aspetta che l'umanità sopravviva, al più, fino intorno all'anno 2500, quando, cioè, il numero delle persone venute al mondo sfiorerà, appunto, i 630 miliardi (si veda, in proposito, la figura qui sopra). Questa durata T_{FUTURO} è decisamente più corta di quella calcolata da Gott perché, mentre l'«orologio» di Gott batte sempre allo stesso ritmo, quello di

Leslie, in un certo senso, batte a un ritmo sempre più rapido a causa della crescita esponenziale della popolazione.

La tesi di Leslie è in contrasto con quella di Gott non solo per la durata stimata dell'umanità, ma anche per il fatto che, secondo Leslie, noi ci troveremo nella grande massa di osservatori che nascono negli ultimi secoli prima della fine dell'umanità; e questa posizione temporale estrema, come abbiamo visto, è considerata poco probabile da Gott. Una «scappatoia» interessante che concilia le tesi di Gott e di Leslie è quella di ipotizzare, per un futuro molto prossimo, non un'estinzione improvvisa della specie umana (che è lo scenario più pessimistico, in cui la popolazione continua ad aumentare per poi ridursi all'improvviso a zero), bensì un netto declino della popolazione mondiale – graduale o meno – per stabilizzarsi a un livello decisamente basso. In questo caso, noi non vivremo più in una posizione temporale estrema, in quanto potremmo durare tanto a lungo nel futuro quanto siamo esistiti nel passato, dal momento che potrebbero occorrere centinaia di migliaia di anni, o anche più, per assommare nel nostro futuro un numero di esseri umani grosso modo dello stesso ordine di grandezza di quelli vissuti nel passato.

Se quest'ultima mia tesi fosse vera, ciò significherebbe naturalmente che la civiltà tecnologica non sopravviverebbe ancora per molti secoli, poiché una drastica e forse brusca riduzione della popolazione mondiale – per un disastro ecologico o tecnologico – a pochi milioni di abitanti, quale era centinaia di migliaia di anni fa, significherebbe certamente la fine di ogni attività tecnica di alto livello e ci renderebbe una specie vulnerabile quanto quelle animali. Un'altra conseguenza è che non vi sarebbe sicuramente abbastanza tempo per colonizzare la Galassia e forse nemmeno per colonizzare in modo permanente il nostro Sistema Solare. Ovviamente, gli argomenti di Gott, di Leslie e i miei non forniscono alcuna stima o valutazione del rischio che oggi corriamo. Ciononostante, costituiscono un buon argomen-

to per rivedere le stime ottimistiche che spesso facciamo quando consideriamo vari possibili pericoli: le cose che esistono da molto tempo tendono a permanere a lungo, mentre le cose che non esistono da molto possono scomparire in breve tempo, e la nostra civiltà tecnologica è senz'altro una di queste!

7. UN MONDO IN BILICO

*L'ottimista crede che viviamo
nel migliore dei mondi possibili,
il pessimista teme che questo sia vero.*

(James Branch Cabell)

Essere consapevoli del nostro affascinante universo e del nostro destino al suo interno è, forse, un dono più grande che potervi abitare per sempre. Sembra un miracolo che l'evoluzione cosmica abbia permesso la nascita della vita terrestre, la quale, con tutta la sua impressionante complessità, ingegnosità e diversità ha dato vita a degli esseri pensanti e sensibili che, a loro volta, possono contemplare l'universo e studiarne le proprietà. Ma, paradossalmente, proprio gli stessi progressi tecnologici, scientifici e sociali che ci hanno spinto tanto in avanti, potrebbero contenere i germi della nostra fine. E ora che siamo ormai giunti quasi al termine del nostro viaggio nel futuro, è il momento di iniziare a trarre delle conclusioni. Noi viviamo in un sistema in crisi, sebbene non necessariamente in un sistema morente. Tuttavia, le crisi possono essere formidabili veicoli di evoluzione, perché spingono il sistema verso nuovi livelli organizzativi: sta a noi saper cogliere l'opportunità che ci viene offerta, dalla quale dipende il nostro destino ultimo.

LA SOCIETÀ NELLA NUOVA «ERA GLOBALE DEL RISCHIO»

Oggi viviamo nella cosiddetta *società globale del rischio*, una espressione felice con cui il sociologo Anthony Giddens ha definito la nostra attuale società tecnologica, che ha completamente oltrepassato i limiti dell'assicurabilità privata dei grandi rischi che corre, e la cui prevenzione e difesa dai potenziali pericoli – ormai sempre più «glocali», cioè allo stesso tempo locali e globali – paradossalmente diminuisce man mano che questi ultimi vanno aumentando nel tempo.

Con il continuo progredire della conoscenza umana e della tecnica, infatti, siamo entrati in una nuova era: quella dei rischi globali, caratterizzata da una gran quantità di pericoli e da scenari apocalittici. Si possono individuare vari tipi di minacce globali, che, essendo interconnesse, possono integrarsi e acuirsi a vicenda: innanzitutto, i pericoli indotti dalla ricchezza e dallo sviluppo industriale, scientifico e tecnologico, quali l'effetto serra e il cambiamento climatico; i rischi legati agli interventi di ingegneria genetica sulle piante, sugli animali e sull'uomo, la maggiore vulnerabilità alle malattie, l'inquinamento; i mali dovuti alla povertà estrema e al sottosviluppo, accentuati dalla disuguaglianza crescente tra il Nord e il Sud economico del mondo, come la sovrappopolazione, le migrazioni di massa, la desertificazione, la perdita della biodiversità e l'esaurimento delle risorse non rinnovabili; infine, un'altra fondamentale minaccia è quella derivante dalla proliferazione delle armi di distruzione di massa, impiegabili in una guerra tra Stati, in un attentato terroristico o in un semplice gesto individuale di follia.

Le crisi della SARS e della mucca pazza, l'attentato dell'11 settembre alle Torri gemelle e al Pentagono, l'aumento dell'effetto serra e il buco nell'ozono, l'incidente al reattore di Chernobyl e i danni dell'inquinamento su varie specie sono esempi da manuale, concreti e recenti, della società globale del rischio. Per la prima volta nella Storia, oggi i drammi e le catastrofi

provocati dalla società umana con il suo sviluppo economico e tecnologico possono uguagliare e superare quelli naturali, con cui l'*Homo sapiens* ha convissuto sin dalle sue origini. Inoltre, le nuove scoperte e conoscenze possono trasformare dalla sera alla mattina ciò che era considerato innocuo e sicuro in pericoloso, come in passato è avvenuto, in maniera lampante, nel caso dell'energia nucleare e dell'effetto serra. D'altra parte, le previsioni dei rischi e dei pericoli – così importanti in una simile situazione – sono spesso impossibili perfino per i maggiori esperti, mentre la probabilità che si verifichino incidenti improbabili cresce continuamente sia con il passare del tempo sia con l'aumentare del numero e del livello delle mega-tecnologie applicate.

Nell'epoca moderna, i pericoli difficili da affrontare e soppesare prevalgono su quelli quantificabili, per cui la logica tradizionale del calcolo del rischio e della sicurezza, nonché l'attenta

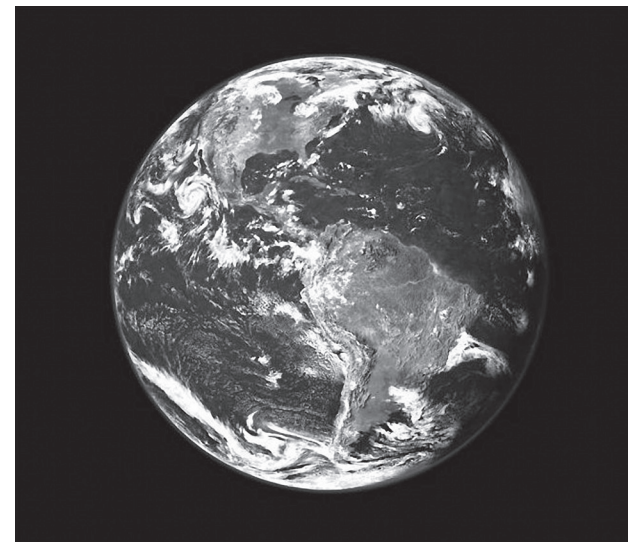


Figura 7.1. Un'immagine della Terra vista dallo spazio, che nasconde un mondo pieno di problemi e in bilico tra una fine prematura e più o meno improvvisa e l'opportunità di un futuro alquanto lungo e radioso.

valutazione preventiva dei vantaggi e degli svantaggi derivanti da certe scelte o comportamenti, o dall'introduzione di una nuova tecnologia, è stata lentamente eliminata. Nonostante i danni prodotti da alcune minacce globali nucleari, chimiche, genetiche ed ecologiche siano di portata geografica vastissima e duraturi nel tempo, essi vengono accettati piuttosto a cuor leggero dalla nostra società come «l'altra faccia» del progresso, sebbene ciò sia eticamente discutibile date le potenziali conseguenze catastrofiche dei pericoli odierni. Inoltre, i rischi globali non sono attribuibili a persone precise e i danni sono spesso incalcolabili e irreparabili, per cui è difficile individuare e imputare colpe e responsabilità in sede giuridica, ed essere risarciti è di fatto impossibile. D'altra parte, nessuna compagnia di assicurazione o altra istituzione sarebbe disposta ad assicurarci contro i peggiori effetti immaginabili delle minacce globali.¹

Nell'era globale del rischio, i pericoli maggiori non conoscono frontiere e si rendono manifesti solo quando si materializzano in un determinato luogo e in un dato momento, risultando quindi vere e proprie «sorprese». I relativi sintomi spesso diventano percepibili solo quando è trascorso molto tempo dall'emergere del problema; perciò, quest'ultimo diventa «visibile» quando è già in uno stadio avanzato ed è dunque più difficile da affrontare, come nel caso dell'effetto serra o della SARS, del buco nell'ozono o del nuovo super-terrorismo di Al Qaeda. Inoltre, esiste sempre più la possibilità di un incidente gravissimo e irreparabile, per quanto inatteso e non voluto: da una guerra nucleare planetaria scatenata per errore a un supervirus altamente letale assemblato in laboratorio e sfuggito al controllo del suo creatore, solo per citare alcuni esempi che siamo in grado di immaginare. Queste minacce non sono né quantificabili né controllabili, e ci impongono una profonda riflessione sulle basi del modello economico dominante e del sistema democratico che hanno determinato, in questi ultimi decenni, l'attuale stato di cose.

I rischi che corriamo sono reali e provocano una diffusa inquietudine circa il progresso scientifico, un'atmosfera in cui i demagoghi prosperano. Con la tecnologia abbiamo qualche *chance* di evitare molti disastri, tuttavia le peggiori catastrofi che si possono prevedere sono proprio quelle generate dallo sviluppo della tecnologia stessa. Il campo in cui è più evidente la combinazione di potenzialità e di rischi legati ai progressi della ricerca e dell'innovazione tecnologica è senza dubbio quello dell'ingegneria genetica e delle biotecnologie. È difficile prevedere gli effetti a lungo termine delle manipolazioni effettuate sulle forme viventi – uomo compreso – e il fatto che queste vengano introdotte a una velocità sempre maggiore, spesso prendendo decisioni in condizioni di incertezza, le rende ancora più pericolose. Non è un caso che le eventuali conseguenze negative di tali tecnologie, sviluppate alla luce di enormi interessi economici e di un supposto «rischio zero» ancora tutto da dimostrare, non siano coperte dalle assicurazioni private, come del resto le catastrofi nucleari o i danni prodotti dai cambiamenti climatici.

L'uomo di oggi non è peggiore di quello di un tempo, ma il progresso tecnologico ha reso globale ogni problema, e quindi le minacce emergenti alla sicurezza nazionale e mondiale sono infinitamente più difficili da risolvere. Poiché non si può impedire alla scienza e alla tecnologia di modificare e plasmare il nostro mondo, occorrerebbe almeno cercare di fare in modo che questi cambiamenti avvenissero nella direzione giusta. Infatti l'*Homo sapiens*, il grande dominatore e manipolatore della natura, è in grado di imparare dall'esperienza, ma nel mondo attuale non possiamo permetterci più di apprendere in questa maniera. Tuttavia, viviamo in una società individualistica e egocentrica in cui i bisogni personali e a breve termine dell'individuo predominano sui fini a lungo termine del gruppo, sul bene comune, per cui gli individui possono agire senza rendersene conto contro i propri reali interessi, oltre che contro quelli della società nel suo

insieme. Inoltre, il modello culturale dominante porta a considerare i problemi come fatti contingenti e congiunturali risolvibili, e dunque a un'essenziale sottovalutazione dei rischi.

LA GESTIONE DEL RISCHIO TRA IGNORANZA E INCOSCIENZA

L'aumentata complessità dei sistemi sociali ed economici contemporanei indotta dal progresso tecnologico rende necessaria una gestione del rischio attraverso strategie opportune, poiché è la scienza stessa a dire, sulla base delle conoscenze attuali, che nell'evoluzione di sistemi complessi non vi è una relazione deterministica tra cause ed effetti, ragion per cui si deve ammettere, per la nostra società tecnologica, una probabilità non nulla che si verifichino eventi imprevedibili.

Il principale problema del nostro tempo è rappresentato dai rischi globali che sfuggono alle pretese di controllo della nostra società, e che si riferiscono a situazioni per le quali mancano raffronti o precedenti storici. In questo senso, la comparsa del morbo della mucca pazza e del buco nello strato di ozono rappresentano dei casi recenti esemplari, i quali mostrano fino a che punto l'assenza di adeguati metodi di valutazione del rischio sottoponga la società odierna a un esperimento incontrollato e incontrollabile. Del resto, le innovazioni tecnologiche non sono, di solito, per nulla neutrali, e spesso hanno sviluppi imprevedibili. Nonostante ciò, oggi sempre più la sperimentazione segue l'applicazione e la produzione precede la ricerca. D'altra parte, le manipolazioni dell'ingegneria genetica o le immissioni di gas serra nell'atmosfera devono venire effettuate, prima di poterne valutare appieno le conseguenze. Il guaio è che non possiamo essere completamente sicuri che non vi siano rischi connessi con certe tecnologie se non quando ormai potrebbe essere troppo tardi per impedire le eventuali conseguenze disastrose del loro uso.



Figura 7.2. L'immissione di grandi quantità di gas serra nell'atmosfera è un esempio di esperimento incontrollato e pericoloso tipico della nostra società globale del rischio.

In generale, è sempre molto difficile valutare i rischi e i benefici associati a una data tecnologia o, in altre parole, sapere il prezzo che dobbiamo pagare per quei benefici. Il modo probabilmente più efficace di far fronte ai rischi è quindi quello di adottare il cosiddetto *principio di precauzione* – formulato per la prima volta negli anni Ottanta nel contesto dei dibattiti ecologici – per il quale si deve procedere con i «piedi di piombo» anche in assenza di certezze scientifiche ogni qualvolta ci si trovi ad affrontare un pericolo nuovo e sconosciuto a proposito del quale vi siano già alcuni riscontri in termini di danni gravi o irreversibili per l'uomo o per l'ambiente. Il guaio è che, in un sistema come quello liberal-capitalistico, in cui gli scopi principali sono la produttività, il progresso materiale, l'efficienza e la crescita economica, anche le applicazioni della scienza sono sviluppate principalmente in relazione diretta con il consumo: vengono finanziate soprattutto le ricerche e le applicazioni utili per generare profitti. Perciò, assai raramente

il principio di precauzione è stato o viene applicato nella nostra società come si richiederebbe.

Viviamo, insomma, in un'epoca che si può definire di «irresponsabilità organizzata», poiché il sistema liberal-capitalistico è una forma istituzionale complessa e organizzata, ma priva di responsabilità perfino verso se stessa. In questo tipo di sistema, non esiste un vero governo planetario e, di conseguenza, un controllo del rischio globale. E in ogni caso sono soprattutto i politici e i *manager* dell'industria, più che gli scienziati, a decidere cosa sia razionale e sicuro. Se la scienza viene vista come la massima fonte di conoscenza, la tecnologia è vista, ingenuamente, come il mezzo per realizzare ogni cosa. In una tale società, occorrerebbe quindi almeno aumentare la conoscenza dei rischi globali da parte di profani ed esperti, in modo da avere un maggiore livello di competenza non solo da parte di progettisti e decisori, bensì anche della popolazione generale, il cui livello culturale è invece in lento ma costante declino. La cultura affonda, infatti, nel «disastro educativo globale» delle società contemporanee, con la televisione generalista – compresa quella pubblica – che non sveglia, ma semmai deforma, le nostre menti.

L'educazione tecnico-scientifica del pubblico mediante i mezzi di comunicazione di massa è oggi, più che un fallimento, un'utopia. Il numero di coloro che leggono i giornali va calando. Il 50 per cento degli italiani non legge libri: persino l'opera di divulgazione di maggior successo viene letta solo da una piccolissima parte della popolazione. La televisione, l'unico media che riesce ad avere un ascolto veramente di massa, e che ha acquistato negli ultimi anni un'importanza eccessiva rispetto ai libri e ai giornali, mette ormai quasi sullo stesso piano gli esperti e coloro che di scienza parlano per sentito dire. In una società culturalmente oscurantista e super-specializzata, tutto ciò impedisce a noi cittadini di un mondo sempre più piccolo e globalizzato di avere una visione «integrata» della nostra epoca, di vedere, cioè, i maggiori problemi che affliggono il nostro tempo

nella prospettiva globale che essi richiedono. La scarsa diffusione della cultura scientifica, inoltre, genera paure ingiustificate e non contribuisce a diffondere tra il pubblico una coscienza dei veri pericoli da cui, invece, dovremmo imparare a guardarci.

Proprio nel momento in cui la nostra società sta diventando sempre più complessa, ai cittadini non dovrebbero interessare soltanto le novità riguardanti le applicazioni «pratiche» della tecnologia – dai televisori al plasma ad effetto cinema ai cellulari con navigatore satellitare incorporato – ma i meccanismi che governano il nostro mondo rendendolo ogni giorno più problematico. L'informazione, tuttavia, è oggi considerata alla stregua di una merce, per cui i media non aiutano a chiarire e ad arricchire la nostra conoscenza del sistema di cui rappresentiamo un piccolissimo e insignificante ingranaggio, quanto, piuttosto, a condizionare in modo sottile le nostre menti su scala planetaria. Ci costruiamo sempre più le nostre convinzioni in fatto di guerra, di pace, di ambiente, di rischio, sulle fugaci immagini televisive che vediamo per pochi minuti nei telegiornali alla sera. Al tempo stesso, orgogliosi e fieri dei nostri libri e delle nostre università, delle scoperte scientifiche e dei notiziari televisivi, di Internet e delle *news* forniteci quasi in tempo reale, ci illudiamo di conoscere il mondo. In realtà, non lo conosciamo affatto!

L'ignoranza da un lato e l'incoscienza dall'altro, specie se combinate, costituiscono una duplice minaccia alla gestione razionale del rischio. Oggi qualsiasi scoperta, a differenza che nel passato, può avere effetti devastanti: basti pensare alla bomba atomica e alla manipolazione genetica per quanto riguarda i paesi ricchi e industrializzati, o all'introduzione degli antibiotici e delle medicine nel Terzo Mondo, che ha innescato l'esplosione demografica alla base degli insolubili problemi odierni di quei paesi. Si dovrebbero, pertanto, sempre fornire prove dell'innocuità di ogni nuovo prodotto o tecnologia, non solo per l'individuo ma anche per l'intera società. Nei casi in cui non possiamo prevedere gli effetti delle nostre applicazioni tecniche, dovrem-

mo usare una maggiore saggezza, o, almeno, buon senso. Nei casi, invece, in cui tali previsioni siano possibili e i probabili svantaggi superino i vantaggi per la società umana, un'invenzione non dovrebbe venire sviluppata e commercializzata. Ora, al contrario, sono favorite le tecnologie che fanno guadagnare più soldi, indipendentemente dal fatto che siano dannose o meno.

LE NUOVE INCOGNITE DEL MONDO POST-GUERRA FREDDA

Con la dissoluzione del mondo bipolare, siamo passati da un mondo di nemici ad uno di pericoli e di rischi, o meglio, a un miscuglio di entrambi. La società occidentale, in particolare, ha scoperto, il famoso 11 settembre, di essere fragile e indifesa di fronte a un terrorismo che colpisce in modo devastante. La superiorità tecnologica e militare dell'Occidente rispetto al resto del mondo si è dimostrata assai effimera contro l'attacco del terrorismo internazionale, e lo è contro ogni strategia che non segua pedissequamente i classici manuali dell'arte militare.

Una società sempre più aperta agli scambi, alle informazioni, alla diversità etnica, è estremamente vulnerabile. Con l'11 settembre, gli Stati Uniti hanno sperimentato in prima persona quest'insospettata vulnerabilità dell'Occidente, dalle strutture dei grattacieli al fallimento dell'*intelligence*. Ci si era illusi di vivere in un'era in cui ci si poteva difendere delegando alle macchine – come il «Grande Fratello» elettronico *Echelon*, i satelliti in orbita, gli aerei-spia e le armi intelligenti – il compito di sorvegliare qualsiasi potenziale nemico giorno e notte, di intercettarne le conversazioni, di leggerne le sue e-mail, di sventarne i piani prima ancora che li potesse mettere in atto, difendendoci dalla distruzione. Invece, è stato il grande fiasco della tecnologia, la quale già ora tende a favorire l'attacco rispetto alla difesa, e che, evolvendosi, renderà quest'ultima ancora più ardua. Di certo, l'enorme differenziale tecnologico tra

i paesi industrializzati e quelli in via di sviluppo non consentirà a lungo ai primi, nel frattempo surclassati demograficamente dai secondi, di garantirsi un elevato livello di sicurezza e di difendere il proprio benessere attuale.

Oggi il nemico dell'Occidente non è uno Stato né un blocco di Stati: è il terrorismo, una minaccia più subdola e pericolosa perché indefinibile e trasversale, ma soprattutto, con l'accresciuta portata e qualità dimostrata nell'azione dell'11 settembre, una nuova forma di guerra. Una guerra «non convenzionale», che viene utilizzata da chi si trova in condizioni di inferiorità e non è in grado di contrastare il nemico in campo aperto. Una sorta di guerra post-moderna non dichiarata e sleale, basata sull'attentato con «superarmi» militari e non, un netto salto di qualità rispetto alle attività terroristiche tradizionali, come gli attentati dinamitardi, i rapimenti, gli assassinii e i dirottamenti aerei. L'avversario – un'organizzazione terroristica internazionale, una setta



Figura 7.3. Una maglia della rete di spionaggio angloamericana Echelon, la cui finalità di intercettazione delle comunicazioni su scala mondiale non è solo militare, minacciando anche gli interessi economici dei paesi alleati, Italia compresa.

religiosa o un pazzo solitario – non osserva alcuna regola e non teme di scatenare una guerra illimitata usando qualsiasi mezzo. A loro volta, le azioni distruttive, folli e mostruose, di queste persone tendono ad essere fattori scatenanti di guerre tradizionali. È chiaro, quindi, che il tecnoterrorismo costituisce una minaccia per il sistema occidentale e per la comunità mondiale.

Il tecnoterrorismo è un'arma molto potente perché costringe lo Stato attaccato a combattere una «guerra asimmetrica» per la diversità fra i mezzi impiegati, fra gli obiettivi e, soprattutto, fra le culture etico-politiche-strategiche dei terroristi, da una parte, e di un paese come gli Stati Uniti, e in generale dell'Occidente, dall'altra. La lotta principale, soprattutto nei confronti di chi possiede mezzi eccezionali di distruzione, si deve quindi svolgere sul piano della prevenzione. Attaccare in «guerre preventive» gli Stati che proteggono e supportano il terrorismo, e che potrebbero consentire la sua *escalation* fino a includere l'uso di armi di distruzione di massa, serve quindi a creare un sufficiente livello di dissuasione, perché altrimenti – questo è il messaggio – la punizione che essi riceveranno sarà sicura e terribile. Tuttavia, l'uso della forza per prevenire o precedere l'avversario non sempre può essere fattibile, in quanto troppo destabilizzante. La deterrenza, inoltre, non è efficace contro un avversario che cerca un confronto apocalittico, o contro un avversario «virtuale» e troppo difficile da individuare come bersaglio.

Oggi ci lasciamo definitivamente alle spalle la fase decennale del «post-guerra fredda» per entrare in un periodo di lotta globale contro il terrorismo e gli Stati che lo fomentano, determinante per il futuro dell'ordine mondiale americanocentrico. La guerra sarà condotta, infatti, soprattutto dagli Stati Uniti, sia contro gli Stati-canaglia sia contro le reti terroristiche che ancora non ci sono, ma di cui non si può rischiare la costituzione; benché appaia senza dubbio un'utopia lo sconfiggere definitivamente il terrorismo transnazionale, efferato, determinato alla maggiore distruzione possibile e votato all'impiego di tutti i mezzi a di-

sposizione.² Non sappiamo se l'opzione dell'intervento militare americano messa in atto contro l'Afghanistan e l'Iraq possa tradursi in futuro in una guerra più o meno alla cieca contro tutti gli Stati-canaglia, e in particolare contro l'Islam, col rischio di scatenare una risposta asimmetrica da parte di quest'ultimo. Ma stiamo forse avvicinandoci a quel pericoloso «scontro tra *civilization*», o culture e religioni del pianeta, teorizzato da Samuel Huntington all'inizio degli anni Novanta.

Inizialmente, le obiezioni contro la tesi di Huntington hanno avuto la meglio. Non si può dividere il mondo contemporaneo e la sua storia in alcune grandi *civilization* compatte e coerenti dai contorni ben identificabili. Non si può ignorare l'interpenetrazione delle culture. Gli stessi Stati Uniti sono la rappresentazione di tutte le culture del mondo. Inoltre, non c'è nel mondo islamico una potenza dominante, attorno alla quale si possa aggregare un'alleanza politica e militare. Anzi, nel variegato panorama islamico, che viene spesso rappresentato in Occidente come una realtà unitaria, monolitica, incombente e minacciosa, c'è una tendenza alla disgregazione. Per cui l'Islam, frazionato politicamente e geograficamente, diviso tra sciiti e sunniti, tra movimenti più moderati e movimenti più rigorosamente integralisti, non si può considerare un'entità geopolitica o un sistema contrapposto al liberal-capitalismo, ma solo una religione. Nel mondo esiste una *civilization* unica, universale, quella del capitalismo, e i futuri conflitti saranno guerre civili di nuovo tipo tra gli esclusi e gli inclusi, tra i diseredati e i «padroni del pianeta».

Questo era ciò che alcuni politologi sostenevano prima dell'11 settembre. Ma l'attentato alle Torri gemelle e al Pentagono, e la successiva reazione degli Stati Uniti contro l'Afghanistan e l'Iraq, hanno riportato in auge la teoria di Huntington. Infatti, il terrorismo internazionale, come anche la guerra, è l'effetto di molte cause: ragioni politiche, ideologiche, economiche, eccetera. Tuttavia, le bombe umane registrate in questi ultimi anni contro gli Stati Uniti (il «Grande Satana»), e quelle quasi quotidiane

contro Israele (il «Piccolo Satana»), non sono il risultato della disperazione e della miseria, degli squilibri economici tra Nord e Sud e del sottosviluppo, bensì il prodotto dell'esaltazione di una fede islamica intollerante ed estremista. L'Islam e l'Occidente sono due mondi contrapposti e lacerati da profonde spaccature: globalisti e antiglobalisti in Occidente, moderati e fondamentalisti nell'Islam. Il fondamentalismo islamico, in particolare, è il rifiuto dello Stato laico, la convinzione che la società umana possa esistere solo su base religiosa, ma anche il rifiuto del sistema economico e della rivoluzione tecnologica occidentali.

La causa profonda del terrorismo islamico – considerato per anni un problema transitorio legato al conflitto israelo-palestinese – è dunque la globalizzazione intesa come progressiva erosione di tutte le culture diverse da quella occidentale, più che lo sfruttamento dei paesi poveri. Un numero crescente di persone nel mondo non aspira ad essere come noi, e a condividere i nostri sogni e le nostre aspettative; bensì, desidera condurre un'esistenza diversa dalla nostra, atea e materialista, vuole vivere secondo altri principi. Per i musulmani può perciò apparire intollerabile l'idea di vedere i valori dell'Islam, anche all'interno degli stessi paesi islamici, in posizione subordinata rispetto alla cultura occidentale, ai suoi comportamenti, ai suoi valori, ai suoi tipi di organizzazione economica, sociale, politica e alla sua tecnologia. Una cultura così diffusa e antica come quella islamica, con la sua tradizione di stretta integrazione tra religione e Stato, reagisce pertanto in modo rabbioso e cieco con il terrorismo, mentre la religione del Corano diventa un'arma ideologica contro la modernità, vista come un'occidentalizzazione del mondo.

È FORSE IN VISTA LA FINE DELLA CIVILTÀ OCCIDENTALE?

Il pericolo del terrorismo e dell'odio rivolto contro l'Occidente non va sottovalutato, perché nei prossimi decenni gli Stati Uniti

dovranno, verosimilmente, intraprendere guerre sia per le risorse energetiche sia per ridisegnare la mappa del mondo sulla base dei loro interessi nazionali, attirandosi ancora di più l'odio dei paesi islamici e dei paesi-canaglia e creando potenzialmente decine di «bin Laden». Questi ultimi potrebbero rendere il confine tra guerra e terrorismo sempre più sbiadito.

L'egemonia politico-militare è oggi esercitata dagli USA con una strategia interventista e attraverso un mutevole sistema di alleanze, per non creare un dominio solitario come quello dell'Impero romano. Essa comprende non solo attacchi militari, ma anche pressioni diplomatiche ed economiche. Gli Stati Uniti governano il mondo praticando una sorta di totalitarismo «bonario» per evitare l'anarchia. Le scelte politiche dell'America sono una complessa combinazione degli interessi strategici ed economici nazionali e degli interessi dell'industria petrolifera e di quella bellica, ben rappresentate nella compagine attualmente al potere a Washington. Lo abbiamo visto bene nel caso della Seconda guerra all'Iraq, ufficialmente giustificata e resa «accettabile» dal massacro dell'11 settembre.³ In effetti, nelle guerre attuali, rispetto a quelle del passato, lo scopo manifesto e quello sottaciuto sono completamente diversi. Ma ancor più antipatica e immorale è la netta distinzione dell'Occidente tra i morti delle Torri gemelle e i bambini uccisi in Afghanistan e in Iraq dalle bombe americane o, nel Terzo Mondo, dalla fame: cioè tra morti di «serie A» e morti di «serie B».

Eppure, quella occidentale si differenzia dalle altre *civilization* per alcune sue caratteristiche peculiari positive che la rendono unica, quali il cristianesimo, il pluralismo politico, la libertà individuale, i diritti umani. È anche per questo, del resto, che la civiltà occidentale è considerata un'area sicura: le guerre al suo interno sono praticamente impensabili. Il commercio ha infatti sostituito, nella nostra epoca, la guerra, almeno tra i paesi ricchi e industrializzati, perché è più vantaggioso di quest'ultima, considerata più inutile e costosa di quanto non possa essere conve-

niente e redditizia. Perciò, un conflitto Nord-Nord è decisamente da escludere. D'altra parte le bombe nucleari, che hanno una potenza tale da essere impiegabili solo in una guerra globale o per follia, rendono obsoleto il concetto di guerra tra paesi industrializzati, in quanto una guerra tradizionale tra loro non può essere più combattuta: in Europa o tra i ricchi paesi occidentali, non è credibile una guerra senza armi nucleari, e in quest'ultima non vi sarebbero né vincitori né vinti, poiché il danno sarebbe totale. Dunque, la guerra non avrebbe alcun senso.

L'Occidente, che ha esercitato una fortissima influenza su tutte le altre *civilization* nate a partire dal 1500, ha avviato il processo di industrializzazione e la successiva rivoluzione scientifico-tecnologica, poi diffusisi su scala planetaria. Ma l'evoluzione della civiltà occidentale non è stata e non sarà sostanzialmente diversa da quella delle precedenti civiltà della Storia. L'Occidente potrà rinnovarsi e rimanere ancora a lungo la civiltà dominante; oppure potrebbe essere in futuro coinvolto in una grande guerra contro gli Stati guida di altre *civilization*; o, più probabilmente, declinare lentamente per ragioni demografiche ed economiche, offrendosi così agli «invasori barbari» di un'altra civiltà. Molte sono le possibilità, sebbene nessuna di queste sia oggi completamente prevedibile e, tanto meno, inevitabile. La civiltà occidentale, che nel 500 d.C. ancora non esisteva, cesserà comunque prima o poi di esistere, forse molto prima del 2500 d.C., a causa dell'ascesa di *civilization* più giovani e dinamiche – ad esempio asiatiche, come quella dell'intraprendente Cina – complice anche l'arroganza dell'Occidente e l'intolleranza dell'Islam.

Anche l'Impero romano, all'inizio così potente e vasto tanto da estendersi dall'Atlantico all'Eufrate e dalla Britannia al deserto del Sahara, si sgretolò a poco a poco per vari fattori di disunione e di frattura che ne travagliarono l'esistenza fino alla completa distruzione per mano dei suoi nemici esterni. Le analogie identificabili fra la nostra moderna civiltà occidentale e l'Impero romano in dissoluzione sono sconcertanti. Secondo

lo storico Michael Grant, che le discute nel libro *Il declino dell'Impero romano*, le «spaccature» in comune sono soprattutto le seguenti: innanzitutto, la burocrazia crescente e una classe politica che persegue i propri interessi ed è isolata dai pensieri, dai sentimenti e dalla realtà dei propri sudditi; inoltre, il solco che due millenni orsono separò, allontanandoli, i due imperi romani alleati d'Occidente e d'Oriente, paragonabile alle odierne divergenze tra Stati Uniti ed Europa occidentale; infine, il non aver saputo cogliere l'occasione di una proficua assimilazione della massa di immigrati nell'Impero.

Le cause che sfasciarono, nel giro di appena un secolo, la grande potenza e l'immenso esercito dell'antica Roma furono molte, ma si possono riassumere nella debolezza interna e nelle invasioni dall'esterno. Tutti insieme, i fattori legati alla mancanza di unità elencati in precedenza impedirono poi, a loro volta, un'efficace resistenza dell'Impero contro le aggressioni esterne. Analogamente, la nostra civiltà occidentale è oggi minacciata sia dal suo possibile decadimento interno, sia dalle minacce provenienti dall'esterno. Fra due o tre secoli, difficilmente l'Occidente sarà ancora il centro del mondo. La società occidentale, in particolare quella bianca ed europea, sarà nel frattempo diventata un minuscolo e sempre più esiguo e marginale segmento della popolazione mondiale, peraltro profondamente mutato sotto la spinta dei flussi migratori provenienti dal Sud.⁴ Perciò, l'Occidente svolgerà a quel punto solo un ruolo di comprimario, mentre le *civilization* non occidentali, come l'asiatica e la musulmana, acquisteranno verosimilmente più forza accrescendo le proprie capacità economiche, militari e politiche.

A minacciare invece dall'esterno l'Occidente, sono oggi soprattutto i gruppi terroristici di matrice islamica. Bin Laden ha i suoi successori in qualsiasi posto del mondo, e in qualunque gruppo voglia identificarsi con la sua lotta e con i suoi metodi. Ma domani i pericoli potrebbero essere i missili balistici a testa nucleare di volubili Stati sovrani – visto che la proliferazione

in questo campo non accenna ad arrestarsi e sarà stimolata dalle recenti guerre degli Stati Uniti contro paesi che non ne sono dotate – o le micidiali armi genetiche messe a punto da solitari *Unabomber* esperti in biotecnologie. D'altra parte, proprio le tecnologie sempre più moderne potrebbero consentire, un giorno, a singoli individui di fabbricare un'arma letale che potrebbe venir usata per sterminare l'umanità. I pericoli futuri che corriamo a causa delle armi di distruzione di massa sono almeno paragonabili a quelli ambientali dovuti al superamento della capacità di carico, con la differenza che, con le «superarmi» più micidiali, per la società può non esserci scampo semplicemente perché non vi è il tempo di reagire alla messa in atto della minaccia.

La simbiosi tra gruppi terroristici e Stati-sponsor potrebbe rappresentare, in futuro, un «cocktail» micidiale. Le guerre preventive e le minacce di rappresaglia sono infatti inattuabili contro terroristi nomadi che, anche se colpiti, possono riemergere come un'araba fenice in un altro posto. La minaccia di ritorsioni massicce è inefficace contro organizzazioni terroristiche che non hanno un territorio attaccabile militarmente. D'altra parte, la sola strategia per prevenire il caos che il fanatismo islamico – o il terrorismo internazionale supportato da Stati-canaglia – potrebbe scatenare usando armi di distruzione di massa, sembra quella di un maggiore interventismo militare delle potenze occidentali, sebbene tale scenario ripugni alla coscienza morale e ai nostri principi. Il problema è capire quali sono i limiti che dobbiamo porci, cosa possiamo e cosa non possiamo fare per tentare di regolare e stabilizzare il mondo, tenendo comunque conto che l'uso sistematico della guerra è destinato a peggiorare ovunque lo sviluppo della democrazia e dei rapporti internazionali, e potrebbe rivelarsi alla lunga controproducente.

Dall'11 settembre, in effetti, l'America ha adottato una condotta più rigida, più imperialistica, distinguendo i «buoni» dai «cattivi» e punendo in maniera preventiva, ove possibile, questi ultimi, rinunciando perfino ad avvalersi dell'ONU per legittimare

Figura 7.4. Saddam Hussein in un video mostrato dalla tv araba Al Jazeera. Cosa succederebbe se in futuro un nuovo e più pericoloso Saddam decidesse di appoggiare con armi e mezzi il terrorismo internazionale?



la *pax americana* del Ventunesimo secolo: un tipo di egemonia su vasta scala che si ispira a quella britannica del Diciannovesimo secolo, così come questa era, a sua volta, un'eco della *pax romana*. Così, in futuro, gli attacchi dei «nuovi barbari» diventeranno probabilmente più frequenti e più devastanti e, forse, alla fine prevarranno. Tuttavia il declino dell'Occidente, il diventare i suoi abitanti dei popoli «antichi» come noi europei oggi lo siamo rispetto agli americani, significherà in parte la fine della civiltà occidentale, ma non comporterà necessariamente la fine della civiltà tecnologica, almeno considerando una scala di tempo sufficientemente ampia. Infatti, lo sviluppo tecnologico è stato una costante della storia umana, sebbene l'avanzamento dal Paleolitico all'età moderna sia stato estremamente irregolare, con innumerevoli balzi in avanti e improvvise regressioni.

È DAVVERO QUESTO IL TIPO DI VITA CHE VOGLIAMO?

Viviamo in un mondo sempre più privo di certezze, anche – e, forse, soprattutto – sul piano strettamente umano. Al senso di perdita dei valori umani si sommano, infatti, la solitudine, lo stress, la paura di invecchiare, la disoccupazione, il degrado ambientale. Inoltre, assistiamo a una serie di segnali preoccupanti: crisi dei valori sociali e dei rapporti interpersonali, violenza,

disprezzo della legge e dell'ordine, insicurezza sociale, disoccupazione e insoddisfazione nel lavoro.

In effetti, nonostante il continuo progredire della conoscenza umana e della tecnica, il mondo non sta evolvendo verso una situazione migliore. La visione post-illuministica che associava la crescita economica e tecnologica all'idea di progresso e di felicità si è rivelata falsa. Il modello di sviluppo attuale, infatti, già manifesta i suoi limiti e i suoi fallimenti in termini di distruzione dell'ambiente e, più in generale, di perdita della qualità della vita. Ci rendiamo sempre più conto che il mito del progresso inarrestabile è destinato a rimanere tale: il cambiamento può dar luogo ad avanzamento come pure a distruzione e a peggioramento. Inoltre, il sistema liberal-capitalista, che prometteva libertà e benessere per tutti, ha portato un benessere crescente solo per una piccola parte della popolazione mondiale. Ciò non deve meravigliare: chi è ricco – che si parli di singole persone o di interi Stati poco importa – lo è, fondamentalmente, perché c'è qualcun altro che fa il lavoro «sporco» per lui.⁵ L'umanità nel suo complesso non ha quindi tratto grossi vantaggi dallo sviluppo economico e dal progresso tecnologico che lo accompagna.

La qualità della vita in Occidente e nel Terzo Mondo è andata via via migliorando fino all'inizio del Novecento. Ma da tre o quattro decenni questa tendenza positiva si è chiaramente invertita, e oggi assistiamo pure in tempo di pace a un deterioramento delle condizioni di vita praticamente ovunque, con l'eccezione di alcuni paesi in via di sviluppo, come ad esempio la Cina. Infatti, sebbene in alcuni paesi del Terzo Mondo negli ultimi decenni la qualità della vita sia un po' migliorata, creando individui mediamente più sani, più ricchi, meglio nutriti e più istruiti, sono aumentati in maniera lacerante i divari demografici, economici, tecnologici e sociali con l'Occidente ricco e industrializzato. Nei nostri paesi occidentali, invece, la qualità della vita va nel complesso peggiorando perché, con lo sviluppo tecnologico e con il PIL, oggi crescono di pari passo la disoccu-

pazione e la povertà, lo stress per il lavoro e la violenza, l'angoscia per l'avvenire e il degrado ambientale; mentre il benessere vero e proprio resta appannaggio di una piccola minoranza.

Purtroppo, il progresso scientifico-tecnologico non è sinonimo di progresso umano, se con questo si intende un maggiore benessere psicologico, un più alto grado di realizzazione delle aspirazioni individuali e collettive, un più elevato livello di istruzione e di cultura, una maggiore sicurezza. Il concetto di progresso, in effetti, è assai difficile da definire in modo oggettivo e del tutto soddisfacente. Il PIL, ad esempio, considerato da molti il suo indicatore principe, misura la ricchezza materiale ma non la qualità della vita, a meno che non si identifichi la felicità e il benessere con la quantità di *gadget* posseduti.⁶ Per la cultura capitalistica, invece, sviluppo economico è spesso sinonimo di progresso, sebbene risulti evidente che la ricchezza interiore e il benessere non sono misurabili dalla quantità di beni che gli individui componenti la società possono consumare. Lo stesso sviluppo, secondo la nostra cultura, può trasformare il pianeta in una sorta di Eden tecnologico dove tutti i grandi problemi dell'umanità possono venire risolti. Ma allora come mai la gente era più felice prima dell'avvento della modernizzazione?

Mi ritornano in mente, a questo proposito, le parole che il compianto astronomo Carl Sagan mette in bocca, nel film *Contact*, all'attore Matthew McConaughey, nei panni del teologo Palmer Joss: «Non sono contro la tecnologia, la scienza. Ma siamo più felici come razza umana, il mondo è sostanzialmente un luogo migliore, grazie alla scienza e alla tecnologia? Facciamo la spesa da casa, navighiamo su Internet, ma allo stesso tempo ci sentiamo più vuoti, più soli e più isolati l'uno dall'altro che in qualsiasi altro periodo della storia dell'umanità. Stiamo diventando una società sintetica, virtuale, dimentica degli autentici valori umani». E per di più, il nostro stile di vita è, ormai, talmente artificiale e lontano dalla natura che ignoriamo totalmente le possibili conseguenze dei tanti gesti che compiamo

ogni giorno. I limiti di uno sviluppo sostenibile sono già stati raggiunti in una parte significativa del globo, e sarebbe sciocco credere che l'attuale sistema economico possa risolvere i gravi problemi sociali ed ecologici del nostro tempo. Occorre dunque imboccare un'altra strada, seguire un altro modello di sviluppo.

In particolare, occorre riscoprire il legame stretto con la natura, la nostra appartenenza ad essa. La cultura antica era permeata da un secolare equilibrio fra i bisogni umani fondamentali e i limiti imposti dalla natura. Tale equilibrio lo ritroviamo ancora oggi in quei nuclei isolati rappresentati dalle popolazioni indigene: dai pellirosse dell'America del Nord agli indios del Sud, dai popoli della foresta amazzonica agli aborigeni australiani, dagli abitanti delle isole Mentawai in Indonesia a quelli delle isole Andamane. La dignità del loro modello di vita rispetto al nostro è evidente. I bisogni di queste popolazioni rimaste isolate dal resto del mondo e in equilibrio armonico con l'ambiente sono gli stessi, immutati, da millenni, mentre quelli della maggior parte dei popoli della Terra sono aumentati nel tempo parallelamente allo sviluppo culturale dell'uomo. Ebbene, nel corso del Novecento, gli antropologi sociali hanno dimostrato la ricchezza e la complessità di questa cosiddetta «vita primitiva», sottintendendo in un certo senso che più una società umana è semplice e maggiore risulta l'armonia e il livello di felicità individuale.⁷

Ma possiamo fermarci, fare due passi indietro, se non per aiutare gli altri, almeno per aiutare noi stessi? Certo, rimpiangere i «tempi d'oro» del passato è inutile, perché è impossibile tornare indietro. Solo una minoranza di persone pensa che la soluzione sia una qualche forma di ritorno al passato. D'altra parte, dobbiamo prendere atto che la coscienza dell'essere umano non si è evoluta con la stessa velocità dello sviluppo tecnologico e materiale. La nostra società, che crede di poter ignorare le leggi fondamentali della natura, ci propone un modello di vita sciocco e superficiale. Inoltre, a causa delle spaventose distorsioni che i meccanismi di mercato determinano, viviamo al di fuori e al di

Figura 7.5. Il modello di sviluppo occidentale sta aumentando il divario tra ricchi e poveri nel mondo ed all'interno dei nostri stessi paesi ricchi e industrializzati.



sopra della natura, al punto di non saperne più leggere i segnali di allarme, se non in maniera assai tardiva e parziale. Affascinati dalle scadenze a breve termine e dal guadagno immediato, devastiamo in modo brutale l'ambiente, creiamo profonde disuguaglianze e ingiustizie, e soprattutto siamo incapaci di prevedere il futuro, di anticipare gli eventi, di pianificare l'avvenire a lungo termine della nostra società e del nostro pianeta.

Poco più di dieci anni fa, nel 1992, a Rio de Janeiro, nella Conferenza sullo sviluppo sostenibile, fu varato a livello mondiale un piano di vasta portata per raggiungere questo tipo di sviluppo. Da allora, come discusso nel recente vertice di Johannesburg sullo stesso tema, non abbiamo purtroppo assistito a un miglioramento significativo della situazione. Occorrerebbe, peraltro, raggiungere una sostenibilità non solo ecologica ma anche etica e sociale. La maggior parte di noi si rende conto della necessità di un cambiamento, ma pochi modificerebbero volontariamente le proprie abitudini e il proprio stile di vita, sebbene il fatto che ognuno di noi segua l'attuale comportamento si possa rivelare prima o poi disastroso. Perciò, vi è la necessità di un mutamento profondo nel modo in cui ci rapportiamo con noi stessi e col mondo. D'altra parte, è assai poco probabile che, senza profonde e radicali correzioni, l'attuale modello di sviluppo possa portare l'umanità molto lontano nel Terzo millennio. Ma,

a causa dei meccanismi di mercato, in questo momento non vi è una reale alternativa al sistema capitalistico da proporre.

IL MONDO IN BILICO TRA IL PERICOLO E L'OPPORTUNITÀ

Noi non sappiamo se le tendenze in atto condurranno a terribili disastri o se verranno, nel frattempo, modificate dall'uomo, magari passando a un nuovo e miglior modo di organizzazione sociale, economica e politica. A differenza di altre specie, infatti, l'*Homo sapiens* può prevedere il proprio futuro, compiere scelte in maniera cosciente e cambiare deliberatamente il proprio destino, se solo decide di farlo. La domanda, a questo punto, è: sarà in grado di farlo in tempo?

Oggi assistiamo a un cambiamento di potere, sia all'interno della società che nelle relazioni internazionali. I veri padroni del mondo non sono più gli Stati, la cui capacità d'intervento è sempre più ridotta; bensì, le multinazionali, i grandi gruppi industriali e finanziari, che inglobano sempre più in sé il potere economico, il controllo politico e il controllo sociale. I comuni cittadini, gli intellettuali e i politici stessi sono attori impotenti – poco più che semplici comparse – sulla scena locale e planetaria. Pertanto, il sistema-mondo muta e si evolve soltanto in virtù dei meccanismi di mercato e della sua forza di inerzia: i soli cambiamenti possibili sono quelli che impone la «macchina» dal suo interno. Chi tenta di sfuggire a questo meccanismo perverso, di opporsi al pensiero unico che livella e sottomette le coscienze condizionando ogni sfera della vita umana, è perduto. Insomma, checché ne pensino gli ottimisti, secondo gli osservatori più realisti sembra proprio non esserci alternativa all'assoggettamento alle leggi universali del mercato, alla nostra sudditanza acritica al modello economico e culturale dominante.

È, d'altra parte, illusorio pensare che i problemi dell'umanità possano essere risolti soltanto con gli strumenti dell'economia

e del libero mercato. Il capitalismo ha per sua natura la spoliatura delle persone, la concentrazione del potere, la moltiplicazione degli esclusi, e sta creando un mondo più diviso, ingovernabile e violento in cui la povertà, la deprivazione e il conflitto rappresentano la realtà di ogni giorno per la maggior parte della popolazione planetaria. Occorrerebbe, invece, aprire il proprio sguardo a una visione più ampia del mondo in tema di sicurezza globale, difesa dell'ambiente, solidarietà sociale, giustizia, eccetera. Ma sarebbe del tutto ingenuo credere che i medesimi Stati, le medesime imprese e forze sociali che maggiormente traggono benefici dall'attuale sistema liberale permettano la riforma della sua struttura generale, per non parlare della sua piena e rivoluzionaria trasformazione. Oggi viaggiamo, in un certo senso, su un bolide senza autista e senza freni: se non prenderemo quanto prima il controllo della vettura, il rischio è che, prima o poi, finiamo per sbattere violentemente contro un muro.

Per difendere il modello liberal-capitalistico e i valori del mercato-padrone, siamo ormai sempre più vicini ai limiti dello sviluppo. La soluzione pratica non è certamente l'abbassamento del tenore di vita degli abitanti della Terra, e in particolare di quelli dei paesi più ricchi e industrializzati, perché nessuno di noi sarebbe disposto ad accettarlo. Le eventuali soluzioni alternative, peraltro, non sono affatto evidenti. D'altro canto, dobbiamo renderci conto che la situazione attuale è insostenibile sul lungo termine e che stiamo avviandoci a grandi passi verso un'epoca di instabilità crescente, verso qualche cambiamento rivoluzionario, nel bene o nel male. In particolare, nuove e ben più disastrose guerre, malattie, rivoluzioni sociali, politiche e tecnologiche potrebbero scuotere e destabilizzare in modo imprevedibile la nostra attuale civiltà, determinando un cambiamento rapido e incontrollato. Ciò potrebbe rivelarsi positivo, mutando le istituzioni preesistenti della nostra società e adattandole alle nuove forze o fattori tecnologici, economici, politici, ecologici; oppure negativo, sfociando in una catastrofe vasta e irrimediabile.

Poiché nel futuro può accadere di tutto, nel bene e nel male, le persone hanno di solito sentimenti molto contrastanti e radicali a riguardo. Da una parte, vi sono gli ottimisti estremi, per scelta ideologica o perché simulano, che vedono il futuro roseo e luminoso perché attribuiscono allo sviluppo incontrollato del sistema liberal-capitalistico l'intrinseca capacità di risolvere i problemi creati.⁷ Questa categoria comprende, tipicamente, gli economisti, i politici e i «falsi esperti». Dall'altra, vi sono i pessimisti estremi, o catastrofisti, che vedono il futuro fosco e minaccioso, come gli ambientalisti e coloro che sono ostili al progresso tecnologico perché lo considerano la causa dei mali odierni. Tra le loro fila, troviamo gli ecologisti, i demografi e gli strateghi. Nel mezzo, tra queste due fazioni contrapposte, vi sono invece i cosiddetti «realisti», una schiera di pessimisti più moderati e con più solide ragioni, comprendenti numerosi scienziati e intellettuali di chiara fama. Essi sono ottimisti su ciò che l'umanità potrebbe fare, ma pessimisti sulla probabilità che il genere umano unisca i suoi sforzi per farlo realmente.

I costi sociali ed ecologici del sistema liberal-capitalistico sono già oggi elevatissimi: lo sterminio di specie animali, l'inquinamento crescente, l'esaurimento delle risorse, la disoccupazione, il peggiore rapporto fra lavoro e tempo libero, la violenza e, nei paesi più poveri, la fame, la malattia, la guerra, l'ignoranza. La stessa crisi del Terzo Mondo è una diretta conseguenza del modello di sviluppo dei paesi industrializzati e non della mancata applicazione di tale modello, come si potrebbe pensare. La globalizzazione, che è alla base dell'espansione della democrazia nel mondo, al tempo stesso rivela, paradossalmente, i pesanti limiti delle strutture democratiche, in particolare delle democrazie parlamentari. Perciò, per un mondo sostenibile da un punto di vista ambientale e materiale, politico e sociale, culturale e morale, occorre una revisione critica dell'attuale modello di sviluppo. Occorre, inoltre, affrontare attivamente le minacce che incombono sul nostro futuro e non continuare ad adottare una

strategia minimalista. Ma l'umanità avrà la forza e la saggezza necessarie per compiere questa difficile transizione?

Purtroppo, non dobbiamo attenderci azioni previdenti e preventive da parte della nostra società capitalistica, un sistema che muta e si trasforma solo quando le pressioni hanno raggiunto una soglia critica. D'altra parte, nel sistema economico liberale, in cui il concetto del produci-consuma-crepa detta legge e in cui la società è disumanizzata in tutti i suoi aspetti, non c'è spazio per valori spirituali, per considerazioni di ordine morale o per obiettivi di tipo altruistico. Nella strategia delle grandi imprese multinazionali, i bisogni di milioni di persone vengono ignorati, e i prodotti di bellezza per le signore benestanti o i farmaci contro il raffreddore dei ricchi *manager* sono considerati più importanti di un vaccino contro la malaria o di un'emergenza alimentare nel Terzo Mondo, perché curando e salvando milioni di persone povere sfruttate fino al giorno prima non ci sarebbe un adeguato ritorno economico, e ciò andrebbe anche contro gli interessi dei nostri governi.⁹ Il benessere, insomma, ci sta in qualche modo rendendo cattivi, riempiendo di sensi di colpa solo quelli di noi che si rendono conto della situazione.

Il fatto certo è che l'umanità sta vivendo oggi un momento della sua storia unico e decisivo. Da una parte, in effetti, siamo sempre più vicini all'autodistruzione, all'anarchia, al caos; dall'altra, si prospetta un futuro pieno di speranze e di possibilità, in cui l'aspettativa di vita aumenta, le tecnologie si moltiplicano, disponiamo di beni a volontà, colonizziamo lo spazio, ci evolviamo come specie, e via dicendo. Il Ventunesimo secolo potrebbe essere il migliore ma anche il peggiore di tutti i secoli precedenti, con cose positive e cose negative, come è sempre stato. Il progresso tecnologico potrà dar luogo a distruzioni terribili come ad avanzamenti portentosi. Forse il futuro non sarà né particolarmente nero né particolarmente luminoso: potrebbe essere, semplicemente, una via di mezzo. Ma sta a noi cercare di indirizzare il nostro futuro in una direzione piuttosto che nel-

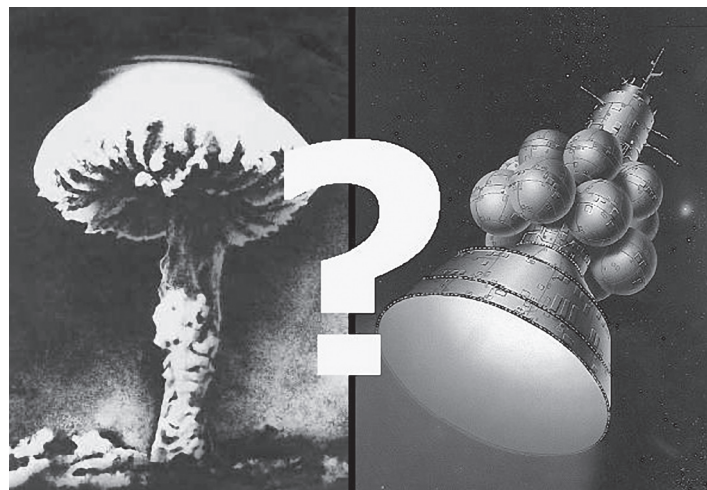


Figura 7.6. Quale sarà il futuro dell'umanità? Stiamo entrando per la prima volta nella Storia in un'epoca assolutamente decisiva da questo punto di vista.

l'altra. Se non sapremo cogliere l'opportunità che ci viene oggi ancora offerta, e la società umana continuerà come ora, lasciando al proprio corso le tendenze attuali, il rischio è, purtroppo, che l'uomo possa non avere più storia.

L'UMANITÀ STA ANDANDO VERSO UN «SALTO EVOLUTIVO»?

Poiché i maggiori cambiamenti del nostro tempo sono, in genere, di tipo evolutivo, la possibile sorte a breve o a medio termine della civiltà tecnologica umana – salvifica o apocalittica che sia – potrebbe forse venir compresa meglio adottando, a nostra volta, un approccio evolutivo, che non si soffermi sui singoli «alberi» – ovvero su certi aspetti isolati, anche nel tempo, della realtà – bensì abbracci l'intera «foresta», in una visione d'insieme e senza pregiudizi.

L'idea è quella di tentare di capire il mondo verso cui ci stiamo avviando non attraverso una mera estrapolazione nel futuro delle tendenze odierne – procedura che rischia di condurre a una semplice «caricatura» del presente o, comunque, a scenari sempre alquanto catastrofici – ma, piuttosto, sulla base di una teoria generale dell'evoluzione: cioè, di un modello interpretativo coerente, suggerito negli ultimi anni dalle nuove scienze della complessità, che ci permetta di azzardare qualche previsione, sia pure solo di carattere qualitativo, sulla possibile evoluzione futura della nostra società tecnologica. La teoria in questione, riguardante le cosiddette *transizioni di fase*, ci aiuta ad estrapolare nel futuro in maniera non banale lo stato attuale del mondo in cui viviamo e, in particolare, della nostra società tecnologica: uno stato che, in parte, rappresenta un accidente storico – poiché l'evoluzione è un processo non deterministico, con molte strade laterali e senza uscita – ma, in parte, sembra il risultato di un processo naturale di «auto-organizzazione» che conduce in modo predicibile a livelli di organizzazione via via più elevati.

Se infatti analizziamo in un certo dettaglio la storia evolutiva che ha portato dalla nascita dell'universo fino a oggi, ci accorgiamo che essa è un lungo cammino verso livelli di complessità sempre maggiore, costellato qua e là da grandi «salti» evolutivi – le «transizioni di fase» – che hanno portato all'emergere vero e proprio dei nuovi livelli di complessità. Finora, i salti più importanti sono stati tre. Il primo è l'emergere nell'universo, dall'energia primordiale associata al *Big Bang*, della *materia*: particelle elementari che ben presto si strutturano in atomi, i quali si aggregano poi, a loro volta, a formare molecole. Il secondo salto è l'emergere nel Sistema Solare, dalla materia inerte, della *vita*: dalle prime cellule viventi autonome e prive di nucleo fino ai grandi organismi pluricellulari formati finanche da miliardi di cellule specializzate. Il terzo balzo, infine, è l'emergere dalla vita terrestre della coscienza autoriflessiva e dell'*intelligenza*: con l'uomo, nasce la prima specie i cui mem-

bri sono consapevoli di essere consapevoli, e sono dotati di un enorme potenziale intellettuale per influire in modo conscio su se stessi e sul loro ambiente.

L'importante salto evolutivo che ha portato all'emergere nell'uomo della coscienza autoriflessiva e di un'intelligenza unica nel mondo animale è avvenuto con lo sviluppo del cervello umano. Quest'ultimo è un sofisticato sistema biologico formato da unità semplici, le cellule nervose chiamate *neuroni*; a sua volta, il sistema cellula è costituito da unità ancora più semplici, le molecole, mentre il sistema molecola è composto dai mattoni ultimi della materia, le particelle elementari. Per quanto ne sappiamo, dunque, il cervello umano rappresenta il livello più avanzato nella gerarchia dei sistemi fisici, chimici e biologici prodotti dall'evoluzione. Si noti – e questa è una regola generale – che il nuovo livello evolutivo include tutti i livelli che lo hanno preceduto: pertanto, nel caso del cervello, le leggi biologiche, chimiche e fisiche dei livelli inferiori restano valide. Ma il nuovo livello porta con sé delle proprietà e degli schemi di comportamento originali, non pronosticabili nello stadio precedente, che seguono leggi completamente nuove.

Quest'osservata tendenza evolutiva verso una crescente complessità strutturale e funzionale potrebbe sembrare in contrasto

LIVELLO EVOLUTIVO	UNITÀ COSTITUTIVA
Materia	Particelle stabili
Vita	Molecole organiche
Coscienza autoriflessiva e intelligenza	Neuroni
Superorganismo?	Uomini o post-umani

Tabella 7.1. I principali livelli di complessità raggiunti dall'evoluzione cosmica sul nostro pianeta e le unità costitutive dei relativi sistemi. Il prossimo livello di questa progressione, come vedremo più avanti nel libro, potrebbe essere costituito dal superorganismo.

con una ben nota legge fisica, la *seconda legge della termodinamica*, secondo cui l'«entropia» – cioè il grado di disordine dell'universo – aumenta sempre. Tale apparente incongruenza si spiega col fatto che è l'universo nel suo insieme a tendere al disordine e alla morte. Localmente, invece, sono possibili tendenze verso un crescente grado di complessità e di ordine che non violano la seconda legge, perché questa si applica solo ai sistemi chiusi, cioè che non possono avere uno scambio di materia e di energia con l'ambiente esterno. Diversamente, in un sistema aperto, in cui esistono flussi di materia e di energia con l'esterno, in alcune circostanze l'ordine sembra emergere in modo del tutto spontaneo da un flusso di energia. Questa tendenza locale della materia a utilizzare i flussi di energia per creare spontaneamente strutture complesse, accompagnate dalla dissipazione dell'energia e dalla creazione di ordine durante il processo, è chiamata dagli scienziati «auto-organizzazione».

Fin dagli anni Settanta, le scienze della complessità studiano il fenomeno dell'auto-organizzazione cercando di comprendere l'origine sia di strutture complesse sia di *proprietà emergenti* – cioè di nuovi comportamenti – all'interno di sistemi fisici, chimici, biologici, sociali o di altro tipo. Un tipico caso di proprietà emergente lo incontriamo nel fenomeno fisico del «cambiamento di fase». Come è noto, la materia può esistere in tre stati: solido, liquido e gassoso. Il cambiamento di fase è il passaggio da uno stato della materia all'altro. Se per esempio prendiamo dell'acqua e la mettiamo nel freezer, in poco tempo si trasformerà in quel solido cristallino che è il ghiaccio. Poiché quest'ultimo è formato da una successione ripetuta e regolare di atomi, mentre l'acqua liquida è costituita da molecole che si muovono a caso, il ghiaccio ha un grado di ordine maggiore dell'acqua liquida, poiché la materia ha acquisito una struttura più organizzata. In pratica, col cambiamento di fase le proprietà dell'acqua sono cambiate: le singole componenti atomiche sono rimaste le stesse, ma è mutato il loro tipo di interazione.

Per analogia con il fenomeno fisico del cambiamento di fase appena descritto, ogni volta che nel corso dell'evoluzione cosmica si è sviluppato un più alto livello di organizzazione diciamo che si è verificata una «transizione di fase». Infatti, l'aumento di complessità – e l'evoluzione in generale – avvengono in maniera piuttosto lenta e continua, ma durante certi periodi essi accelerano vertiginosamente in maniera esponenziale, o ancora più rapida: il nuovo livello emerge, di solito, al termine di questa fase, quando viene raggiunta una certa soglia di complessità. In particolare, per lo sviluppo dell'organizzazione e delle interrelazioni necessarie alla transizione di fase pare sia necessario un numero critico di componenti di base, secondo alcuni rappresentato, come ordine di grandezza, dal numero «magico» 10^{10} (ossia dieci miliardi), che si incontra in importanti salti evolutivi: occorrono circa 10^{10} atomi per comporre le più semplici cellule viventi, circa 10^{10} cellule per formare un organismo pluricellulare autonomo, e circa 10^{10} neuroni per comporre la corteccia del cervello umano, l'area associata al nostro pensiero cosciente.

Se i numeri crescenti contribuiscono alla complessità, da soli non bastano per l'emergere di nuovi livelli evolutivi. Per il verificarsi di una transizione di fase in un sistema fisico, chimico, biologico, ecologico o socio-culturale occorrono, in effetti, altre tre cose: un aumento della diversità, dell'organizzazione e della connettività. La diversità significa, nel nostro contesto, che il sistema contiene un gran numero di elementi differenti. L'organizzazione, invece, si riferisce al fatto che tali elementi devono essere organizzati in un qualche modo specifico. La connettività, infine, fa sì che questi molteplici elementi organizzati possano interagire a vicenda, creando un'attività e delle relazioni all'interno del sistema. Queste tre caratteristiche sono evidenti, per esempio, in un organismo complesso come l'essere umano, che contiene vari tipi di cellule specializzate, le quali sono organizzate in tessuti ed organi che interagiscono a vicenda in maniera specifica. Analogamente, una cellula

contiene, a sua volta, numerosi tipi differenti di molecole strutturati in vari organelli interagenti fra loro in modi che solo adesso iniziamo a comprendere.

Sembra probabile che tutto ciò sia esattamente quel che sta accadendo nell'attuale società umana, dove assistiamo da qualche decennio – un «lampo» di tempo evolutivo per la nostra specie – a una crescita esponenziale della popolazione, che sta ora per avvicinarsi al numero magico di dieci miliardi (intorno al quale potrebbe stabilizzarsi, almeno per un certo periodo). Un'accelerazione analoga si sta verificando in quasi ogni campo dell'attività umana, coinvolgendo gli importanti indicatori evolutivi diversità, organizzazione e connettività. Nella moderna società, infatti, la diversità va crescendo sia per l'aumento della popolazione sia per l'incremento in sé della varietà; nei nostri sistemi socioculturali anche la struttura e l'organizzazione aumentano, per la crescente specializzazione e disponibilità di informazione; infine, i mezzi di trasporto e di comunicazione accrescono l'interdipendenza, l'interazione e



Figura 7.7. Internet e l'uso di protesi esterne sempre più «portabili» come questo prototipo di computer indossabile favoriranno sempre più la connettività in tempo reale e quasi continuativa fra gli uomini di gran parte del nostro pianeta.

l'interconnessione fra le parti.¹⁰ Insomma, alla luce della teoria delle transizioni di fase, le tendenze odierne sembrano condurre, prima o poi, allo stadio di complessità critica perché possa emergere un nuovo livello evolutivo.

DAL «SUPERORGANISMO SOCIALE» AL «CERVELLO GLOBALE»

Senza quasi rendercene conto, dunque, nel più grande sistema socioculturale esistente – la società mondiale – siamo forse giunti sull'orlo di una transizione di fase, che potrebbe portarci, sul medio termine, a un livello evolutivo più alto e governato da nuove leggi. Ma qual è il nuovo livello di complessità che stiamo per raggiungere? E soprattutto, qual è il fenomeno collettivo, il cambiamento radicale che potrebbe emergere da quest'ulteriore grande salto dell'evoluzione?

Il nuovo livello evolutivo può essere ben descritto con la metafora del *superorganismo sociale*. Infatti, la sempre maggiore complessità della società, le reti di comunicazioni planetarie in costante crescita e gli altri indicatori citati in precedenza suggeriscono che si stia verificando la progressiva integrazione degli esseri umani in un unico grande sistema vivente formato finanche da miliardi di individui: il «superorganismo sociale globale». L'idea non è nuova: risale agli antichi Greci, che già avevano notato la somiglianza tra il ruolo giocato dalle varie strutture nella società umana e le funzioni di organi, apparati e tessuti nel corpo di un animale superiore. In effetti, gli odierni impianti industriali estraggono dai materiali grezzi energia e mattoni costruttivi, proprio come il sistema digestivo. Strade, ferrovie, acquedotti e reti elettriche trasportano questi prodotti da una parte all'altra del sistema, come fossero arterie e vene. Discariche e fognature accolgono poi i prodotti di scarto, come un colon e una vescica. Esercito e polizia, infine, proteggono la società da invasori ed elementi estranei, come un sistema immunitario.

Pure in natura il concetto di superorganismo non è nuovo. Nel mondo animale, infatti, esistono parecchi esempi di organismi che si uniscono per formare unità sociali altamente integrate, anziché crescere come singoli e grandi complessi. Le forme di società non umane più evolute in tal senso le osserviamo negli insetti sociali: api, formiche e termiti. Da un punto di vista genetico, le loro colonie – che nel caso delle formiche e delle termiti possono comprendere milioni di individui – sono in realtà formate da due soli individui: la regina e il maschio che l'ha fecondata. Gli altri membri, tutti sterili e appartenenti alle caste specializzate degli operai o dei guerrieri, sono soltanto una sorta di «organi» fisicamente staccati tra loro, che però nel loro insieme formano il «corpo» della colonia. Ma, a guardar bene, anche la regina e il maschio sono degli organi: essi rappresentano, di fatto, gli organi riproduttivi della colonia. Pertanto, quest'ultima non è formata da una coppia di individui, bensì da uno solo: per quanto appaia sorprendente, l'individuo è la società stessa. Dunque, la colonia è un vero superorganismo.

Ogni colonia di insetti sociali può essere considerata, però, anche un «cervello di gruppo», poiché individualmente si tratta di insetti quasi insignificanti, ma, quando essi operano insieme a migliaia di loro compagni, la società risultante mostra una sorta di «mente collettiva» – o «intelligenza di gruppo» – assai maggiore di quella dei singoli organismi componenti, e che viene usata nei processi vitali dell'intera comunità. In effetti, nel caso degli insetti sociali ciascun individuo opera, in termini di contributo alla mente collettiva, un po' come una singola cellula nervosa nel cervello di un animale superiore: forse non è un caso che ogni insetto scambi informazioni con i suoi simili della colonia, un po' come i neuroni comunicano con altri neuroni attraverso gli assoni e i dendriti. Quindi, una colonia si comporta al tempo stesso come il *corpo* e come la *mente* di un organismo. Se vogliamo mettere più in evidenza il primo aspetto parleremo pertanto di superorganismo; se, invece, vogliamo sottolineare

più il secondo, parleremo di cervello di gruppo. Ma il cervello di gruppo non è altro che il cervello del superorganismo.

Se dunque in natura le capacità mentali possono svilupparsi in due forme completamente diverse – nell'*individuo*, come nella maggior parte delle specie animali, uomo compreso, oppure nella *società*, come nel caso degli insetti sociali – si può immaginare che, presto o tardi, anche dalla società umana possa emergere una mente collettiva: ciò in funzione di una progressiva integrazione delle singole menti attraverso una sorta di sinapsi elettro- niche, di sistema nervoso planetario di cui le attuali reti Internet e di comunicazione rappresentano solo i precursori. E proprio grazie alle capacità telecomunicative tra i membri della nostra specie – le quali si stanno sviluppando in maniera sempre più rapida, estesa ed intensiva – i cervelli componenti tale mente di gruppo potrebbero essere, in futuro, diffusi praticamente quasi su tutta la Terra. A quel punto si potrebbe quindi parlare, nel caso dell'umanità considerata nel suo insieme, non solo di superorganismo sociale – quale in parte è già – ma anche di *cervello globale*, o di cervello mondiale, per distinguerlo dal cervello di gruppo degli insetti sociali, geograficamente assai limitato.

In realtà, non solo esiste una certa analogia fra la società umana e quella degli insetti,¹¹ ma si nota anche un'interessante somiglianza tra l'embrione attuale del cervello globale e la genesi del cervello umano nell'embrione. La crescita delle cellule cerebrali, infatti, prima inizia lentamente, poi aumenta fino a diventare esplosiva finché, giunta alla tredicesima settimana, la crescita di numero si ferma e lo sviluppo si rivolge all'organizzazione interna: il cervello comincia a moltiplicare il numero delle connessioni ricostruendo, in pochi mesi, la complessa struttura che lo caratterizza. Analogamente, negli ultimi due secoli la popolazione mondiale – ovvero il numero di «cellule» nel cervello globale embrionale – è andata proliferando, ma ora la crescita sembra rallentare e forse sta già iniziando la fase successiva, la connessione delle menti umane in un'enorme rete integrata, che

potrebbe gradualmente trasformare il cervello globale da una metafora a una realtà. Ma in pratica, cosa potrebbe comportare questa rivoluzionaria metamorfosi collettiva, per un'umanità che pare oggi dirigersi verso la catastrofe?

Il parallelo con il cervello umano suggerisce che possano emergere delle proprietà globali o dei fenomeni collettivi che attengano, in particolare, alla sfera dell'intelligenza oppure della coscienza. Per esempio, secondo il fisico e filosofo inglese Peter Russell, che ha affrontato il tema nel suo libro *Il risveglio della mente globale*, il risultato finale dell'integrazione delle menti umane su scala planetaria potrebbe essere il formarsi e l'evolversi di una «coscienza globale» che superi i limiti imposti dalle nostre singole menti. Alla base di questa transizione dell'umanità verso uno stato di coscienza più alto, che porterebbe l'individuo ad agire non più nell'interesse personale a breve termine bensì per il bene a lungo termine della società nel suo insieme, vi sarebbe la condivisione universale di una nuova ideologia, una volta che ognuno di noi abbia abbracciato in pieno la complessità e le contraddizioni profonde del mondo in cui viviamo.

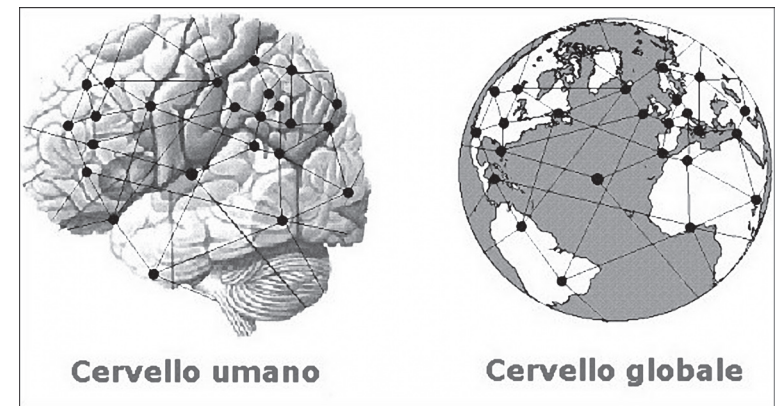


Figura 7.8. Un'illustrazione sintetica ma assai efficace del parallelo tra il cervello umano e il «cervello globale» che starebbe per nascere sul nostro pianeta.

Se così fosse, le leggi dell'economia, della politica e della sociologia potrebbero mutare radicalmente, e forse tutti lavorerebbero insieme per l'interesse comune, come le api in un alveare.

Tuttavia, poiché il nuovo livello di complessità che l'evoluzione cosmica starebbe per raggiungere – il cervello globale – non ha precedenti sulla Terra, ogni previsione del genere è in realtà altamente congetturale, e le possibilità appaiono molteplici. Può darsi, ad esempio, che la rivoluzione decisiva nella consapevolezza umana riguardi solo alcune persone (magari tra quelle ai posti di comando della società), in analogia col nostro cervello, dove specifiche abilità sono associate a una regione cerebrale limitata, e dunque a parte dei neuroni complessivi.¹² Inoltre, non è chiaro se la crescita mondiale nel grado di interconnessione fra le menti porterà verso una vera integrazione dell'umanità, cioè verso il cervello globale, o se invece semplicemente accrescerà in misura enorme – come Internet un po' fa già – le capacità dei singoli, dando origine a una moltitudine di «supercervelli» individuali, con conseguenze imprevedibili. Non a caso, la possibile evoluzione della specie *Homo sapiens* a livello singolo e collettivo è uno degli argomenti più incerti e intriganti tra quelli relativi al nostro futuro, e meriterebbe addirittura un libro a sé.

CONCLUSIONE

*Non c'è modo per cui da solo possa salvare il mondo,
ma mi vergognerei di far passare un solo giorno senza provarci.*

(Isaac Asimov)

Oggi, per la prima volta dopo decenni di crescente benessere, noi cittadini dei ricchi paesi occidentali non siamo sicuri di poter offrire ai nostri figli una vita migliore della nostra. Non solo viviamo in un pianeta più caldo, più inquinato, più conflittuale, ma addirittura, per la prima volta nella Storia, corriamo il pericolo di sterminare l'intera umanità con le bombe all'idrogeno, e rischiamo forse orrori ancora peggiori con le armi che l'ingegneria genetica e le altre potenti tecnologie del prossimo futuro ci metteranno via via a disposizione.

Il principale nemico dell'uomo, insomma, oggi non è più la natura, ma l'uomo stesso, soprattutto per la sua imprevidenza e per la sua enorme cupidigia. Purtroppo, la coscienza dell'essere umano non si è evoluta con la stessa velocità del rapido sviluppo tecnologico e materiale. Così, ciò di cui abbiamo a questo punto bisogno non è un uomo mutante biologicamente, come vorrebbero i transumanisti, bensì un uomo mutante prima di tutto culturalmente. Siamo ormai già in ritardo nell'indirizzare le tecnologie dei prossimi uno o due secoli, che potrebbero produrre micidiali e inattese armi per la distruzione di massa. D'altra parte, proprio la Storia ci insegna che, per cieca fede o per totale dipendenza verso un leader o un'idea, per odio verso

i suoi simili oppure per semplice follia, l'uomo non ha mai abbandonato la tragica propensione a sospendere, di tanto in tanto, l'uso del suo dono migliore: la ragione. Se dunque non interverremo per correggere la rotta che lo sviluppo tecnologico attuale sta seguendo, rischiamo di pagarne a caro prezzo le conseguenze, anche se ora non sappiamo esattamente *quando e come*.

Ognuno di noi cerca la felicità, ma dobbiamo chiederci se è opportuno rischiare così tanto, la totale distruzione, per acquisire sempre più sapere e beni materiali. L'avvento delle moderne tecnologie ha cambiato tutto fuorché il nostro modo di pensare, quando è esattamente quest'ultimo che dobbiamo cambiare se vogliamo sopravvivere all'uso dissennato delle moderne tecnologie. Se non cambiamo il nostro modo di pensare, la vita della nostra civiltà tecnologica potrebbe essere alquanto breve: la stessa fine del mondo come noi lo conosciamo potrebbe essere molto più vicina di quanto pensiamo. Il pericolo non sarà tra milioni di anni: esso potrebbe essere imminente! Di tutte le specie vissute sulla Terra, noi siamo la prima ad aver raggiunto la capacità di provocare la nostra stessa estinzione. Ma siamo anche capaci di prevederla e di prevenirla? Credo che tutti noi desideriamo che il nostro destino sia determinato dai nostri valori collettivi etici e morali. Eppure continuiamo a procedere rapidamente verso uno stadio critico di sviluppo, dove vi sono solo due possibili esiti: il crollo o una svolta decisiva.

Oggi ci troviamo, infatti, nel vivo della trasformazione più rapida e profonda nella storia dell'umanità: l'aumento della popolazione, del consumo di risorse, dell'inquinamento – nonché dell'innovazione tecnologica e della conoscenza scientifica – hanno un ritmo di crescita esponenziale, e *trend* simili si osservano in tutti i campi dell'attività umana. Questa situazione, però, non può continuare all'infinito. Infatti, estrapolando nel futuro le tendenze attuali, si scopre, ad esempio, che entro un paio di millenni l'energia utilizzata, la quantità di informazione gestita e le materie prime consumate condurranno, con il loro



Figura 8.1. In questo mondo di inizio millennio, l'uomo si sta rivelando il principale nemico di se stesso e del pianeta su cui vive. Nella foto, la Terra vista dalla Luna.

odierno tasso di crescita, a un'attività letteralmente su scala cosmica. Pertanto, se non si interverrà governando e rallentando queste e le altre tendenze globali, si oltrepasserà ben presto la capacità di carico dei vari sistemi naturali e sociali, arrivando infine a una rottura degli equilibri tra uomo e natura e tra Nord e Sud del mondo. L'umanità, insomma, si trova in una fase transitoria: sta raggiungendo rapidamente un «punto di rottura», e di certo non potrà proseguire a lungo su questa strada.

Proprio perché le attività della nostra civiltà sono insostenibili, un gran numero di società contemporanee, in particolare nel mondo sottosviluppato, si trovano già ora in una condizione di estrema instabilità, e sono alla vigilia di cambiamenti fondamentali. È assai probabile che, fra non molto, esse raggiungano un bivio: o cadranno nell'anarchia e nel caos di una crisi profonda, o dovranno affrontare il passaggio a una nuova e più funzionale

struttura istituzionale e, soprattutto, a una migliore organizzazione sociale, economica e politica. Anche il mondo intero, nel suo complesso, deve verosimilmente prepararsi ad affrontare, prima o poi, un bivio di questo tipo, una trasformazione di fondo che può tendere al meglio ma anche al peggio. È improbabile, comunque, che il cambiamento avvenga in modo graduale ed uniforme attraverso riforme e adattamenti: è più ragionevole pensare che la trasformazione avverrà previa una profonda destabilizzazione delle istituzioni e delle strutture preesistenti. Non possiamo dunque prevedere dove ci porterà lo scenario «se persistono i *trend* attuali», ma solo fare congetture.

Secondo i pessimisti, ci troveremo quasi sull'orlo di una gravissima crisi planetaria. Il mondo, difatti, in assenza di un repentino e radicale cambiamento di rotta, una volta raggiunti i suoi limiti nello sviluppo, è destinato a un crollo: o sotto forma di collasso improvviso o di una subdola lunga discesa lungo la china, che rappresenterebbe una fine non meno grave di una morte violenta, e che potrebbe eventualmente culminare in un *bang*. In effetti, la società umana, se non potrà adattarsi gradualmente alle pressioni che sarà costretta a sostenere, potrebbe facilmente crollare. Secondo gli ottimisti, invece, il mondo si adatterà, in qualche modo, ai futuri cambiamenti. Forse lo farà in maniera crescente e graduale, sebbene talvolta inefficiente e insufficiente: i sistemi di produzione, di consumo e di governo muteranno in risposta al cambiamento di valori, alle nuove scelte delle persone, alle mutate condizioni ecologiche, alla tecnologia disponibile e ai maggiori prezzi delle materie prime. Oppure, al contrario, si adatterà con una svolta decisa, preceduta da una destabilizzazione catastrofica dei sistemi economici, politici e sociali attuali.

È più plausibile un mondo che collassa perché raggiunge i suoi limiti o che si adatta in maniera crescente sebbene talvolta inefficiente e insufficiente ai cambiamenti? Poiché nessuno è in grado di leggere nel futuro, è impossibile dire se le tendenze

generali in atto condurranno a terribili disastri oppure verranno modificate da stupefacenti progressi nel campo delle istituzioni e delle conoscenze umane. Se siamo destinati ad aver successo o a fallire, a sopravvivere o a cadere vittime delle nostre tecnologie, comunque, non è ancora deciso. Certo è che l'umanità è oggi di gran lunga più a rischio che in qualsiasi altra fase della sua storia, e il nostro futuro come specie dipende dalle scelte che faremo nelle prossime centinaia di anni. Ci troviamo in un'era cruciale, in uno stretto collo di bottiglia evolutivo, caratterizzato dalla possibilità, mai presentatasi prima, di una nostra prematura estinzione. L'unica via d'uscita da questa strettoia appena imboccata, da questa sorta di gigantesco esperimento su noi stessi e sul nostro pianeta che non ammette possibilità di errore, è la colonizzazione dello spazio, la quale appare però troppo lontana nel tempo per rappresentare una soluzione pratica.

D'altra parte, se riusciremo a evitare l'Apocalisse, ci potrebbe attendere un'avventura meravigliosa. Tempo fa, lo scrittore inglese di fantascienza Arthur C. Clarke ha fatto notare che, in genere, le previsioni di nuovi sviluppi scientifici e tecnologici sono troppo ottimistiche sul breve termine ed eccessivamente pessimistiche sul lungo termine. Questa osservazione è forse applicabile anche all'intero futuro della nostra civiltà tecnologica e al destino dell'*Homo sapiens* in particolare. La colonizzazione dello spazio potrebbe, allora, essere l'«appuntamento finale» riservato alla nostra specie, l'unica che sia stata finora in grado di allontanarsi dalla Terra. In effetti, il superorganismo formato dagli abitanti sempre più interconnessi e numerosi del nostro pianeta potrebbe costituire un livello di complessità intermedio, nella scala dell'evoluzione cosmica: esso potrebbe, semplicemente, precedere quello superiore e finale – dopo che la nostra civiltà tecnologica sia passata attraverso lo stadio intermedio di civiltà stellare – rappresentato da una *civiltà galattica* formata da decine, se non centinaia o migliaia, di superorganismi o, se si vuole, di civiltà planetarie indipendenti.

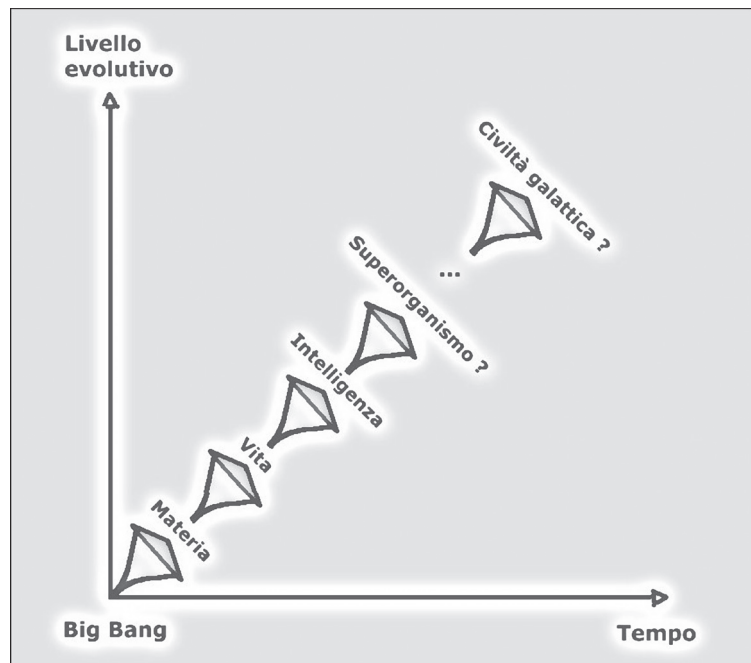


Figura 8.2. Il livello evolutivo successivo alla nascita del superorganismo potrebbe essere quello di una civiltà stellare, che potrebbe culminare in una vasta civiltà galattica formata da un gran numero di superorganismi indipendenti.

Uno dei presupposti fondamentali perché tutto ciò si verifichi è che il genere umano nel suo complesso non abbia raggiunto, nel frattempo, il suo «livello di incompetenza». Infatti per il noto *principio di Peter*, dal nome dello psicologo canadese che lo enunciò oltre trent'anni fa, «in ogni gerarchia un impiegato tende a salire sino al proprio livello di incompetenza massima, dopodiché ogni lavoratore si stabilizza al minimo grado di efficienza». Ma il principio di Peter, di fatto, si applica anche, su grandissima scala, all'intera umanità, che potrebbe prima o poi raggiungere il proprio livello di incompetenza vitale ed essere eliminata dalla gerarchia della vita. In altre parole, l'uomo moderno, che

viene da una serie lunghissima di «promozioni» – da abitatore delle foreste a scopritore del fuoco, da inventore della macchina a vapore a dominatore dell'atomo – non può aspirare a un'ascesa senza fine, a una promozione *ad infinitum*. La domanda, a questo punto, è: l'uomo riuscirà mai a raggiungere la promozione da viaggiatore terrestre a viaggiatore spaziale, accrescendo così le sue possibilità di sopravvivenza? Nessuno può dirlo!

APPENDICE I.

QUANDO NASCE UN'EPIDEMIA VIRALE

Per il verificarsi nel mondo di una nuova epidemia virale o, nel caso più estremo, di una pandemia – cioè di un'epidemia diffusa in gran parte del pianeta – occorre, innanzitutto, che si origini un «nuovo» virus; ed, inoltre, che vi siano le condizioni adatte al suo successivo propagarsi tra la popolazione. Un nuovo virus che colpisca l'uomo si può originare, essenzialmente, in tre modi:

- *Nascita ex novo di un nuovo virus, ovvero, di solito, evoluzione di un virus preesistente in una nuova variante virale.* L'esempio classico è rappresentato dal virus dell'influenza, che ogni anno dà origine a nuovi ceppi virali, pur conservando abbastanza della propria struttura da causare sempre una medesima «vecchia» malattia, in quanto i sintomi e le caratteristiche sono sempre le stesse da secoli. Le nuove varianti di virus influenzali nascono, di solito, in Cina, dove nelle fattorie vengono allevati insieme volatili e maiali. Infatti, i maiali sono i tradizionali serbatoi di adattamento del virus alla specie umana perché, essendo sensibili sia al virus influenzale umano sia a quello dei volatili, permettono la trasformazione, tramite scambio di materiale genetico, di un qualche virus degli uccelli – serbatoi di tutti i virus influenzali conosciuti – in uno capace di infettare l'uomo. Inoltre, alcuni virus influenzali umani (quelli della famiglia «A»), sono mutanti, per cui generano periodicamente una nuova pandemia: la più disastrosa è stata la «spagnola» del 1918-19, che provocò più di 25 milioni di morti nel mondo.

- *Introduzione nella comunità umana di un virus sconosciuto ospitato da qualche serbatoio animale con cui si è entrati in contatto.* È il caso ampiamente illustrato nel testo, dovuto a nuovi parassiti in grado di infrangere la barriera tra la specie che li ospita – in una forma, di solito, benigna per l'animale – e la specie umana. In questo caso, quindi, a differenza dell'influenza, si parla di nuovo virus e anche di nuova malattia. Alcuni esempi tipici di tale forma di introduzione di nuovi agenti virali nell'uomo sono dati dai virus dell'Ebola, del Marburgo, del Lassa – i cui serbatoi animali sono tuttora sconosciuti (ad eccezione del Lassa, che sappiamo essere ospitato da un ratto del gruppo *Mastomys natalensis*, che vive nelle regioni a sud del Sahara) – e dal virus HIV, che sarebbe migrato dal serbatoio di alcuni scimpanzè africani a quello umano con la cacciagione, oppure tramite riti tribali che comportavano il contatto con il sangue di questi animali.

- *Trasmissione del virus da parte di una comunità umana piccola e/o isolata in cui il virus si è originato o in precedenza introdotto.* Si deve qui parlare, dunque, di vecchio virus e di vecchia malattia. L'esempio classico è rappresentato dal virus del vaiolo (e da altre malattie del Vecchio Mondo, quali il morbillo, l'influenza, la malaria e la febbre gialla), la cui involontaria introduzione nel continente americano da parte dei primi colonizzatori spagnoli pose improvvisamente fine, nel Cinquecento, alle civiltà messicane azteca e inca, e agli indios nordamericani, permettendo agli europei di sostituirsi facilmente alle popolazioni indigene. Infatti, le popolazioni precolombiane (i cui antenati erano giunti in America camminando dalla Siberia all'Alaska sui ghiacci dell'ultima glaciazione) erano rimaste isolate per oltre diecimila anni da quelle europee, che nel frattempo avevano raggiunto un equilibrio con virus letali del tutto assenti oltreoceano. Nel mondo di oggi, comunque, è difficile che esistano da qualche parte popolazioni, sia pure primitive e piccole – ma, come ora vedremo, non troppo! – realmente isolate dal resto dell'umanità.

Le condizioni minime per l'eventuale innescarsi di un'epidemia ad opera del nuovo virus si possono riassumere con una semplice formula matematica. Sia R il numero medio di nuovi contagiati provocati

dal primo malato – il cosiddetto «paziente 1» – e da ogni successiva persona infettata, in una popolazione in cui (inizialmente) nessuno sia immune. Allora, se è $R > 1$, cioè se il virus può trasferirsi da un ospite infetto su più di un individuo ancora sano, la malattia si diffonde e si verifica un'epidemia. Esiste, pertanto, una soglia minima perché il virus possa propagarsi, e dunque «emergere» nella popolazione. Questo spiega, ad esempio, perché molti virus già esistenti dall'antichità nei serbatoi animali abbiano atteso tanti secoli prima di poter comparire in forma epidemica nell'uomo: appena R , in qualche popolazione umana, ha superato l'unità per un certo virus, è stata possibile una vera e propria epidemia da parte di quel determinato parassita.

Il superamento dell'unità da parte di R dipende non solo dalla contagiosità del virus, ma anche dal numero di persone esposte al contagio e dalla durata della fase infettiva della malattia. Ciò è sintetizzabile scrivendo:

$$R = \text{probabilità di contagio} \times \text{numero di persone esposte} \times \text{durata della malattia}$$

dove il numero (che chiameremo N) di persone esposte al contagio dipende, a sua volta, dalla densità di popolazione e dal comportamento dell'ospite umano, due fattori sociali che variano da luogo a luogo e nel tempo. Oggi N – e quindi, a parità di altri parametri coinvolti, pure R – sta diventando sempre più grande. Anzi, si può dire che N comprende già, virtualmente, l'intero genere umano, a causa dall'incremento della popolazione mondiale, dell'urbanizzazione, della crescente possibilità di spostamenti aerei e di rapidi collegamenti fra i diversi continenti, dell'aumento di viaggi e viaggiatori: tutti fenomeni il cui denominatore comune è il contatto più frequente tra gli individui infetti e quelli non ancora infettati.

Il valore effettivo di R , una volta iniziata l'epidemia, tende naturalmente a variare nel tempo, poiché dipende dall'equilibrio fra tre gruppi di individui: quelli non ancora infetti (N), quelli che sono già stati infettati ma risultano immuni alla malattia, e quelli già infettati che l'hanno invece sviluppata. In particolare, se a un certo punto si verifica la condizione $R < 1$, l'epidemia si arresta, o quanto meno si riduce.

Tuttavia, può accadere che R rimanga superiore all'unità, consentendo così a un'infezione virale contratta da un serbatoio animale di sopravvivere senza estinguersi nella specie umana, trasmettendosi da persona a persona e trovando sempre nuovi ospiti vulnerabili su cui «saltare», come nel caso del morbillo.

Affinché ciò si verifichi, una condizione necessaria è che il *pool* di individui infettabili, cioè il numero N di persone esposte al contagio, superi una soglia minima. Il morbillo, ad esempio, non può persistere in comunità di individui – sia pure densamente stipate quali sono le città – composte da meno di 300.000 persone. Tale malattia, pertanto, non costituiva un problema per i nostri antenati cacciatori-raccoglitori, e deve esserci stata trasmessa da una fonte animale, probabilmente bovina, solo negli ultimi 6.000 anni, dato che prima non esistevano comunità umane abbastanza grandi per la sopravvivenza del relativo virus. Un discorso analogo vale per le altre malattie infantili (rosolia, pertosse, varicella, eccetera), ciascuna delle quali ha una sua soglia minima che dipende, al solito, dalla densità di popolazione e dal comportamento dell'ospite umano, entrambi variabili nel tempo e nello spazio.

APPENDICE II.

L'INCONTRO CON UNA CIVILTÀ ALIENA

Forse non siamo le soli creature intelligenti nell'universo, ed esistono altre civiltà tecnologiche nella nostra o in altre galassie. Ebbene, il genere di incontro, o «contatto», che si può stabilire tra due civiltà tecnologiche può essere di vari tipi, e le relative conseguenze dipendono sia dalle circostanze e dalle modalità con cui una civiltà scopre l'altra, sia dal differente grado di sviluppo.

A un estremo dello spettro delle possibilità, vi è il classico scenario *radioastronomico*, in cui dei radiotelescopi impegnati nella ricerca di civiltà extraterrestri rivelano un debole segnale radio prodotto da un'altra intelligenza. In questo caso, se la civiltà aliena è più o meno al nostro stesso livello di sviluppo, la distanza che ci separa – presumibilmente dell'ordine, almeno, delle centinaia o migliaia di anni luce – ci mette al riparo da minacce immediate, e il risultato del contatto può essere un semplice e pacifico scambio di informazioni. All'altro estremo, vi è lo scenario del *contatto diretto*, in cui incontriamo gli extraterrestri faccia a faccia, un po' come accade nei film di fantascienza. In tal caso, il contatto non sarebbe il risultato di una nostra ricerca, ma una vera «sorpresa»; e, se la civiltà aliena fosse molto più avanzata della nostra, l'evento potrebbe rivelarsi per noi tragicamente fatale.

L'immagine comune che noi abbiamo degli extraterrestri, di fatto, è in larga parte determinata dalla cinematografia, che ha prodotto sul tema numerose serie televisive di successo, come *Visitors* negli anni

Ottanta e *X-Files* negli anni Novanta, e nell'ultimo mezzo secolo molti popolari film di fantascienza: *L'invasione degli ultracorpi* (1956), *2001: Odissea nello spazio* (1968), *Incontri ravvicinati del terzo tipo* (1977), *Alien* (1979), *E.T., l'extraterrestre* (1982), *Independence Day* e *Mars Attack!* (1996), *Contact* (1997), *Mission to Mars* (2000). L'idea che ci facciamo degli alieni riflette quindi, da una parte, i nostri desideri e, dall'altra, i nostri timori. Cercando di razionalizzare il problema, però, si può dire che una civiltà così avanzata da poter entrare in contatto fisico con noi potrebbe essere anche eticamente più elevata, e quindi costituita da creature pacifiche e benigne.

Se la durata media L di una civiltà extraterrestre è, per ipotesi, abbastanza lunga – pur senza azzardare qui cifre precise che sarebbero difficilmente giustificabili (diciamo solo $L > 1.000$) – allora, quanto più L è grande, tanto più è improbabile che una civiltà tecnologica si trovi a un livello di sviluppo simile al nostro, quanto, piuttosto, a uno stadio tecnologico assai superiore. In tal caso, noi saremmo una civiltà giovanissima, in pratica una delle più giovani come livello tecnologico tra le possibili civiltà comunicative. Inoltre, una civiltà aliena molto longeva potrebbe, a un certo punto, sviluppare mezzi di comunicazione più efficienti delle radioonde, rendendoci assai difficile o addirittura impossibile la sua scoperta; e, al tempo stesso, non avere più grande interesse a entrare in contatto con altre civiltà.

D'altra parte, proprio la disparità tecnologica, scientifica e culturale che ci separa da una sorta di «superciviltà» molto più avanzata della nostra, rende ogni speculazione fine a se stessa, non avendo neppure un modello terrestre a cui far riferimento. Tuttavia, se immaginiamo il contatto fisico tra diverse civiltà nel contesto della storia umana, costellata da episodi brutali, allora dobbiamo ragionevolmente temere un attacco o una sorta di invasione e di sottomissione da parte di mostri alieni, più o meno orribili ma comunque pur sempre dotati di poteri sorprendenti. La storia umana, difatti, è ricca di esempi di culture che sono state distrutte o assorbite da altre civiltà: un incontro faccia a faccia con esseri superiori potrebbe, quindi, significare la fine dell'umanità come noi la conosciamo.

Non dobbiamo, insomma, dolerci più di tanto del fatto che non abbiamo ancora ricevuto una visita da parte di esseri più avanzati di noi. Infatti, data l'immensità delle distanze interstellari, un contatto stabilito via radio (o attraverso altre bande elettromagnetiche) tra la nostra e un'altra civiltà più o meno allo stesso livello di sviluppo non comporterebbe, a breve e medio termine, alcun pericolo per il nostro pianeta. Ma, nel caso di un contatto fisico diretto con una civiltà evoluta, l'incontro potrebbe non risultare affatto «indolore». Proprio per evitare possibili conseguenze negative, sembra buona norma di prudenza non tradire la nostra presenza con trasmissioni radio potenti e deliberate verso stelle lontane, come quelle effettuate, sia pure assai sporadicamente, negli ultimi trent'anni.

In realtà, le onde radio che inviamo nello spazio ormai da oltre settant'anni hanno fatto sì che la Terra sia un pianeta «luminoso» dal punto di vista elettromagnetico, identificabile come corpo abitato da parte di eventuali civiltà che si trovino nel raggio di circa 75 anni luce dal Sole. E, se assumiamo come ipotesi che la durata media di una civiltà tecnologica sia di diecimila anni, dal momento che noi stiamo trasmettendo segnali da appena settanta-ottant'anni, abbiamo più del 99 per cento di probabilità che la prima civiltà con cui potremo entrare in contatto sia ben più avanzata della nostra. Dunque, è assai più probabile che siano gli alieni a trovarci – magari con mezzi a noi sconosciuti – piuttosto che noi a trovare loro.

APPENDICE III.

LA TEORIA EVOLUTIVA DELLA VIRULENZA

L'opinione che la maggior parte dei medici e degli autori di testi di medicina aveva, fino a non molti anni fa, sull'evoluzione della «virulenza» – cioè, in pratica, del grado di aggressività per l'ospite umano – di un agente patogeno (virus, batterio o altro parassita), era che, quando la nostra specie e il parassita coevolvono per un lungo periodo di tempo, quest'ultimo tende a diventare meno virulento, evolvendo in definitiva verso una forma più benigna per l'uomo.

Si riteneva, infatti, che i parassiti arrecanti poco o nessun danno ai loro ospiti hanno, come specie, la massima probabilità di sopravvivere sul lungo termine: essi prosperano – si pensava – perché anche gli organismi loro ospiti prosperano, per cui la selezione naturale deve favorirne una minore virulenza. Quest'idea era peraltro supportata da esempi famosi come quello della mixomatosi citato nel testo, in base al quale un «nuovo» virus introdotto dall'uomo fra i conigli australiani si era evoluto, nel giro di pochi anni, in un germe assai meno virulento.

Sin dalla fine degli anni Settanta, tuttavia, alcuni biologi evolucionisti, tra cui l'americano Paul W. Ewald dell'Amherst College, nel Massachusetts, hanno proposto un modo completamente nuovo di vedere le cose, che ha permesso di giungere a una vera e propria *teoria evolutiva della virulenza*. Secondo questi scienziati, la coevoluzione tra un parassita e l'ospite umano – e, più in generale tra un agente patogeno e una specie ospite – non evolve necessariamente verso una

coesistenza benigna, bensì può rendere il germe *più o meno* virulento. Difatti, secondo la loro teoria evolutiva della virulenza, che ha reso ormai superata la vecchia teoria dei medici, la selezione naturale premia i parassiti che hanno la massima probabilità di sopravvivere sul lungo termine non come specie, ma come singoli individui, secondo una visione darwiniana dell'evoluzione applicabile perfettamente anche ai microrganismi (e di cui il recente sviluppo della resistenza dei batteri agli antibiotici non è che l'ennesima conferma).

Ma è proprio questo il punto, secondo gli evolucionisti. Un germe resta innocuo o poco virulento finché le probabilità di contagio sono basse. Se però quel parassita «scopre» che passare da un individuo all'altro è diventato facile, allora può avere tutto l'interesse a riprodursi – e quindi a diffondersi – più rapidamente, anche a costo di uccidere il suo ospite. Viceversa, se nel caso di un patogeno altamente virulento il contagio di altre persone diventa per qualche ragione più difficoltoso, il germe avrà interesse a diventare meno virulento, per permettere all'ospite di restare attivo e assicurare al parassita la possibilità di entrare in contatto con altri potenziali ospiti. Pertanto, la virulenza di un agente patogeno può diminuire o aumentare nel tempo, a seconda di quale opzione sia più vantaggiosa per i suoi geni, e ciò dipende dalla complessa influenza e interazione reciproca di vari:

- *fattori biologici*, come la modalità e capacità di trasmissione del parassita, la sua capacità di sopravvivere per lunghi periodi di tempo al di fuori di un organismo ospite e la resistenza opposta dal sistema immunitario dell'ospite stesso;

- *fattori sociali*, quali la densità di popolazione di una comunità umana, l'ambiente di vita e il comportamento delle persone (quest'ultimo, in particolare, determina la via e il momento della trasmissione del patogeno tra gli individui).

Ad esempio, consideriamo il caso di un virus emergente che si trasmetta fra le persone per contatto diretto, cioè attraverso starnuti e tosse, contatto fisico, o rapporti sessuali: esso tenderà in genere a raggiungere, anche se il comportamento delle persone non variasse nel tempo (la popolazione, invece, di solito diminuisce a causa della

malattia) uno stato di bassa virulenza, come accaduto per il virus della mixomatosi nei conigli australiani, perché l'ospite deve rimanere abbastanza attivo da permettere l'interazione con altre persone. Consideriamo, invece, un agente patogeno che venga diffuso da vettori intermedi, quali insetti o altri animali, mani di operatori sanitari, acque contaminate: in questo caso, poiché alcune malattie (malaria, colera, eccetera) sono trasmesse meglio da ospiti del tutto inabili e più gravemente colpiti, un'alta virulenza può costituire un vantaggio selettivo per il parassita, portando alla selezione di ceppi più virulenti; e il fatto che, per questo, un ospite malato più spesso poi muoia non rappresenta, per il parassita, un problema.

Più della modalità di trasmissione e degli altri fattori biologici, comunque, è il comportamento dell'uomo a giocare, insieme agli altri fattori sociali, un ruolo fondamentale nell'evoluzione della virulenza di un agente patogeno che affligga la nostra specie. Certe scelte comportamentali delle singole persone nella vita di tutti i giorni, e quelle collettive in tema di sanità pubblica, oltre a preservare direttamente i singoli individui dal contrarre una determinata infezione, hanno un effetto meno immediato, ma fondamentale, nel ridurre il grado di virulenza del patogeno associato. La letteratura medica offre ampie prove a favore di tali effetti, prodotti per lo più ostacolando la trasmissione degli agenti patogeni per via «culturale»: cioè, nel caso di molte malattie batteriche, informando sulla necessità di migliorare le condizioni igieniche (personali, delle fonti idriche, ospedaliere, eccetera); nel caso dell'AIDS, spingendo i soggetti delle categorie a rischio a usare siringhe non contaminate e ad adottare pratiche sessuali sicure (uso di preservativi, diminuzione della promiscuità e dei comportamenti ad alto rischio), e così via.

L'applicazione sistematica alla medicina dell'approccio darwiniano alla virulenza costituisce, insomma, una nuova strada assai promettente per contrastare i nuovi futuri agenti patogeni, soprattutto virali, che attaccheranno l'uomo – per i quali non sono evidentemente disponibili vaccini – e per tenere sotto controllo quelli che già ci affliggono, sempre più difficilmente contrastabili dai trattamenti tradizionali con

antibiotici o con altri farmaci. Infatti, esaminando i vari fattori biologici e sociali che influenzano la virulenza di un determinato patogeno, i biologi evuzionisti possono prevedere i decorsi evolutivi del parassita, scoprire ciò che più ci rende vulnerabili ad esso, e mettere a punto le terapie e i comportamenti sociali più adeguati per trasformare un pericoloso parassita in un germe meno temibile.

RINGRAZIAMENTI

Questo libro, che tra documentazione e stesura ha richiesto circa otto anni di lavoro, è un'opera fortemente interdisciplinare, che tocca vari campi del sapere. Pertanto i revisori che hanno letto uno o più capitoli del manoscritto, fornendo la propria critica e assistenza professionale nelle rispettive aree di competenza, sono stati numerosi, e desidero esprimere loro la più profonda gratitudine.

In particolare, sono grato a: Roberto Antonietti (Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma), Ernesto Capanna (Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Università di Roma), Alessandro Corneli (docente di Storia delle Relazioni Internazionali, Università Luiss, Roma), Massimo Della Valle (Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Firenze), Vittorio Foglietti (Istituto di Fotonica e Nanotecnologie, CNR, Roma), Giuseppe Gesano (Istituto di Ricerche sulla Popolazione e le Politiche Sociali, CNR, Roma), Umberto Gori (Dipartimento di Scienza della Politica e Sociologia, Università di Firenze), Carlo La Vecchia (Laboratorio di Epidemiologia, Istituto di Ricerche Farmacologiche «Mario Negri», Milano), Giuseppe Nardulli (Unione Scienziati per il Disarmo, Università di Bari), Vincenzo Scarlato (docente di Biologia Molecolare e Cellulare, Università di Bologna), Rosario Sorbello (docente di Intelligenza Artificiale e Robotica, Università di Palermo), Angelo Vulpiani (Dipartimento di Fisica, Università di Roma). La loro collaborazione è stata molto apprezzata, ma la responsabilità finale delle opinioni espresse e degli errori residui rimane ovviamente solo mia.

Ho inoltre un enorme debito nei confronti di Luciano Anselmo (Laboratorio di Dinamica del Volo Spaziale dell'ISTI/CNR, Pisa), per i preziosi consigli ricevuti nella fase finale di revisione del testo, dopo un'attenta lettura critica dell'intero manoscritto.

Sono altresì grato per avermi illustrato, nel corso delle mie interviste per i libri SciBooks della serie *Il mestiere dello scienziato*, i loro punti di vista riguardo alcune questioni trattate nel testo, a: Edoardo Boncinelli (Università Vita-Salute San Raffaele, Milano), Andrea Carusi (Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica, CNR, Roma), Luigi Luca Cavalli-Sforza (School of Medicine, Stanford University, Stati Uniti), Arturo Falaschi (International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology, Trieste), Alessandro Montanari (Osservatorio Geologico di Coldigioco, Frontale di Apiro, Macerata), Pier Giuseppe Pelicci (Istituto Europeo di Oncologia, Milano), Sandro Pignatti (docente di Ecologia, Università di Roma), Roberto Vacca (ingegnere e scrittore, Roma).

Un grazie, infine, agli amici Alice Andreoli, Antonella e Valeria Brizzi, Antonella D'Agostino, Sergio D'Argenio, Riccardo Lotti, Luca e Marco Mazzini, Domenico Nocera, Catia Peduto, Daniele Spugnoli e Maria Viterbo, che hanno collaborato con grande disponibilità a una lettura critica delle bozze del manoscritto.

Desidero dedicare questo libro, non senza una grande nostalgia nonostante il tempo trascorso dalla sua scomparsa, alla memoria dell'amico e maestro Paolo Farinella (1953-2000), che mi incoraggiò nella fase iniziale di preparazione dell'opera. Se ho sviluppato una passione per i temi interdisciplinari, lo devo anche a lui.

NOTE

1. IL DOMANI DI IERI

1. Nel corso di questo libro, per semplicità indicheremo sempre la nostra specie, comparsa in Africa circa 160.000 anni fa, col nome di *Homo sapiens*. A rigore, si dovrebbe chiamare *Homo sapiens sapiens*, se non altro per distinguerla dall'uomo di Neanderthal, o *Homo sapiens neanderthalensis*, accanto al quale siamo vissuti insieme in Europa fino a 30.000 anni fa. Gli uomini di Neanderthal fabbricavano oggetti in pietra e in legno, e avevano già pratiche culturali come la sepoltura dei morti. Gli *Homo sapiens sapiens* praticamente non si sono mai incrociati con loro, limitandosi a condividere i territori colonizzati durante il tardo Pleistocene, circa 40.000 anni fa. Gli uomini di Neanderthal hanno infine dovuto soccombere alla concorrenza dei più gracili ma più intelligenti *Homo sapiens sapiens*, che li hanno sostituiti ovunque, sebbene si ignorino i motivi precisi del loro successo.
2. Per avvicinarsi sempre più all'istante iniziale, quando l'universo osservabile era molto più piccolo di un solo atomo attuale, occorre usare uno strumento teorico adatto a studiare le realtà microscopiche: la meccanica quantistica. Nessuno, però, è ancora riuscito a formulare una teoria quantistica della gravità. Nell'ambito di questa teoria un giorno si potrà forse trovare il fondamento scientifico di un'ipotesi oggi condivisa da molti cosmologi: l'esistenza di una sorta di «preistoria» dell'universo; per esempio, di un universo «genitore» che generò il nostro.
3. Di recente, sono state messe in discussione da vari ricercatori le prove, in precedenza ritenute attendibili, della presenza di organismi unicellulari in rocce ritrovate in Groenlandia e in Australia risalenti a più di 3,7

miliardi di anni fa. Le anomalie chimiche riscontrate nelle rocce, infatti, potrebbero essere ricondotte a un'attività non biologica: in particolare, a reazioni chimiche inorganiche che si svolgono a pressioni e a temperature elevate, e che avrebbero simulato la «biogenicità» delle anomalie, o addirittura la forma di fossili microscopici. Strutture fossili risalenti a 3,5 miliardi di anni fa e analoghe alle stromatoliti (strutture torreggianti costituite da colonie di cianobatteri) sono oggi rimaste fra i pochi segni di vita primordiale ampiamente accettati dagli studiosi.

4. A scanso di equivoci, è bene chiarire che l'espressione *Homo technologicus* non sta a indicare un recente evento di speciazione oppure una sottospecie dell'uomo moderno, bensì vuole soltanto sottolineare la straordinaria evoluzione tecnologica che ha caratterizzato la fase più recente dell'evoluzione culturale umana. Da un punto di vista biologico, quindi, qualsiasi uomo moderno rimane *Homo sapiens sapiens*, la stessa specie cui appartenevano gli uomini del Neolitico.
5. In realtà, anche se molto lentamente e in modo difficilmente apprezzabile sui tempi brevi di vita degli esseri umani, l'evoluzione biologica dell'uomo è un processo continuamente *in fieri*, come in tutte le altre specie esistenti sul pianeta. L'unico caso in cui si può propriamente affermare che l'evoluzione di una specie è finita coincide con la sua estinzione.
6. Il Terzo Mondo si chiama così per distinguerlo sia dall'Occidente (che sarebbe il «Primo Mondo»), sia da quelli che un tempo erano i paesi comunisti (il «Secondo Mondo»). Il Terzo Mondo, che comprende paesi di Asia, Africa e America Latina caratterizzati da un livello socio-economico arretrato, da un elevato tasso di incremento demografico e da un'economia prevalentemente agricola, sono stati in origine accomunati dal fatto di essere stati colonizzati dall'Occidente. Oggi, alla distinzione tra Primo, Secondo e Terzo Mondo, si preferisce quella tra Nord e Sud economico del mondo.
7. Da qui è scaturito il concetto di *popolazione minima vitale* (PMV), un'idea sviluppata da Robert MacArthur e Edward O. Wilson nel 1967: le popolazioni al di sopra di questo limite sono teoricamente immuni dalle estinzioni, mentre è probabile che quelle al disotto si estinguano molto rapidamente. In pratica, gli ecologi definiscono PMV una popolazione che ha il 99 per cento di probabilità di sopravvivere per un periodo di almeno 1.000 anni. La PMV varia da specie a specie, ma raramente è inferiore a qualche centinaio di individui. Questa cifra è probabilmente

più alta per i mammiferi, come l'uomo e i suoi antichi antenati, e per orizzonti temporali molto più lunghi.

8. In un recente studio pubblicato sull'*American Journal of Human Genetics*, il genetista Marcus W. Feldman stima che l'intera popolazione ancestrale di esseri umani, prima dell'espansione dall'Africa in Medio Oriente, Europa, Asia, Oceania e America, consistesse soltanto in circa 2.000 individui. Questa stima non preclude la presenza di altre popolazioni di *Homo sapiens* in Africa, anche se suggerisce che si trattava probabilmente di tribù isolate le une dalle altre, e che tutti gli abitanti del pianeta discendono da una sola o da poche di queste popolazioni. La dimensione ridotta della nostra popolazione ancestrale potrebbe spiegare perché c'è così poca variabilità genetica nel DNA umano in confronto a quello degli scimpanzé e di altre specie a noi imparentate da vicino.
9. Secondo la mitologia greca, Prometeo, il Titano in lotta contro Zeus, il re degli dei, osò rubare il fuoco a questi ultimi per donarlo all'uomo, mettendo dunque in grave pericolo gli dei dell'Olimpo, poiché attraverso la tecnica gli uomini avrebbero potuto ottenere da soli quello che fino ad allora chiedevano agli dei immortali. Da qui la punizione di Prometeo e il «castigo» dell'uomo da parte degli dei attraverso la creazione della donna, incarnata da Pandora, che un giorno non resistette alla tentazione di aprire il «vaso dei mali» donatole da Zeus, dal quale sprigionò malattia, dolore e morte. Invano Pandora cercò affannosamente di chiudere il vaso, di trattenere i mali e di rimediare al disastro. Da quel giorno, la vita degli uomini fu desolata da tutte le sventure scatenate da Giove.

2. UN MONDO DI PROBLEMI

1. L'Occidente, che storicamente corrisponde all'Europa cristiana occidentale, nell'era moderna comprende soprattutto l'Europa occidentale e il Nord America, più altri paesi a forte colonizzazione europea – quali l'Australia e la Nuova Zelanda – o comunque fortemente moderni e occidentalizzati, come il Giappone. In particolare, la civiltà euroamericana o nordatlantica è oggi comunemente definita «civiltà occidentale». La divisione tra l'Occidente (o la civiltà occidentale) e il resto del mondo pone di solito l'accento più sui valori, sulla filosofia e sul modo di vita che sulle differenze

- di carattere economico. Quella occidentale, curiosamente, è l'unica civiltà identificata da un punto cardinale anziché dal nome di una religione, di un popolo o di un'area geografica.
2. Il fatto che quel 20 per cento della popolazione mondiale appartenente al Nord economico del pianeta consumi circa l'80 per cento delle risorse presenti sulla Terra indica chiaramente responsabilità differenti tra Nord e Sud del mondo: la crescita di popolazione che caratterizza il Sud e gli sprechi che caratterizzano, invece, il Nord non hanno lo stesso peso nel produrre deterioramento ambientale. Lo spreco dei paesi ricchi non solo determina i cambiamenti globali, ma esporta morte e miseria verso i paesi poveri. Il taglio della foresta amazzonica, per esempio, non è funzionale ai poveri locali ma alle richieste di mercato dei paesi ricchi: basti pensare a quali paesi appartengono e dove vanno a finire le vacche che pascolano in Brasile dove prima c'era la foresta.
 3. Alluvioni, trombe d'aria e siccità si alternano con intensità e frequenza che non hanno riscontro nella storia recente dell'Italia; inoltre, a differenza di qualche anno fa, tali fenomeni hanno perso il carattere dell'eccezionalità. Attualmente, i danni economici diretti e indiretti prodotti nel nostro paese dai cambiamenti climatici sono stimati in oltre 10 miliardi di euro l'anno. La nostra penisola è tra le zone che saranno colpite più pesantemente anche dai cambiamenti climatici dei prossimi 100 anni, i quali provocheranno al Sud siccità e desertificazione del suolo, dando luogo a un ecosistema di tipo nordafricano, e al Nord più frequenti e disastrose piogge alluvionali, mentre i mari rosicchieranno metri e metri alle coste soprattutto nell'Alto Adriatico e nel Meridione.
 4. In realtà, a causa dell'inquinamento ambientale, anche nei paesi occidentali (Stati Uniti ed Europa), la fertilità maschile risulta in forte diminuzione: nel 1940, infatti, si potevano riscontrare 120 milioni di spermatozoi per millilitro di sperma, mentre oggi si arriva a malapena a 40-50 e le cellule sono meno «brillanti» di un tempo. Il ritmo del calo va da un milione e mezzo per millilitro l'anno negli Stati Uniti a tre milioni in Europa. Si noti che sono considerati potenzialmente sterili gli individui il cui sperma contiene meno di 13,5 milioni di spermatozoi, dei quali meno del 32 per cento sono molto mobili. Di questo brusco calo è certamente responsabile la presenza nell'ambiente, e in quello che mangiamo, di sostanze capaci di influire negativamente sulla produzione degli spermatozoi: probabilmente, si tratta di sostanze simil-ormonali che imitano

- l'azione degli estrogeni – gli ormoni sessuali femminili – e sono presenti in molte plastiche, pesticidi e inquinanti industriali.
5. Nel maggio 2005, il quotidiano inglese *Independent On Sunday* ha pubblicato i risultati di uno studio sperimentale, datato dicembre 2002, della multinazionale di biotecnologie Monsanto. Secondo tali risultati, contenuti in un rapporto confidenziale interno di circa 1.000 pagine, i topi di laboratorio nutriti con il mais geneticamente modificato *Mon 863* avevano sviluppato diverse gravi anomalie, tra cui reni più piccoli e una diversa composizione del sangue. Nonostante questi risultati sollevino chiaramente timori sul fatto che anche la salute degli esseri umani potrebbe essere messa a rischio mangiando cibo OGM, essi sono stati sempre tenuti segreti, e tale mais sarebbe dovuto presto entrare in commercio in Europa. E questo non è il primo caso di danni da «somministrazione di OGM»: già nel 1999, un luminare della chimica microbiologica, Arpad Pusztai, presso il Rowett Institute di Aberdeen aveva condotto uno studio sugli effetti di una patata transgenica sull'organismo dei ratti. Dalla ricerca, pubblicata sull'autorevole rivista *The Lancet*, erano emersi chiaramente degli effetti deleteri, con malformazioni simili a quelle del caso Monsanto; ma lo scienziato fu «linciato» sia dai media sia da una parte della comunità scientifica e dallo stesso governo britannico, tanto da essere costretto ad abbandonare, dopo 36 anni, il suo istituto, mentre il materiale riguardante il suo studio gli venne confiscato.
 6. In realtà è molto difficile indicare una data entro cui si esauriranno le riserve mondiali di petrolio. Infatti, agli attuali ritmi di sfruttamento, le riserve del Golfo Persico, che costituiscono i due terzi di quelle mondiali, dovrebbero durare 80 anni o più. Il problema è che risulta difficile prevedere esattamente quanto i ritmi di sfruttamento cresceranno in futuro, anche per la crescita dei consumi di paesi in forte sviluppo come la Cina; e dunque si potrebbe arrivare all'esaurimento ben prima. Inoltre, i valori noti relativi alle riserve mondiali di petrolio non sono molto attendibili, perché si basano su stime dei singoli paesi produttori, che intorno alla fine degli anni Ottanta cercavano di ampliare le proprie quote di esportazione. Una fonte attendibile come il Department of Energy americano fissa il temuto raggiungimento del picco produttivo mondiale, cui seguirà un inevitabile calo che scatenerà una fortissima corsa al rialzo dei prezzi, tra il 2021 – data che lascerebbe un margine quasi nullo per convertire l'economia su fonti energetiche alternative – e il 2112. Prima,

- cioè per un periodo di tempo compreso tra 25 e 50 anni, non vi sarà alcun problema di disponibilità di petrolio sul mercato.
7. La fusione nucleare consiste nel far scontrare e fondere tra loro i nuclei di due atomi leggeri, come il deuterio (una varietà dell'idrogeno, con un neutrone in più, che si ottiene dall'acqua) e il trizio (altra varietà dell'idrogeno, con due neutroni in più, abbondante nella crosta terrestre): l'elio che così si genera ha una massa leggermente inferiore a quella dei due atomi di partenza e la massa mancante si converte in energia, come avviene continuamente nel Sole. Una quantità di 400 g di trizio e di 600 g di deuterio produce per fusione un'energia 5 volte superiore a quella prodotta attraverso la fissione nucleare di 1 kg di uranio-235. Tuttavia, a causa delle altissime temperature in gioco, realizzare la fusione è estremamente difficile. Unione Europea, Stati Uniti, Giappone, Russia e altri paesi stanno unendo gli sforzi per realizzare nei prossimi anni, in Francia, *Iter*, il primo reattore sperimentale in cui la fusione sarà in grado di autosostentarsi, sia pure per pochi minuti. Anche secondo le previsioni più ottimistiche, comunque, il primo reattore a fusione commercialmente utile non sarà pronto prima del 2050.
 8. Si tratta di cataclismi globali nel corso dei quali sono periti ogni volta, in un tempo piuttosto breve su scala di tempo geologica, almeno il 65 per cento delle specie all'epoca viventi. La più grave di queste grandi estinzioni di massa naturali, innescata forse dalla caduta di un corpo dallo spazio, avvenne alla fine del Permiano, 245 milioni di anni fa, e provocò la scomparsa del 96 per cento delle specie presenti sulla Terra. Un'altra grande estinzione di massa provocò 65 milioni di anni fa, al confine tra le ere geologiche del Cretaceo e del Terziario, la scomparsa dei dinosauri dal nostro pianeta.
 9. Il contatto dell'uomo con il serbatoio animale che ospita il virus può avvenire in due modi: direttamente, in seguito all'invasione del relativo habitat, magari attraverso l'inalazione di aerosol di escrementi e di sangue infetto creati accidentalmente dalle macchine agricole o edili; oppure indirettamente, tramite l'azione di specie intermedie (vertebrati o artropodi, quali roditori e insetti) che fungono da «vettori» del virus dal serbatoio naturale alla comunità umana, e che possono proliferare nei bacini artificiali e nelle zone climatiche umide. A loro volta, tali vettori possono contagiare direttamente l'uomo o infettare prima il bestiame, che può poi trasmettere il virus alle persone.

10. La modalità di trasmissione del morbo della mucca pazza dalle vacche all'uomo è stata individuata nel consumo di carni di bovini infetti avvenuto prima che entrassero in vigore, nel 1988, i provvedimenti delle autorità sanitarie che vietavano l'impiego di farine di carne e ossa per l'alimentazione dei ruminanti. Poiché il tempo di incubazione medio della variante umana della BSE è assai lungo – 10-20 anni, o anche più – c'era comunque il rischio di un'ampia epidemia differita nel tempo. Ma siccome la BSE è rimasta un fenomeno circoscritto, e dal 1996 a oggi il numero di nuovi casi della variante umana è stato molto basso, poco più di un centinaio, si può verosimilmente prevedere che pure il numero dei potenziali casi futuri, concentrati per la stragrande maggioranza nel Regno Unito, sia destinato a rimanere relativamente limitato.
11. L'OMS, da alcuni anni, teme moltissimo l'influenza aviaria (ceppo H5N1), che attualmente è diffusa solo fra i volatili e contagia sporadicamente singoli uomini, ma che, prima o poi, farà il salto di specie: in un individuo colpito contemporaneamente da influenza normale e da questo «virus dei polli», avrà luogo un riassortimento degli antigeni virali che creerà un nuovo virus dell'influenza trasmissibile da uomo a uomo, originando una seria pandemia. Data l'estrema facilità con cui si propaga l'influenza, e il tasso di mortalità legato all'H5N1 (ben più alto di quello della SARS, che mediamente era del 10 per cento), si teme che vi possano essere numerose vittime, anche nei paesi industrializzati, prima che siano pronti i vaccini per l'intera popolazione a rischio. L'Italia si è assicurata, nel settembre 2005, il diritto di prelazione per l'acquisto di 35 milioni di dosi di vaccino, che, in caso di pandemia, andrà letteralmente «a ruba», in quanto pronto e prodotto solo 3-4 mesi dopo l'inizio dell'epidemia. Ma chi andrà vaccinato per primo? E, soprattutto, quando saranno vaccinati gli altri 23 milioni di italiani?
12. Sin dalla seconda metà degli anni Settanta, l'Iraq ha cercato, in violazione al Trattato di non proliferazione del 1968, di costruire clandestinamente armi nucleari: un'impresa senza dubbio rallentata dalla distruzione, nel 1981, del reattore Osirak da parte di Israele. Con la guerra del Golfo del 1991, anche le nuove installazioni nucleari irachene sono andate in gran parte distrutte, ma solo allora si è scoperto che il regime di Saddam Hussein avrebbe altrimenti potuto disporre, già nel 1994, del quantitativo di uranio sufficiente all'assemblaggio della sua prima bomba atomica. Durante la guerra contro l'Iran del 1980-88, l'Iraq riuscì

- comunque a fabbricare bombe «sporche», che richiedono solo piccole quantità di materiale radioattivo, anche se non le utilizzò mai.
13. Un'arma nucleare è assai difficile da realizzare ed è ingombrante, per cui la costruzione o il trasporto fino in Occidente rappresentano un'impresa ardua per un gruppo terroristico non statale. Costruire una bomba atomica, del resto, non è facile neppure per uno Stato-canaglia: per realizzarla, infatti, ci vogliono 8 chili di plutonio o 25 di uranio arricchito, producibili solo dal reattore di una centrale nucleare. Un gruppo terroristico qualsiasi in possesso del suddetto materiale fissile non sarebbe probabilmente capace di costruire la vera Bomba: semmai, potrebbe realizzare un ordigno imperfetto, tale da liberare forse un centesimo dell'energia dell'atomica di Hiroshima. Per una bomba «sporca», invece, non occorre un grande *know-how*, e basta una piccola quantità di materiale meno prezioso, più facile da procurarsi per dei terroristi, magari rubandolo o acquistandolo di contrabbando. Non a caso, Al Qaeda avrebbe tentato, in passato, di procurarsi materiale radioattivo.
 14. Il suicidio nel compiere un attentato rappresenta un'arma imprevedibile e di grande impatto psicologico da cui è assai difficile proteggere esseri umani e infrastrutture, se non sventando l'attacco terroristico prima che sia lanciato. La moderna ondata di terrorismo suicida è iniziata alla fine degli anni Settanta: da allora, in Medio Oriente e nell'Asia meridionale vi sono stati decine di attacchi del genere, soprattutto per terra e per mare. È interessante notare che Al Qaeda è stata la prima organizzazione terroristica a compiere attacchi suicidi sia per terra (ai danni di due ambasciate americane nell'Africa orientale nel 1988), sia per mare (contro la nave da guerra USS Cole nel porto di Aden nel 2000), sia per aria (gli attacchi dell'11 settembre a New York e a Washington).
 15. Alcuni problemi abbastanza seri, comunque, li creano anche i «pochi» immigrati attuali, o meglio, una loro piccola minoranza. Infatti, gli extracomunitari detenuti per reati vari (furti, sfruttamento della prostituzione, traffico di droga, riciclaggio, etc.) sono in aumento e costituiscono già circa il 20 per cento del totale dei carcerati in Italia: una percentuale altissima, se si considera che gli immigrati non superano il 4-5 per cento della popolazione italiana. Ciò contribuisce, attraverso i mass media, a creare nella gente comune la «paura dello straniero», e a far sì che nell'immaginario collettivo i nuovi arrivati siano, ingiustamente, considerati un po' tutti ignoranti, poveri, profittatori dello Stato assistenziale,

- delinquenti, assassini e, dopo gli attentati dell'11 settembre, anche potenziali terroristi. A ciò si aggiunga che, sebbene la xenofobia basata sul razzismo fanatico si manifesti solo in una parte assai piccola della popolazione, il pregiudizio razziale è in realtà una caratteristica innata in tutte le persone, come evidenziato da studi di psicologia sociale condotti sulla società americana. Così, non deve meravigliare che molte comunità straniere si rivelino poi estranee alla nostra.
16. È evidente che esiste una sostanziale differenza, ad esempio, tra un immigrato nordafricano impegnato nella pulizia dei vetri delle auto o dedito alla criminalità, un tecnico dell'Est assunto come carpentiere in un cantiere edile e un ingegnere sudamericano che lavori in una nostra azienda della *new economy*. Per limitare il lavoro nero, la criminalità, la scarsa integrazione e il rifiuto sociale, dai paesi extraeuropei occorrerebbe attirare in Italia immigrati il più possibile omogenei ai «bianchi, latini e cattolici» italiani e, soprattutto, flussi coerenti con i disegni di sviluppo economico e di progresso tecnologico della nostra società, costituiti da mano d'opera qualificata e da lavoratori specializzati. Non è un caso che un paese industrializzato quale il Giappone sia, a differenza di Europa e Stati Uniti, ermeticamente chiuso (solo) all'immigrazione clandestina e regolare ma non qualificata, sebbene abbia scarsità di forza lavoro anche nelle occupazioni di basso livello, come l'Italia.

3. LA FINE DELL'UMANITÀ

1. Secondo la teoria inflazionaria, che tenta di spiegare l'origine dell'universo in cui viviamo, pochi attimi dopo il *Big Bang* il cosmo si sarebbe trovato in uno stato di vuoto eccitato, o di «falso vuoto», un vuoto altamente energetico ribollente di particelle e antiparticelle elementari che compaiono e scompaiono continuamente. Durante questa fase, l'universo avrebbe subito un'espansione enorme e rapidissima, dopodiché sarebbe precipitato nella condizione attuale di «vero vuoto», più stabile. Ma se il nostro universo si trovasse, invece, ancora nella fase di falso vuoto – magari un vuoto «metastabile», ossia stabile su tempi assai lunghi, dell'ordine delle decine di miliardi di anni o più – come suggerito, sin dagli anni Ottanta, da astrofisici del calibro di Martin Rees e di Sidney Coleman, un evento di alta energia prodotto in qualche punto del cosmo

- (compreso un laboratorio terrestre) potrebbe innescare il passaggio nello stato fondamentale di vero vuoto, a più bassa energia.
2. Purtroppo, tali ricerche non sono di solito in grado di rivelare i corpi più piccoli, che oggi forse ci preoccupano di più, come ad esempio l'asteroide di 50-100 metri 2002MN, che il 14 giugno 2002 è passato ad appena 120.000 chilometri dalla Terra, dove avrebbe potuto spazzare via una grossa città. Si stima che nello spazio interplanetario vi siano almeno un milione di questi potenziali proiettili, i cosiddetti «NEO» (*Near Earth Object*) – cioè asteroidi o comete di breve periodo le cui orbite li portano a passare periodicamente vicino alla Terra – del diametro di 50 metri o più grandi. Finora sono stati scoperti solo 2.000 NEO, e l'Italia coordina questa ricerca in quanto sede, presso l'Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica del l'INAF, della *Spaceguard Foundation*: un'associazione no-profit, fondata a Roma nel 1996 da Andrea Carusi, che raggruppa gli astronomi professionisti di tutto il mondo impegnati nella sorveglianza del cielo. Inoltre, i due centri operanti la previsione di collisioni con la Terra di NEO sono due: uno al JPL, negli Stati Uniti, e uno, *Neodys*, a Pisa, gestito presso la locale università da Andrea Milani.
 3. Le armi nucleari strategiche sono potenti testate nucleari destinate ad attacchi su larga scala sul territorio nemico, e sono montate su vettori diversi: missili basati al suolo, aerei, sottomarini, eccetera. Nei missili balistici intercontinentali a testata *multipla* un singolo vettore, partendo da un silos sotterraneo o da un sottomarino, può portare anche 12 testate indipendenti, indirizzabili verso obiettivi diversi. Poiché in caso di attacco nemico a sorpresa tutte queste armi dovrebbero essere distrutte al «primo colpo» per evitare una disastrosa rappresaglia, Stati Uniti e Russia hanno sempre in immersione, in giro per il mondo, qualche sottomarino con armi nucleari strategiche.
 4. Per rimuovere i 42 missili nucleari installati di nascosto a Cuba dall'Unione Sovietica di Kruscev, il Pentagono voleva invadere o bombardare l'isola, ma il presidente americano John F. Kennedy, saggiamente, si limitò ad un blocco navale. Iniziato il 24 ottobre 1962, il «braccio di ferro» militare e politico tra le due superpotenze, che sembravano prepararsi in mare, terra e aria sempre più allo scontro, rischiò di degenerare il 27 ottobre, quando il vicecomandante sovietico a Cuba fece abbattere un aereo spia americano U-2. La crisi si risolse dopo cinque giorni con la decisione di Kruscev di smontare i missili e di riportarli

- indietro, in cambio della promessa americana di ritirare i propri missili strategici schierati in Turchia. Il presidente cubano Fidel Castro rivelò in seguito che, di fronte a un'invasione americana dell'isola, i Sovietici avrebbero usato armi nucleari tattiche.
5. La quantità di radioattività sprigionata dal reattore fu almeno cento volte più grande di quella provocata dalle bombe di Hiroshima e di Nagasaki. Anche negli Stati Uniti si sono registrati alcuni effetti: la mortalità è stata superiore alla media nei mesi successivi all'incidente. Invece in Bielorussia, il paese confinante con l'Ucraina su cui sono cadute il 70 per cento delle emissioni radioattive, l'incubo delle radiazioni è ancora presente fra le popolazioni e sarà con i loro figli e nipoti per generazioni: tuttora nascono bambini con malformazioni causate dagli alti tassi di radioattività, e dovranno passare almeno 200 anni prima che la contaminazione venga eliminata. Si teme che le vittime di questo disastro possano salire, col tempo, a centinaia di migliaia, mentre le persone che hanno subito danni dall'incidente potrebbero arrivare a 15 milioni.
 6. Non si avrebbe, invece, l'inverno nucleare previsto sulla base di calcoli negli anni Ottanta, dovuto al fatto che le grandi quantità di polveri sollevate nell'atmosfera avrebbero schermato per mesi i raggi solari, facendo abbassare la temperatura media della Terra di qualche grado. La validità di questo scenario, infatti, è stata di recente messa in discussione: la minor quantità di calore giunta sul nostro pianeta sarebbe compensata dall'effetto serra provocato dalle polveri stesse. Più preoccupante, semmai, sarebbe il verosimile danneggiamento dello strato di ozono che ci protegge dai raggi ultravioletti solari. La scienza, quindi, ci lascia nell'incertezza sugli effetti precisi di una guerra nucleare globale, che si tradurrebbe comunque in un disastro ecologico e sociale senza precedenti.
 7. Un'era glaciale è un periodo in cui sulla Terra ci sono le condizioni per la formazione di calotte gelate intorno ai poli. Nel picco più freddo dell'ultima era glaciale, il ghiaccio ricopriva circa il 12 per cento dell'intera superficie terrestre. Era possibile andare a piedi dall'Asia all'America e, superando stretti bracci di mare, dall'Asia all'Australia. Per l'effetto di accumulo dell'acqua ghiacciata ai poli, i livelli dei mari erano calati di 120 metri e la piovosità si era drasticamente ridotta. In Europa, i ghiacci continentali ricoprivano le regioni scandinave, l'Inghilterra e la Germania settentrionale, ma d'inverno la superficie del mare ghiacciava fino alle latitudini della Spagna.

8. Il film, che ipotizza l'improvviso verificarsi sulla Terra, nel dicembre 2010, di scenari climatici estremi, si basa su uno studio scientifico redatto, su richiesta del Pentagono, da due analisti del Global Business Network di San Francisco, Peter Schwartz e Doug Randall. Secondo i due ricercatori, lo scioglimento della calotta polare prodotto dal riscaldamento globale potrebbe arrestare la Corrente del Golfo che mantiene l'equilibrio climatico dell'intero Oceano Atlantico così come lo conosciamo. Inoltre, potrebbe entrare in gioco il cosiddetto *effetto serra*: il clima potrebbe rimanere sostanzialmente immutato per molti anni, per poi mutare drasticamente in tempi rapidissimi, saltando cioè da un vecchio stato di equilibrio a uno nuovo completamente diverso.
9. Probabilmente il ciclo non si innesca se non a temperature abbastanza più calde di quelle odierne. Infatti sappiamo, in base alle indicazioni forniteci dai fossili, che già 100 milioni di anni fa, nel Mesozoico, in piena era dei dinosauri, la Terra è stata eccezionalmente calda – in media 10-15°C più dei nostri giorni, con un livello dei mari 300 metri più alto di quello attuale e poco o niente ghiaccio permanente sul pianeta – ma non per questo si è instaurato un processo di retroazione positiva. Parte di quel riscaldamento è spiegabile con la diversa circolazione delle acque oceaniche dovuta alla geografia continentale, ma la gran parte fu probabilmente causata da un più intenso effetto serra.
10. Questa affermazione è vera, per quanto ne sappiamo, pure per gli animali: i virus letali sono comuni anche fra loro, tuttavia non si sono mai registrati casi di una specie ampiamente diffusa estintasi ad opera di un agente patogeno. Forse abbiamo avuto solo poche migliaia di anni per compiere queste osservazioni, oppure le malattie sono in grado solo di *spingere* una specie solo verso l'estinzione, riducendone drasticamente la popolazione e la distribuzione geografica, dando cioè il cosiddetto «primo colpo». A quel punto, per eliminare le specie più diffuse occorrono comunque una serie di avversità che completino l'opera: un'intensa predazione, inverni particolarmente rigidi, incendi di foreste, accoppiamento fra consanguinei, caccia da parte dell'uomo, eccetera.
11. La cosiddetta «peste nera» arrivò in Europa nel 1347, proveniente dall'Asia, e nel giro di cinque anni si propagò in tutto il continente, arrivando a uccidere in alcune città – come la nostra Siena – circa il 90 per cento degli abitanti. In totale, il Vecchio Continente perse da un terzo a metà della sua popolazione, che all'epoca si aggirava sui 300 milioni di abi-

- tanti. La causa dell'epidemia fu identificata nell'Ottocento nel batterio *Yersinia pestis* responsabile dell'odierna peste bubbonica, che è ospitata dai topi e trasmessa all'uomo dalle pulci. In tempi recenti, un'attenta analisi dei documenti storici ha messo tale conclusione fortemente in discussione, ma non si è potuto stabilire né quale tipo di agente patogeno abbia provocato l'epidemia né come l'infezione si trasmettesse. Tuttavia, il fatto che la malattia si sia propagata rapidamente lungo le strade e i fiumi navigabili, e non sia stata rallentata da barriere geografiche che avrebbero limitato i movimenti dei topi, lascia pensare che il germe della peste nera si sia trasmesso per contatto diretto da persona a persona.
12. Il nome fa riferimento al livello di biosicurezza (BL) – in una scala da 1 a 4 – che un laboratorio deve garantire per potervi manipolare senza rischi un determinato agente patogeno. Il più importante e noto centro mondiale dotato di un laboratorio BL4 è l'americano *Center for Disease Control* (CDC) di Atlanta, in Georgia: un organismo federale che rappresenta una sorta di «FBI dei virus», da oltre mezzo secolo in prima linea nella lotta contro qualsiasi tipo di nuova epidemia per bloccare il rischio di contagio e per sviluppare cure e vaccini. Anche in Italia esiste, presso l'Istituto nazionale per le Malattie Infettive «Lazzaro Spallanzani» di Roma, un laboratorio BL4, uno dei soli cinque presenti in Europa in grado di analizzare e di identificare sospetti virus di livello 4.
 13. Per difendersi dai nuovi supergermi, infatti, occorre creare i microbi più letali immaginabili, in modo da poter valutare le nuove minacce, capire cosa sia possibile e trovarvi le contromisure. È un po' ciò che fa un produttore di giubbotti antiproiettile, che acquista i nuovi modelli di pistola per verificare l'efficacia dei vecchi giubbotti e valutare l'opportunità di produrne un nuovo tipo. Con questa giustificazione dell'intento pacifico, gli Stati Uniti, nonostante abbiano firmato il trattato sulle armi biologiche del 1972, hanno finanziato decine di progetti militari segreti con l'obiettivo di produrre nuovi agenti patogeni con le tecniche dell'ingegneria genetica e di discipline affini.
 14. Il vaiolo, di cui è stata recentemente ottenuta la mappatura completa dei geni che lo compongono, in teoria potrebbe addirittura essere ricostruito «pezzo per pezzo» in laboratorio da scienziati malintenzionati che entrassero in possesso di tale mappatura; e, successivamente, venire modificato geneticamente sulla falsariga dell'esperimento australiano, accaduto nel 1998 e ampiamente descritto nel 2001 sulla rivista ameri-

cana *Journal of Virology*, reperibile da «chiunque». In questo modo, si otterrebbe in un colpo solo sia il terribile risultato di sconfiggere l'unico vaccino umano disponibile sia quello, ancor peggiore, di aumentare in maniera drammatica il grado di letalità del virus. Tutto ciò è meno difficile di quanto sembri. L'assemblaggio del primo virus artificiale, usando le sequenze geniche di un database pubblico presente su Internet, è avvenuto nel 2002, quando alcuni ricercatori della State University di New York hanno ricostruito il virus della poliomielite a partire da segmenti di DNA ordinati per telefono a una società dell'Iowa: il virus artificiale così prodotto è stato poi iniettato in topi, che si sono paralizzati e, in breve tempo, sono morti. Si può quindi comprendere il potenziale pericolo, se si considera che le sequenze genetiche di virus come Ebola, influenza e HIV sono pubblicate interamente sul web.

15. Chi pensa che questa sia fantascienza o un pericolo remoto sappia che un «comune» virologo molecolare, Mark Buller, dell'Università di St. Louis, negli Stati Uniti, nel 2003 ha annunciato di essere riuscito a creare, proseguendo le ricerche effettuate dall'australiano Ian Ramshaw nel 1998 (citato nel testo), un virus molto simile a quello del vaiolo umano, in grado di uccidere inesorabilmente il 100 per cento dei topi a cui è inoculato, anche se questi vengono vaccinati e curati con appositi farmaci antivirali. Buller svolge tali ricerche per conto del Governo statunitense, che le ritiene necessarie per anticipare le mosse dei bioterroristi. Intanto, anche Ramshaw ha proseguito i propri studi modificando altri virus e ottenendo tassi di mortalità altissimi. Ci sono, quindi, due pericoli. Il primo è che, sebbene questi virus siano specifici dei topi, la possibilità di una loro fuga e di una ricombinazione con altri, in grado di infettare anche l'uomo, è un'eventualità che non può essere ignorata. Il secondo pericolo è che, una volta venuta a conoscenza della tecnica, qualcuno ingegnerizzi un virus umano introducendo un gene letale per l'uomo. Infatti, sebbene i virus di Buller e Ramshaw non risultino contagiosi (vanno inoculati direttamente), ciò non significa che dei virus letali al 100 per cento non possano diventarlo, se un ricercatore decide deliberatamente di indirizzare le proprie ricerche in tal senso.
16. Isaac Asimov, nel suo racconto *Ragione* del 1941, propose le famose «leggi della robotica», tre regole di comportamento buono verso l'uomo: (1) un robot non può danneggiare un essere umano o, attraverso l'inazione, permettere che un essere umano venga danneggiato; (2) un

robot deve obbedire agli ordini impartitigli dagli esseri umani, eccetto quando tali ordini entrino in conflitto con la prima legge; (3) un robot deve proteggere la propria esistenza, purché tale protezione non entri in conflitto con la prima o con la seconda legge. Perfino tali leggi, però, non sarebbero sufficienti a proteggere il genere umano da un destino che lo veda sul lungo termine condannato a soccombere fisicamente e intellettualmente nei confronti delle macchine, perché è difficile pensare che restrizioni di tipo etico possano davvero venire imposte a robot intelligenti e autonomi o ai loro costruttori.

17. Curiosamente, è opinione diffusa che gli esseri che intervengono nella commovente parte finale del film offrendosi di realizzare un desiderio di David siano degli alieni, a causa della loro forma fisica che ricorda un po' tutta l'iconografia fantastica legata agli extraterrestri. In realtà, nel film non viene fatto alcun riferimento a tale natura, e, a sostegno che si tratta di robot ultra-avanzati eredi della specie umana (aspetto che costituisce, a mio avviso, il vero messaggio del film), si possono citare un paio di elementi che si notano immediatamente: (1) essi sono alla ricerca di materiale relativo al loro passato e, trovando David e l'orsetto, lo osservano e lo studiano come fosse un loro antenato; (2) la visualizzazione sull'epidermide delle informazioni acquisite è simile alla visualizzazione di immagini sullo schermo di un computer.
18. Il fantasioso libro di Crichton si ispira alle ricerche pionieristiche – ma assolutamente reali – svolte da anni dall'italiano Dario Floreano sugli *swarm-bot*: robot autonomi in grado di autoassemblarsi con altri robot simili, accrescendo così le proprie capacità, come gli insetti di una colonia. Attualmente il gruppo di Floreano, che opera presso il Laboratorio per i sistemi autonomi del Politecnico federale di Losanna (EPFL), sta sperimentando il comportamento di 35 robot capaci di autoadattarsi all'ambiente, di cacciare e di cooperare tra loro. L'Unione Europea ha recentemente finanziato queste ricerche sugli *swarm-bot* nell'ambito del programma «Tecnologie future emergenti».
19. Anche le biotecnologie sono, in un certo senso, una forma di nanotecnologia, in quanto capaci di creare strutture viventi artificiali non superiori ai 100 nanometri. Tuttavia il termine «nanotecnologie» è ristretto per convenzione dagli scienziati alle costruzioni artificiali microscopiche (dal greco *nanos* = piccolo) fatte, ad esempio, con semiconduttori, materie plastiche, metalli o vetro. Questa definizione più specifica si applica

- comunque a una vasta gamma di settori, che vanno dalla sintesi chimica tradizionale fino alle tecniche per la manipolazione di singoli atomi.
20. Agendo come chirurghi in miniatura, i nanorobot potrebbero prevenire le malattie cardiache (ripulendo dai grassi le nostre arterie), combattere le infezioni ed effettuare riparazioni di cellule, tessuti e organi danneggiati o usurati, in modo da prolungare notevolmente la durata della nostra vita. Si tratta di idee fantascientifiche, che ci ricordano un po' il film *Viaggio allucinante* del 1966, in cui un gruppo di medici e il loro sottomarino vengono ridotti a dimensioni minuscole per navigare nei vasi sanguigni di un paziente e rimuovere, così, un pericoloso coagulo di sangue dal suo cervello (quest'idea, tratta da uno dei più noti e importanti libri di fantascienza di Isaac Asimov, *Fantastic Voyage*, verrà poi rivisitata in chiave comica dal film *Innerspace* del 1987).
 21. Nel 1989, due ricercatori dell'IBM scrissero il logo della loro società spostando e collocando nella posizione desiderata, uno ad uno, 35 atomi di xeno utilizzando un microscopio a effetto tunnel. Gli atomi si spostavano grazie alle interazioni di legame chimico che si manifestavano allorché la punta di tungsteno del microscopio si avvicinava a meno di un decimo di nanometro da un atomo. Il marchio IBM fu tracciato sotto vuoto ultraspinato alla bassissima temperatura dell'elio liquido usando gli atomi inerti dello xeno. Al di fuori di quest'ambiente rarefatto, a una temperatura più alta e con atomi più reattivi, tutto diventa molto meno stabile, e quindi la medesima esperienza sarebbe difficile o, assai più verosimilmente, impossibile da realizzare.
 22. Questo tipo di incidenti si sono verificati molte volte. Il più grave incidente chimico avvenne nel 1984 in una fabbrica di pesticidi di Bhopal, in India, determinando il rilascio di una nube tossica che avvelenò 11.000 persone, uccidendone 3.800. Il più grave incidente nucleare è stato, invece, quello al reattore numero 4 della centrale nucleare di Chernobyl, in Ucraina, che il 26 aprile 1986 liberò nell'atmosfera una nube di sostanze radioattive, contaminando persone e ambiente soprattutto nelle zone più vicine alla centrale, ma anche in Bielorussia e in Russia: il numero totale delle vittime, valutato lungo l'arco di cinquant'anni dall'incidente, dovrebbe giungere a circa 30.000; ma, se si considera un arco di tempo più lungo, potrebbe rivelarsi assai più elevato. Si noti che nessun singolo incidente tecnologico ha finora causato più vittime dei due citati.

23. Di solito la gente tende ad avere, sia pure per cause differenti, un'errata percezione anche dei rischi terminali personali. Ad esempio, molte persone evitano accuratamente di prendere l'aereo, perfino quando si tratta di andare in vacanza all'estero, per paura di incappare in un incidente mortale, pur utilizzando quasi ogni giorno l'automobile. Eppure, la probabilità media che una persona ha nella propria vita di morire in un volo aereo di linea è di circa 1 su 20.000, cioè 200 volte più piccola di quella di morire in un incidente stradale, che è di circa 1 su 100. Evidentemente c'entra in qualche modo l'ancestrale paura dell'ignoto in tutti presente: un piccolo pericolo ignoto fa spesso più paura di un pericolo maggiore al quale siamo abituati. Ciò spiega la paura del volo, molto meno pericoloso, ma più lontano psicologicamente da noi, dell'andare in auto.
24. Le maggiori similitudini tra la fantapolitica e il dramma dell'11 settembre le troviamo nel romanzo di Tom Clancy *Potere esecutivo*, scritto appena due anni prima, nel 1999. Nel suo libro, Clancy racconta di un attentato terroristico compiuto da un pilota giapponese che, uccidendo il copilota, si impadronisce dell'aereo che comanda – un Boeing 747 della Japan Airlines – e fa precipitare il velivolo sul palazzo del Campidoglio, la sede del Congresso americano. Invece, per trovare un attacco che sbricioli le Torri gemelle, occorre tornare con la memoria al 1996, quando uscì il film di fantascienza *Independence Day*, diretto da Roland Emmerich. Ma a compiere quel drammatico attacco non erano gli uomini, bensì le potenti armi degli invasori extraterrestri.

4. IL FUTURO DELLA CIVILTÀ

1. Il numero di civiltà comunicative galattiche, N , è dato dalla seguente equazione: $N = R_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_t \times L$. In questa formula, R_* è il numero di stelle di tipo solare che nascono ogni anno nella Via Lattea (espresso in unità stelle/anno); f_p è la frazione di queste stelle che possiede un sistema planetario; n_e è il numero medio di pianeti appartenenti a uno di tali sistemi planetari che si trovano nella zona di abitabilità della propria stella; f_l è la frazione di questi pianeti su cui la vita è presente, sia pure in forma assolutamente primitiva; f_i è la quantità di tali pianeti in cui la vita si è evoluta fino a sviluppare l'intelligenza; f_t è la frazio-

ne di mondi intelligenti che sono padroni di una tecnologia osservabile dalla Terra, ovvero le civiltà tecnologiche capaci almeno di costruire radiotelescopi e trasmettenti, oppure così avanzate da essere in qualche modo rilevabili in virtù del loro eccezionale sviluppo tecnico; infine, L è la durata media (in anni) di una tale civiltà.

2. Il nome non è casuale. In matematica si ha una singolarità quando il valore di una funzione matematica altrimenti continua diviene infinito, cosicché le normali operazioni matematiche (derivazione, integrazione, estrapolazione) non possono venire effettuate. Il *Big Bang*, ad esempio, rappresenta una singolarità nel tempo, in quanto nessuna estrapolazione all'indietro dell'evoluzione successiva permette di descrivere ciò che è successo all'universo prima della sua nascita. Nel nostro caso, la singolarità sta a indicare il tempo a partire dal quale non è più possibile estrapolare nel futuro le tendenze tecnologiche e sociali della civiltà attuale.
3. È vulnerabile un'umanità poco numerosa, cioè scesa al di sotto della popolazione minima vitale necessaria per la sua sopravvivenza a lungo termine, oppure regredita a uno stadio molto arretrato. Nel caso di un'immane catastrofe tecnologica, l'umanità potrebbe venire ridotta a bande isolate di nomadi, e il nostro pianeta sarebbe probabilmente in grado di sostenere in queste condizioni solo pochi milioni di individui. A quel punto, saremmo vulnerabili all'estinzione per cause naturali o di natura astrofisica come qualsiasi altra specie di grandi mammiferi; e inoltre non saremmo più in grado di evitare con la tecnologia catastrofi altrimenti irreversibili innescate dall'uomo attuale, come ad esempio un eventuale incremento a valanga di tipo venusiano dell'effetto serra planetario.
4. Il tema è stato affrontato da Terry Nation nel romanzo *I sopravvissuti*, dal quale è stata tratta l'omonima serie di telefilm della BBC trasmessa dalla RAI negli anni Settanta. Un morbo sconosciuto e assai contagioso si diffonde su tutto il pianeta, spingendo l'umanità sull'orlo dell'estinzione. I pochi rimasti in vita, dotati di minori conoscenze pratiche degli uomini dell'età del ferro, ereditano un mondo semideserto e silenzioso che devono ricostruire da zero, imparando di nuove tecniche scordate nella notte dei tempi. Inizialmente, i sopravvissuti si ritrovano padroni di enormi ricchezze: negozi pieni di ogni ben di Dio, grandi magazzini, auto, eccetera. Ma, dopo breve tempo, sono costretti ad abbandonare le città, con milioni di morti in putrefazione e topi ovunque,

rifugiandosi in campagna. Tutto si blocca, anche le centrali elettriche e le pompe di benzina. Ma senza energia e una rete di competenze siamo incapaci di fabbricare anche le cose più semplici: un foglio di carta, una penna biro, un orologio, per non parlare di una lampadina o di una radiolina. Nel telefilm, i sopravvissuti si asserragliano in piccole comunità, cercando di lavorare la terra e di difendersi dai predatori. Manca la scuola, e in una o due generazioni si torna a un'ignoranza diffusa. È un'opera che fa riflettere: una società progredita si basa su un'immensa rete di conoscenze e di specializzazioni molto sofisticate; sviluppare, in società arcaiche, le condizioni per creare questa rete è impresa tutt'altro che breve e semplice.

5. I fatti stessi dimostrano che, purtroppo, la minaccia oggi non è più remota, specie riguardo l'impiego di armi biologiche. La setta giapponese Aum Shinrikyo – responsabile dell'attentato al gas nervino nella metropolitana di Tokyo, il primo attacco letale con simili armi compiuto in una città moderna piena di persone indifese – grazie ai suoi adepti biochimici e medici stava già cercando di preparare armi biologiche più sofisticate per i prossimi obiettivi. Inoltre, si è scoperto che militanti di Al Qaeda hanno in passato compiuto dei rozzi esperimenti con sostanze chimiche e tossine biologiche, e che i dirottatori dell'11 settembre avevano manifestato interesse per l'acquisto di disinfestatori a nebulizzazione, utilizzabili per diffondere questi materiali su un'area abitata.
6. Uno scenario di questo tipo si ha nel film *L'esercito delle 12 scimmie* (1995), con Bruce Willis, ambientato nel 2035. Un'epidemia scatenata da un micidiale virus messo a punto dal virologo Leland Goines, premio Nobel, e liberato dal suo malvagio e folle figlio Jeffrey, ha sterminato, nel 1995, il 99 per cento del genere umano. I pochi sopravvissuti, con il virologo e la sua équipe di gelidi scienziati ed un gruppo di prigionieri, si sono rifugiati sottoterra, nelle viscere di quella che fu Philadelphia, poiché la superficie del pianeta è diventata inabitabile. L'ergastolano James Cole viene inviato indietro nel tempo in quella metropoli per cercare di trovare una soluzione che eviti la morte di 5 miliardi di persone e dovrà indagare sul misterioso gruppo «Twelve Monkeys», guidato da Jeffrey e ritenuto responsabile della strage,
7. I membri di una setta o di un gruppo di ecoterroristi fanatici, ad esempio, potrebbero decidere di eliminare l'umanità (proteggendo se stessi con un vaccino) per salvare il pianeta dalla distruzione ambientale e per

poi ripopolarlo con individui più sensibili al benessere ecologico. Se ciò può apparire fantasioso, ebbene, erano proprio queste le intenzioni di un gruppo, il R.I.S.E., fondato negli anni Settanta da due adolescenti della periferia di Chicago, Charles Schwander e Stephen K. Pera. Il primo dei due si procura vari agenti biologici, compresi quelli della febbre tifoide e della meningite, coltivandoli nel laboratorio dell'Ospedale presbiteriano di St. Luke, che frequenta in quanto sta portando a termine un corso di biologia. Intanto, elabora un piano per avvelenare gli acquedotti e l'aria di diverse città americane del centro-ovest e inizia a vaccinare i membri del suo gruppo contro la febbre tifoide. Il piano fallisce perché quattro nuove reclute del R.I.S.E. avvertono la polizia.

8. L'impronta ecologica di uno statunitense medio è quasi 2 volte quella di un europeo occidentale, e circa 5 volte più grande di quella di un asiatico, africano e sudamericano medio. Secondo vari studi, nei paesi industrializzati, per ridurre l'impronta ecologica, bisognerebbe ridurre da quattro a dieci volte l'intensità di uso di materia ed energia. Ma la vera, necessaria, rivoluzione sarà passare dalla mentalità del possesso alla mentalità dell'uso: cioè imparare a utilizzare più intensamente, e collettivamente, strumenti e infrastrutture, dalle lavatrici alle fotocopiatrici. L'impronta ecologica dell'italiano medio, pur con notevoli differenze tra zona e zona, è di 3,11 ettari (2,21 ettari di ecosistemi produttivi terrestri e 0,9 ettari di ecosistemi produttivi marini), pari a circa a un quadrato di 200 metri di lato; mentre la disponibilità effettiva è valutata tra 0,82 e 1 ettaro pro-capite. Consumiamo, dunque, più del triplo di quello che ci spetterebbe e, come tutti i paesi ricchi, il deficit lo colmiamo in gran parte importando risorse a basso costo dal Terzo mondo: ecco perché è così utile costringerlo a stare sul mercato mondiale mantenendolo però nella miseria, intrappolato dal debito e privo di qualsiasi potere contrattuale. E, come se non bastasse, i nostri consumi sono in crescita.
9. L'utilità dell'equazione originale di Ehrlich e Holdren non consiste nel permettere di fare dei conti o nel dire che I è dato dal prodotto di P , C e T , bensì nel far capire quali sono i fattori essenziali in gioco nel determinare l'impatto dell'uomo sull'ambiente. Più corretto, in effetti, è scrivere la formula così $I = f(P, C, T)$, che vuol dire: I è funzione di P , C e T , dal momento che la legge matematica che lega fra loro i vari fattori in gioco non è così ovvia come la formulazione originale di Ehrlich e Holdren potrebbe far pensare. Molti economisti ed ambientalisti hanno proposto,

- negli ultimi trent'anni, versioni più sofisticate dell'equazione, talvolta aggiungendovi nuovi fattori, ma non esiste attualmente una versione riconosciuta e accettata da tutti.
10. Un caso esemplare in tal senso è rappresentato dal referendum italiano sul nucleare del 1987. La consultazione popolare sancì a stragrande maggioranza, sull'onda del gravissimo incidente occorso l'anno precedente al reattore di Chernobyl, nell'ex-Unione Sovietica, il rifiuto del nucleare, nonostante le nostre centrali fossero tra le più avanzate e sicure al mondo. Fu una scelta peraltro inutile, se si considera che la minaccia nucleare è transfrontaliera, e che la vicina Francia ha circa 60 centrali nucleari, con cui produce i $\frac{3}{4}$ del suo fabbisogno nazionale di energia.
 11. Questo fenomeno trova un suo fondamento teorico nell'ambito della *teoria della comunicazione*, il cui pioniere è stato il matematico Claude Shannon. Essa ci insegna che ciò che conta nella comunicazione non è il livello del segnale trasmesso, bensì il rapporto tra il livello del segnale e quello del rumore di disturbo: cioè, nel nostro caso, il rapporto tra la quantità di informazioni essenziali riguardanti questioni importanti e la quantità di messaggi e dati superflui che vengono ricevuti.
 12. Il timore della gente per i campi elettromagnetici in cui siamo tutti immersi ne è un esempio. Quand'anche fosse dimostrato un effetto biologico dell'elettrosmog, difatti, il suo impatto sulla popolazione in termini di vittime sarebbe comunque assolutamente trascurabile. Il fumo, al contrario, provoca circa 25.000 decessi l'anno per tumori solo in Italia, mentre gli incidenti stradali ne provocano ogni anno circa 7.000, numeri che descrivono due stragi immani. Eppure la morte per le radiazioni elettromagnetiche suscita più paura di queste due minacce, ben più concrete, alla vita dell'uomo. Il fatto è che la gente sopravvaluta nettamente l'importanza e la frequenza di morti dovuti a cause drammatiche e sensazionali, e sottovaluta le morti derivate da cause non spettacolari. Questa tendenza della gente è consolidata da una tendenza simile nei mass media, che danno più spazio ad avvenimenti infrequenti, spesso violenti o catastrofici, e giornalmente più allettanti. Tali avvenimenti rari, dunque, sono riportati dai media con frequenza sproporzionata in rapporto alla frequenza reale, alterando la percezione della gente, che li ricorda di più rispetto ad eventi rischiosi ben più comuni.
 13. In Italia, un primo passo in questa direzione si è avuto nel 1993 con l'istituzione, a Trieste, del «Master in Comunicazione della Scienza». Si trat-

- ta di un corso biennale post-universitario organizzato dalla SISSA (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati) e destinato, con l'aiuto di docenti tra i massimi esperti italiani in giornalismo e in materie scientifiche ed umanistiche, alla formazione di nuovi comunicatori, dotati di ampie competenze interdisciplinari e di un profondo spirito critico. Nel 2001, il Master ha ricevuto a Parigi, nella persona del suo direttore dell'epoca, Stefano Fantoni, il prestigioso premio Kalinga dell'UNESCO per la divulgazione scientifica.
14. È evidente la declinante credibilità politica della massima istituzione internazionale volta a garantire la pace e la sicurezza, l'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU), fondata nel 1945 dopo il fallimento della Società delle Nazioni creata all'indomani della guerra del 1914-18. Il suo supremo organo decisionale in materia di pace e di guerra, il Consiglio di sicurezza, è infatti ormai paralizzato dai veti incrociati dei paesi membri sulle principali questioni politiche, rendendolo di fatto impotente nel prendere delle iniziative autonome. Oggi esso svolge più che altro una funzione di «copertura formale» delle decisioni prese da organismi settoriali o regionali, come la NATO o il G8.
 15. La definizione classica di recessione, in un singolo paese, prevede due trimestri di contrazione economica. Ma nel caso del mondo intero, dato che la crescita negativa generalizzata è improbabile, gli economisti ritengono equivalente un livello molto basso di crescita: per la Morgan Stanley, ad esempio, la soglia è un tasso inferiore al 2,5 per cento.
 16. L'assurdità di una crescita economica perpetua è messa in evidenza dal fatto che, perfino con un tasso di crescita dell'1 per cento annuo, dopo alcuni secoli anche l'individuo medio dovrebbe essere miliardario. Chi lavorerebbe allora per produrre ciò che tutti quei miliardari consumerebbero? Forse gli economisti si aspettano che i paesi poveri evitino la crescita e si dedichino al compito di mantenere e servire i pigri paesi ricchi. Non è quindi certo un caso che, per la maggior parte della Storia, lo stato dell'economia fu, secondo gli standard attuali, la stagnazione.
 17. La strategia commerciale della differenziazione dei marchi per rivolgersi a diversi *target* di pubblico rende inoltre molto difficile il boicottaggio da parte dei consumatori. Quest'ultimo, infatti, per essere efficace andrebbe esteso a tutti i marchi della stessa azienda, il cui legame con la casa-madre è di solito poco o per nulla conosciuto. Ma pochissimi sanno che, ad esempio, il gruppo italiano Benetton comprende anche i marchi

- Sisley, Nordica, Zero Dodici, Undercolors, Zerotondo, Colors of Benetton, Rollerblade e Killer Loop. Lo stesso vale per il gruppo Danone, una multinazionale di origine francese che opera attraverso varie società, tra cui: Galbani, Saiwa, Birra Peroni, Ferrarelle, Evian.
18. Le imprese multinazionali si servono del loro grande peso politico anche per plasmare le regole del mercato secondo il proprio tornaconto. Infatti, i vari organismi di cui la comunità internazionale si è dotata nel corso del tempo per regolare lo sviluppo delle industrie e del commercio sono tutti controllati dal sistema liberal-capitalistico, e sono dunque al suo più completo servizio: la Banca mondiale, il Fondo monetario internazionale (FMI), l'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), l'Organizzazione mondiale del commercio (WTO).
 19. La grave crisi politico-economico-sociale in cui versa l'Argentina ne è un drammatico esempio, nonché un monito delle possibili conseguenze del processo di globalizzazione selvaggia in atto. L'ex-governo del presidente Menem è stato fautore di una politica che ha privatizzato tutto (dalle aziende ai beni pubblici, strade comprese) e ha consentito il trasferimento di capitali all'estero, mettendo di fatto l'economia saldamente in mani straniere: l'83 per cento del capitale delle mille aziende più importanti è oggi proprietà di imprese multinazionali. Tutto ciò ha determinato in pochi anni – nel 1996 l'Argentina aveva indici di finanza pubblica migliori degli standard di Maastricht e una crescita del PIL attorno al 5 per cento – un'inarrestabile crisi economica. Dopo la burrasca che ha spazzato via parte della classe politica, costretta alle dimissioni dall'ondata di proteste popolari per tale crisi, la rabbia è infine esplosa nel dicembre 2001. Ne sono seguiti il congelamento dei depositi bancari da parte del governo, la svalutazione del peso e la sospensione del pagamento del debito estero. Così ora l'Argentina, nonostante le ricchezze naturali e l'alto livello culturale, vede un quarto della sua popolazione vivere in estrema indigenza, se non letteralmente morire di fame.
 20. Il *news management* è ampiamente usato dai presidenti americani, che dispongono di un apposito ufficio incaricato di creare ad arte «pseudo-eventi» (quali una visita a un ospizio, un discorso ai giochi sportivi per bambini handicappati, la presenza a una partita di football o alla cerimonia di inaugurazione di una nave) e *photo-opportunities* (situazioni all'apparenza casuali per essere ripresi in atteggiamenti «spontanei»: soste in cima alla passerella dell'aereo per salutare una folla assente,

passaggiate nei giardini presidenziali con i familiari o col cane, eccetera). L'ingegneria del consenso è stata largamente applicata dagli Stati Uniti anche in occasione delle due guerre contro l'Iraq, per ingannare l'opinione pubblica interna e mondiale su dati e questioni decisive. Un ottimo libro di piacevolissima lettura e assai illuminante sul *news management*, con numerosi esempi storici americani e nostrani, è *Sotto la notizia niente*, del giornalista Claudio Fracassi.

21. In tali paesi, ogni giorno più integrati fra loro, si concentrano allo stesso tempo le maggiori disponibilità finanziarie, i principali agglomerati industriali e la base essenziale dell'innovazione tecnologica. Attualmente, però, come accennato nei precedenti paragrafi, a causa del sistema liberal-capitalistico si sta determinando una frattura crescente, accentuata dal processo di globalizzazione, tra questi poli economici e la maggior parte degli altri Stati (in particolare quelli dell'Africa Nera), sempre più poveri, emarginati, esclusi dal benessere e dalla modernizzazione.
22. Osama bin Laden, il capo dell'organizzazione terroristica di Al Qaeda, era – o è, qualora sia ancora vivo – un ricco esule saudita, uno sceicco che sperava di diffondere la sua visione radicale del governo islamico fra i musulmani di tutto il mondo e di cacciare gli Stati Uniti dal Medio Oriente (in particolare dalla più ricca delle terre sacre dell'Islam, l'Arabia Saudita) e dall'Africa, favorendo la rivolta delle masse islamiche contro i loro governi «moderati», in quanto questi ultimi fanno gli interessi degli occidentali. Al Qaeda ha cellule in vari paesi e, soprattutto, aveva molte basi nell'Afghanistan dominato dal regime islamico integralista dei talebani, islamicamente discepoli dei sauditi wahabiti, i più anticristiani dei musulmani. La filosofia di Al Qaeda, che considera un obbligo religioso per ogni musulmano uccidere gli americani e i loro alleati, trascende dunque i confini geografici e assume di fatto i caratteri di un'ideologia, nonostante bin Laden non sia stato un intellettuale né un ideologo della rivoluzione islamica, ma solo un sostenitore finanziario delle attività degli estremisti islamici nel mondo.
23. Quattro anni dopo l'11 settembre, c'è una sola certezza: il terrorismo è più forte e diffuso che mai, e l'orrore è diventato una regola a cui ci stiamo abituando, nonostante non siano state usate armi di distruzione di massa. Attentati di matrice islamica con esplosivi convenzionali hanno colpito, in Europa, a Madrid (11 marzo 2004, 190 morti e 1.800 feriti) ed a Londra (7 luglio 2005, 55 morti e 700 feriti), e, al di fuori dell'Europa,

- ma contro bersagli occidentali, a Bali (12 ottobre 2002, 202 morti), a Casablanca (16 maggio 2003, 45 morti) e a Sharm el Sheikh (23 luglio 2005, 64 morti), solo per citare gli episodi più eclatanti. I nuovi terroristi, molti dei quali giovani marocchini, rappresentano una minaccia pulviscolare e frammentata, in quanto si associano di loro iniziativa e compiono attentati nello stile di Al Qaeda, di cui condividono l'«agenda». È la vittoria strategica di bin Laden, vivo o morto che sia, che impone ai musulmani di aggredire l'Occidente. Per il futuro, si prefigura quindi uno scenario da incubo, perché questo nuovo terrorismo transnazionale è praticato da giovani «freelance», cioè che operano senza il coordinamento di un vertice o di un comando superiore.
24. Il processo di sviluppo economico dell'Asia orientale è iniziato in Giappone negli anni Cinquanta e si è poi diffuso alle quattro «tigri asiatiche» (Hong Kong, Taiwan, Singapore e Corea del Sud) per poi estendersi alla Cina e all'India. La gran parte di questi paesi hanno, da quasi un ventennio, tassi annui di crescita del PIL che arrivano all'8-10 per cento. Nel 2003, il dilagare dell'epidemia di SARS in queste zone ha solo temporaneamente interrotto questa tendenza. Inoltre, l'assai più modesta crescita economica europea ed americana in rapporto a quella asiatica non intacca le eccellenti prospettive a lungo termine della Cina.
 25. Intorno al 2020, un secolo dopo aver toccato la sua punta massima, l'Occidente controllerà politicamente appena il 10 per cento di tutta la popolazione mondiale (rispetto a ben il 50 per cento di un secolo prima), mentre la *civilization* musulmana ne controllerà il 20 per cento (rispetto al 2,5 per cento del 1920), le *civilization* cinese e indiana insieme arriveranno a controllare il 38 per cento dell'umanità (contro il 18 per cento di un secolo prima) e il controllo della *civilization* africana crescerà al 14 per cento della popolazione mondiale (contro l'1 per cento del 1920).
 26. Nelle scienze sociali si possono estrapolare tendenze solo se l'epoca è stabile, non se cambiano le regole del gioco, cioè quando si è in un periodo di mutamento. E la nostra, in particolare, può essere definita l'«era delle sorprese». La Storia potrebbe, nonostante ciò, avere leggi proprie che, anziché determinare in modo rigoroso quel che accadrà, si applicano a grandi insiemi di eventi fornendo per lo sviluppo storico solo probabilità e tendenze complessive. Simili leggi non deterministiche, che non descrivono i dettagli del percorso evolutivo bensì ne individuano i limiti e le possibilità, sono ben note nelle scienze naturali e potrebbero forse

esistere anche nelle scienze umane. Ma, pure con esse, nessuno potrebbe predire il futuro della società umana né sapere *se* avrà un futuro.

5. IL FUTURO DELL'*HOMO SAPIENS*

1. Già nel film *Metropolis* (1927) di Fritz Lang, ad esempio, gli esseri umani sono schiavi delle macchine in una società supertecnologica. Nel romanzo di George Orwell *1984*, ambientato a Londra e scritto nel 1948, l'autore ci parla di un futuro in cui la tecnologia viene usata per controllare costantemente tutti gli esseri umani attraverso il «Grande Fratello», presente in ogni casa con le sue implacabili telecamere. Nei più recenti film della serie *Matrix* (1999, 2003), di Andy e Larry Wachowski, una generazione di macchine, di onnipresenti intelligenze artificiali, ha preso il sopravvento sull'uomo e dato vita alla «matrice», un sistema in grado di addormentare le coscienze umane in un realtà del tutto virtuale, allo scopo di far sopravvivere le macchine stesse con l'energia prodotta nel mondo reale dai corpi completamente immobilizzati delle persone.
2. L'accoppiamento tra organismi di razza diversa ma appartenenti alla stessa specie dà origine a un *meticcio*, che è un individuo o un animale fertile spesso più «sano» dei genitori, di cui presenta intercalate le caratteristiche. L'accoppiamento tra le due specie vicine dell'uomo e dello scimpanzè è stato invece tentato alla fine degli anni Ottanta, attraverso la fecondazione in vitro di un ovulo di scimmia con uno spermatozoo umano. La gravidanza dell'animale è stata interrotta dopo qualche mese per ragioni etiche e così l'ibrido uomo-scimpanzè – il cosiddetto *scimpanzuomo* – potenzialmente utilizzabile in lavori pericolosi o come donatore di organi, non ha mai visto la luce.
3. I dettagli dei meccanismi di speciazione sono però alquanto controversi, perché nessuno ha mai potuto assistere «in diretta» – tranne che in rarissimi casi – alla nascita di una nuova specie biologica. Quindi, nell'immaginare come potrebbero andare realmente le cose, ci si basa soprattutto su modelli teorici, più che su evidenze osservative. Così, non sappiamo nemmeno dire quanto tempo richiedano i vari possibili processi di speciazione, sebbene lo studio dei fossili mostri che essi avvengono in un lasso di tempo relativamente breve rispetto alla vita media

- di una specie. In genetica, comunque, i tempi si contano di solito in millenni, se non addirittura in milioni di anni.
4. In realtà, si può citare anche una «convivenza» molto più recente tra specie di *Homo* distinte. Nel settembre 2003, in una caverna dell'isola di Flores, in Indonesia, è stato ritrovato lo scheletro di Hobbit, un uomo appartenente a una nuova specie del genere *Homo* – chiamata *Homo florensiensis* – vissuta almeno fino a 13.000 anni fa. Benché alto solo un metro, e dotato di un cervello di volume inferiore alla metà di quello dell'*Homo erectus*, sembra che l'*Homo florensiensis* fosse in grado di usare un'industria litica e di controllare il fuoco: in altre parole, aveva già una sua intelligenza. Si pensa che esso discenda, come l'*Homo sapiens*, dall'*Homo erectus*, vissuto 1,8 milioni di anni fa in Europa, Africa e Asia, e sia quindi piccolo a causa del «nanismo insulare», che favorisce gli individui di dimensioni ridotte, bisognosi di minori risorse. In ogni caso, l'*Homo florensiensis* rappresenta una specie ominide diversa dalla nostra vissuta sulla Terra in tempi relativamente recenti (forse, addirittura fino al Sedicesimo secolo) occupando una particolare nicchia ecologica, rimasta isolata per circa 800.000 anni.
 5. L'evoluzione culturale, a differenza di quella biologica, permette la trasmissione delle informazioni da una generazione all'altra non attraverso il passaggio di geni, bensì semplicemente conservando e aumentando le conoscenze via via acquisite. La trasmissione della cultura e delle idee può avvenire sia da una generazione all'altra («trasmissione verticale», come quella dei geni nell'evoluzione biologica) sia, in maniera a volte addirittura quasi istantanea grazie a media come Internet, da un'individuo a milioni o a miliardi di altri individui del pianeta («trasmissione orizzontale», simile a quella di una malattia durante un'epidemia). Il fenomeno è descritto in maniera eccellente nel libro *L'evoluzione della cultura*, di Luigi Luca Cavalli-Sforza.
 6. L'altezza offre un interessante parallelo con il qI. Anche la statura media della popolazione umana nei paesi economicamente sviluppati, infatti, è notevolmente aumentata nel secolo scorso. In media, ogni generazione ha beneficiato di un'altezza di 2-3 centimetri superiore all'altezza della generazione precedente, e dal 1900 al 2000 l'incremento complessivo è stato di ben 15 centimetri. Tale crescita è dovuta probabilmente a fattori ambientali, come i cambiamenti sociali e i mutamenti alimentari: l'aumento di statura è stato così rapido che i fattori genetici

– ammesso che ve ne siano – devono essere stati poco importanti. Pertanto esiste certamente un limite fisiologico alla statura umana, il quale farà sì che la crescita cesserà una volta raggiunto un massimo, situato dagli esperti al di sotto dei due metri.

7. Nel 2001, è stata pubblicata dal consorzio pubblico internazionale *Progetto Genoma Umano* e dalla Celera Genomics americana la bozza della «mappatura» dell'intero genoma umano, cioè l'identificazione della successione esatta delle basi nucleotidiche, ovvero della serie di «lettere» chimiche che compongono il DNA. Pertanto i ricercatori dispongono di un vero e proprio catalogo – nel frattempo perfezionato da altre mappature operate da altri gruppi di ricerca – che comprende i geni presenti nel DNA umano, la loro esatta posizione fisica e la successione di basi nucleotidiche di ciascuno di essi. I geni umani sono fra 20.000 e 25.000, pochi rispetto al genoma di altri organismi più semplici: la pianta *Ara-bidopsis Thaliana* ne possiede circa 25.000, mentre la *Drosophila* (il comune moscerino della frutta) ne possiede 13.600. Si noti che ben il 95-97 per cento della catena del DNA appare inutile, «non genico», in quanto sembra non contenere istruzioni per la cellula, sebbene si sospetti che svolga un ruolo importante ancora da chiarire.
8. Il primo gene umano individuato è stato quello del daltonismo: era il 1911. Solo negli ultimi decenni, però, si è riusciti a studiare la funzione di molti altri geni legati alle malattie umane. Essi vengono cercati confrontando il DNA di chi si è ammalato con quello di persone sane. Si sono così scoperti geni associati a malattie gravi ma rare, come la fibrosi cistica o la Corea di Huntington. Tuttavia, le malattie più diffuse sono dovute all'azione di più geni e ciò rende molto difficile seguirne la trasmissione di generazione in generazione. Per capire a cosa serve un gene, gli scienziati manipolano embrioni di topo in modo che nascano privi di un determinato gene e stanno a vedere cosa succede. In questo modo, dal momento che quasi tutti i geni umani hanno un «analogo» nel topo (sarebbero forse non più di 300 i geni che gli uomini hanno e i topi no), è possibile scoprire in quale tessuto un dato gene funziona e in quale stadio della vita manifesta la sua azione. Spesso, infatti, uno stesso gene può dare origine a proteine diverse, e molti geni si attivano solo in una particolare fase della vita dell'individuo (feto, bambino, adulto) e solo in alcune parti dell'organismo.

9. Agli inizi del 1984, un'impresa simile fu realizzata in Inghilterra. Alcuni scienziati fusero fra loro cellule embrionali di capra e di pecora, trasferendo l'embrione così risultante in un animale che diede origine a una chimera capra/pecora, detta *caprecora*: un animale che ha componenti in diverse parti del corpo, in modo del tutto casuale, sia cellule di capra che di pecora, costituendo così una sorta di arlecchino biologico. Si tratta del primo esempio, nella storia umana, di fusione di due animali assolutamente non correlati fra loro. Si noti che, mentre l'ibrido (il mulo o lo scimpanzuo, per esempio) è frutto di un processo riproduttivo naturale, la chimera – che di fatto ha quattro genitori, due per ogni embrione – rappresenta un vero e proprio artefatto biologico.
10. La clonazione è stata suggerita anche quale possibile «rimedio» alle estinzioni in atto nel mondo animale e vegetale a causa della scala crescente dell'attività umana. L'idea è che, congelando seme ed embrioni delle specie in pericolo, si potrebbe conservare un mondo vivente che sarà presto fatalmente perduto, e riportarlo un giorno in vita artificialmente producendo in serie tali embrioni (e dunque gli animali corrispondenti). È un po' quel che accade nel film di Spielberg *Jurassic Park*, tratto dall'omonimo romanzo di Michael Crichton, dove vengono riportate in vita specie di dinosauro e di piante estinte 65 milioni di anni fa; il che non è nella realtà fattibile, in quanto non è disponibile il loro DNA integro. Anche i tentativi di «resuscitare» con la clonazione mammut o altri antichi animali impiantando il DNA estratto dal nucleo di una cellula morta nella cellula-uovo di una specie affine sono tutti falliti, a causa della frammentazione a cui il DNA va incontro nel tempo e della nostra attuale incapacità di combinare tali frammenti per ricostruire la molecola intera.
11. Non bisogna confondere qui la clonazione riproduttiva, totalmente bandita, con la cosiddetta *clonazione terapeutica*, che ha l'obiettivo di far sviluppare solo cellule staminali embrionali e non un intero essere vivente. Le cellule staminali, infatti, sono cellule neonate non specializzate e le cellule staminali embrionali, in particolare, sono «totipotenti», cioè in grado di formare qualsiasi tessuto: quindi, possono venire usate per trapianti senza rigetto in tutte quelle malattie in cui le cellule di un particolare tessuto od organi interi sono irrimediabilmente compromessi, come nel caso di un infarto o di malattie quali il cancro, l'Alzheimer, il diabete e il Parkinson. Nel luglio 2001, scienziati britannici sono

riusciti a trasformare una normale cellula della pelle di un topo adulto in una cellula staminale attraverso la clonazione, inserendo il nucleo della cellula adulta in una cellula-uovo privata del suo nucleo. Questa tecnica per ottenere cellule staminali, nel caso dell'uomo, permette di superare le barriere etiche connesse alla manipolazione di embrioni nati da cellule fecondate, ed è chiamata (impropriamente, perché non si sta duplicando nulla) clonazione terapeutica.

12. L'idea si è dimostrata assolutamente valida nella *Drosophila melanogaster*, il comune moscerino della frutta. L'età riproduttiva di questo organismo è stata progressivamente ritardata nell'arco di 10 o più generazioni. Come risultato, sono stati ottenuti ceppi di moscerini che vivono 2-3 volte più a lungo dei ceppi normali e che sono altrettanto sani per tutta la durata della fase adulta. Anche nell'uomo ci vorrebbero una decina di generazioni, e quindi alcuni secoli, per ottenere un significativo rinvio dell'invecchiamento e un corrispondente aumento della longevità massima. Questa strategia potrebbe dunque risultare realistica da mettere in pratica solo, forse, per gli abitanti di una colonia spaziale.
13. Oggi, in realtà, poiché non è eticamente accettata l'idea di modificare il nostro patrimonio genetico, occorre cercare di inibire la funzione del gene (o dei geni) dell'invecchiamento, identificando e costruendo dei composti chimici che possano inibire la formazione delle relative proteine responsabili della nostra longevità, così da ottenere lo stesso effetto che si sarebbe ottenuto togliendo il gene. Se ciò sia fattibile o meno, è un altro discorso. Infatti, le sostanze chimiche esistenti al mondo non sono state selezionate per inibire le proteine, per cui non è detto che per ogni proteina ne esista una capace di inibire la funzione voluta, o non è detto che noi siamo in grado di immaginare quale sia la sostanza chimica giusta. Anzi, la probabilità, data una determinata proteina, di trovare in tempi ragionevoli una sostanza chimica in grado di inibirla non è molto elevata; inoltre, a volte ci vuole un anno, a volte cinquant'anni, e a volte dopo sessant'anni ancora non ci si è riusciti. Ma già si sta lavorando in questa direzione, anche in Italia, presso l'Istituto Europeo di Oncologia, dove c'è il gruppo del professor Pelicci.
14. Nei prossimi decenni sarà possibile creare nuovi organi e protesi interfacciando tessuto organico e materiali artificiali. La struttura del sistema che ci interessa (ad esempio, cartilagine, muscolo, osso, vaso sanguigno, cute) verrà infatti duplicata facendo crescere le cellule del tessuto

- umano appropriato su un'impalcatura artificiale in materiale plastico biodegradabile. Una volta degradatasi, la plastica lascia solo il tessuto coerente, che può essere impiantato. Si potranno progettare e costruire, con questa tecnica, interi organi, quali reni o fegato. In un futuro più lontano, forse, la coltivazione dei tessuti permetterà di realizzare anche parti del corpo complesse, quali mani e arti.
15. Internet oggi è un ambiente virtuale soprattutto grazie ai siti, ai forum e alle chat. Con la *Grid*, una super-rete in fibre ottiche con protocolli *ad hoc*, si potranno collegare in tempo reale le risorse di calcolo e di memoria dei computer connessi alla rete: in questo modo sarà possibile creare, in potenti computer remoti rispetto a noi utenti, ambienti 3D in cui condividere e costruire oggetti, reperire informazioni camminando nei corridoi dell'ufficio (virtuale) che ci serve, e così via. L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) sta già realizzando la prima Grid, che verrà usata per collegare i centri e i laboratori di ricerca italiani ed europei, i quali devono maneggiare e scambiarsi enormi quantità di dati. La Grid è destinata a diventare la prossima generazione del *World Wide Web*.
 16. Il cervello umano contiene circa 10^{11} neuroni, ciascuno dei quali ha circa 5×10^3 sinapsi. Poiché i segnali sono trasmessi lungo le sinapsi che li collegano a una frequenza media di 100 Hz, e ciascun segnale contiene – diciamo – 5 bit, ciò equivale a una capacità computazionale di 10^{17} (cioè 100 milioni di miliardi) di operazioni al secondo. Tuttavia, tenendo conto della «ridondanza» del cervello, la capacità reale deve essere molto più bassa. Un altro modo di calcolare la capacità totale del cervello umano è estrapolarla a partire da una sua regione che svolge una funzione replicabile con i computer. Ad esempio, siccome per raggiungere con un software efficiente la capacità di rilevamento della retina occorrono almeno 1 miliardo di operazioni al secondo, e l'intero cervello è circa 100.000 volte più pesante degli 0,02 grammi di circuiti di elaborazione presenti nella retina, è possibile stimare una capacità minima di 10^{14} (o 100.000 miliardi) di operazioni al secondo.
 17. Questa è l'intelligenza artificiale nella sua cosiddetta «versione forte», che si può distinguere da quella «debole» – cioè dall'intelligenza delle macchine contemporanee – grazie al famoso *test di Turing*, proposto nel 1950. In pratica, una macchina passa il test se, in una «conversazione» a due tra un computer e un essere umano, un giudice si dimostrasse incapace di distinguere le risposte della macchina da quelle della per-

sona. Ma oggi gli esperti sono concordi sull'ingenuità di questo test, troppo incentrato sulla specie umana: si rischia di ripetere l'errore del volo artificiale, che gli ingegneri per secoli hanno cercato di raggiungere costruendo macchine volanti che imitassero il volo degli uccelli, mentre gli aeroplani moderni volano in modo completamente diverso da essi.

18. Le *reti neurali* sono algoritmi basati su modelli matematici semplificati, e dunque non biologicamente realistici, dei neuroni – le cellule cerebrali animali – e delle connessioni fisiche esistenti tra loro. Il neurone artificiale analizza gli stimoli che riceve da sensori esterni in base ad alcuni criteri, detti «pesi», stabiliti dal programmatore: se il totale degli stimoli supera una certa soglia predefinita, il neurone «si accende» ed emette un segnale. Gli *algoritmi genetici* (o evolutivi), invece, sono software che permettono lo sviluppo graduale di soluzioni intelligenti ad un problema in un processo simulato di evoluzione: l'algoritmo che risolve il compito specifico assegnatogli dal programmatore, in pratica, è il frutto di un'«evoluzione matematica» di un algoritmo di partenza che viene modificato in maniera autonoma e casuale dal computer, introducendo nel codice di calcolo delle mutazioni fino a quando non emerge la soluzione algoritmica più efficace per il compito richiesto.
19. Si possono immaginare due forme distinte di superintelligenza. La prima è detta superintelligenza *debole*, ed è quella che si otterrebbe se si potesse far funzionare un cervello umano a un ritmo più accelerato, per esempio trasferendo in qualche modo la mente umana su un velocissimo computer (*mind uploading*). Ciò permetterebbe a questa mente senza corpo di pensare assai più velocemente di un normale essere umano, il cui cervello ha una capacità di calcolo di circa 100.000 miliardi di operazioni al secondo e una memoria di circa 10 milioni di gigabyte. La superintelligenza *forte*, invece, significa una mente artificiale od organica che non solo è più veloce del cervello umano, ma anche qualitativamente superiore. Infatti, se accelerassimo il pensiero del cervello di un cane, non otterremmo certo un equivalente del cervello umano: analogamente, potrebbe esistere una superintelligenza forte che nessun cervello umano potrebbe uguagliare, a prescindere dalla sua velocità.
20. Il principale nemico delle cellule congelate è il ghiaccio, poiché il volume cellulare è costituito per l'80 per cento da acqua. Per evitare che il congelamento danneggi le pareti cellulari, il sangue di un cadavere va sostituito immediatamente con agenti crioprotettivi, che però non rie-

- scono a raggiungere tutte le cellule, per cui il disgelo di un corpo nella sua integrità iniziale risulta impossibile. Negli Stati Uniti, la società *Alcor* offre l'ibernazione in azoto liquido a -196°C – con l'accorgimento appena descritto – di un cervello o di un intero corpo umano a un prezzo compreso fra i 30.000 e i 120.000 euro.
21. Negli Stati Uniti, l'esploratore vichingo Leif Ericson (vissuto all'incirca tra il 970 e il 1020 d.C.) sembra essere sempre più in grado di contendere al nostro Cristoforo Colombo il titolo di primo europeo ad aver messo piede sul suolo americano. Ericson, dopo aver fondato una colonia vichinga in Groenlandia, avrebbe guidato un manipolo di compagni fino alle coste americane, approdando nel Nuovo Continente molti secoli prima del nostro navigatore genovese e delle sue mitiche caravelle. I Vichinghi, però, a differenza degli europei latini, si limitarono a fare «quattro passi» sul suolo americano, evitando accuratamente di insediarsi e di annunciare al mondo la loro scoperta.
22. In un certo senso, nel futuro si ricreerebbe nello spazio la stessa situazione esistente in passato sulla Terra prima che la ruota e la navigazione facessero la loro comparsa. A quell'epoca, ciascuna tribù o comunità di umani poteva spostarsi solo per brevi distanze e non poteva, quindi, venire a contatto con popolazioni lontane, né tantomeno ingaggiare lotte o guerre contro di esse. Con l'invenzione della ruota e della navigazione, invece, l'uomo ha potuto spostarsi in qualsiasi punto del globo e combattere guerre per il territorio o per le risorse. Oggi, addirittura, ogni zona del pianeta è collegata alle altre da una fitta rete di trasporti e comunicazioni: è l'era del «villaggio globale».
23. Nel 1973, il compianto astronomo Carl Sagan fece osservare che la classificazione originale di Kardashev avrebbe potuto essere proficuamente raffinata usando i numeri decimali per esprimere la differenza di un ordine di grandezza nel consumo di energia delle diverse civiltà. Per fare un esempio, una civiltà di Tipo 1,7 vuol dire che utilizza 10^{23} watt di energia, come si ottiene facilmente aggiungendo 7 unità all'esponente di 10^{16} , che è il consumo tipico, espresso in watt, di una civiltà di Tipo I: $16 + 7 = 23$. Nella classificazione di Kardashev-Sagan, pertanto, la nostra civiltà, che attualmente ha un consumo di energia di circa 10^{13} watt, può considerarsi una civiltà di Tipo 0,7.
24. Il rischio dell'intervento genetico sulla linea germinale è che il nuovo gene o i nuovi geni introdotti artificialmente, disturbando gli altri geni

(magari perché inseriti in uno di essi e non in una posizione «innocua» del DNA) oppure le sequenze di controllo dei geni, distruggano il delicato equilibrio del genoma attuale di un individuo, con conseguenze del tutto imprevedibili. Il problema è che, a differenza dell'intervento sulla linea somatica, gli eventuali effetti collaterali prodotti da un intervento dell'uomo su se stesso, specie se operato su vasta scala, si trasmetterebbero in questo caso alle generazioni successive.

25. In linea di principio, il libro della natura, una volta letto e capito (mettendo a confronto tra loro i genomi di un gran numero di persone e soprattutto di moltissime specie), può venire riscritto non ricombinandone le parole, bensì *ex novo*. Per il momento, però, la sfida è di definire un organismo unicellulare con il minimo numero di geni possibili, come proposto nel 2002 da Craig Venter, padre della mappa del genoma umano. Partendo da un batterio molto comune, il *Mycoplasma genitalium*, si sta tentando di eliminare dai 517 geni che compongono il suo DNA tutti quelli non necessari, stimati all'incirca nella metà. Lo scopo è determinare quale sia il patrimonio genetico minimo per poter vivere e riprodursi, cioè di stabilire i requisiti minimi per la vita. In seguito, sarà possibile aggiungere a questo microrganismo «minimo» nuove funzioni quali, ad esempio, la capacità di abbattere le emissioni di anidride carbonica delle centrali elettriche o di produrre idrogeno combustibile.

6. IL DESTINO DELL'UNIVERSO

1. In un articolo pubblicato il 17 maggio 2002 sulla rivista *Science*, un gruppo internazionale di scienziati comprendente il geologo italiano Alessandro Montanari ha ipotizzato che anche l'ascesa dei dinosauri, non solo la loro scomparsa, sia legata all'impatto di uno o più corpi extraterrestri. Infatti, utilizzando strumenti assai più sensibili che in passato, è stato possibile scoprire un picco nella concentrazione di iridio sulla Terra al confine tra le ere geologiche del Triassico e del Giurassico, cioè circa 200 milioni di anni fa. Poiché questo tipo di anomalia è di solito considerata come dovuta alla caduta di corpi cometari o asteroidali, un simile evento avrebbe all'epoca verosimilmente ucciso o ridotto di numero molte specie animali, aprendo la strada all'adattamento e alla proliferazione dei dinosauri.

2. E continueranno a farlo anche in futuro. Se i movimenti dei continenti proseguiranno nell'attuale direzione, tra circa 150 milioni di anni l'Africa e l'Europa, che si stanno già «scontrando», saranno diventate un unico continente. Lo stesso accadrà fra l'Australia e l'Antartide. E pare che fra 250 milioni di anni tutti i continenti si saranno di nuovo riuniti in un grande supercontinente. Questi sconvolgimenti produrranno inevitabilmente effetti sui climi dei vari continenti, sia per la variazione fisica di latitudine dei medesimi sia per la profonda alterazione che si avrà nella circolazione oceanica.
3. Secondo una teoria proposta negli ultimissimi anni e sostenuta, fra gli altri, dall'astronomo Adrian Melott e dal paleontologo Bruce Lieberman, entrambi dell'Università del Texas, potrebbe essere stato proprio un *gamma ray burst* a causare la seconda più rilevante estinzione di massa di tutti i tempi: quella dell'Ordoviciano, che 440 milioni di anni fa vide scomparire i due terzi delle specie all'epoca viventi sulla Terra. La teoria prevalente attribuisce quest'estinzione a un'età glaciale durata oltre mezzo milione di anni iniziata proprio in quel periodo. Secondo Melott, un lampo gamma verificatosi entro 6.000 anni luce dalla Terra – un evento che si stima possa essersi verificato una volta nell'ultimo miliardo di anni – spiegherebbe entrambi gli eventi. Infatti, i raggi gamma avrebbero danneggiato le molecole presenti nella stratosfera, causando la formazione di ossido di azoto e di altri composti chimici: il risultato sarebbe stato quello di dimezzare lo strato di ozono circumterrestre permettendo alla radiazione ultravioletta solare di uccidere gran parte della vita, e di avvolgere il pianeta in un nube marrone che avrebbe provocato il raffreddamento della Terra e un'era glaciale.
4. Le variazioni dei parametri orbitali terrestri, secondo gli studi più recenti, non causano direttamente una diminuzione della temperatura planetaria tale da innescare una glaciazione – cioè una forte espansione delle calotte gelate presenti intorno ai poli – ma danno solo la «prima spinta», dopodiché si instaura un qualche processo di retroazione, in cui probabilmente entrano in gioco vari fattori (tra cui, attraverso i mutamenti biologici e la dinamica di accumulo dei ghiacci, una variazione delle concentrazioni nell'atmosfera di gas serra come l'anidride carbonica e il vapore acqueo), che con un «effetto valanga» ne amplificherebbero enormemente il ritmo e la portata.

5. A sostegno di questa tesi, vi sarebbero soprattutto tre indizi: (i) la coincidenza temporale fra la «piccola età glaciale» sopravvenuta in Europa alla fine del Diciassettesimo secolo e il *minimo di Maunder*, un periodo di 70 anni in cui l'attività solare fu particolarmente calma in quanto sulla nostra stella non furono osservate macchie solari; (ii) la stretta correlazione fra le temperature nell'emisfero nord e il ciclo delle macchie solari dal 1750 al 1975; (iii) il fatto che la maggior parte del riscaldamento globale dell'ultimo secolo sia avvenuto prima del 1940, mentre la maggior parte dell'emissione antropogenica di gas serra nell'atmosfera sia successiva a tale data. Perciò, secondo alcuni astronomi, solo una parte del recente riscaldamento globale del pianeta è attribuibile all'attività umana; ma se questa parte sia trascurabile, piuttosto importante o preponderante, è oggi difficile da stabilire.
6. Su Venere si è verificato, sin dall'inizio, l'opposto di ciò che è successo sulla Terra: poiché su quel corpo celeste non c'era il meccanismo che intrappolava e riciclava l'anidride carbonica – assicurato sulla Terra dagli oceani e dalla tettonica a zolle – il riscaldamento del Sole ha liberato l'anidride carbonica, anziché intrappolarla, e questo ha amplificato, con un effetto serra a valanga, l'aumento di temperatura, invece di agire in senso opposto come sul nostro pianeta. Anche sulla Terra, con l'aumento della luminosità solare, si innescherà un effetto serra a valanga, ma solo dopo che l'effetto serra «normale» sarà sceso quasi a zero grazie alla diminuzione dell'anidride carbonica e che, a causa dell'ulteriore riscaldamento del nostro pianeta, la Terra avrà perso gli oceani. Una volta scomparsi gli oceani, il meccanismo di riciclaggio/intrappolamento sarà venuto meno, e tutta l'anidride carbonica intrappolata in essi e nei depositi marini verrà liberata, innescando così un effetto serra a valanga.
7. Gli astronomi ritengono oggi che ben il 90 per cento della materia componente le galassie e gli ammassi di galassie sia «oscura», cioè sia materia (di natura non identificata) non visibile direttamente coi telescopi o con altri strumenti. Ciò risulta, in particolare, dall'attento studio delle curve di rotazione delle galassie e dei moti delle galassie negli ammassi, che sono entrambi fortemente influenzati dalla presenza di materia invisibile. Le leggi della fisica stabiliscono esattamente quanta massa deve essere presente in questi sistemi – dalle galassie nane a quelle normali, dai piccoli raggruppamenti di galassie fino ai giganteschi superammassi – per bilanciare i moti della materia visibile

- e impedire la dispersione del sistema; ed è sconcertante notare come la massa totale osservata effettivamente con i telescopi sia di gran lunga inferiore al valore previsto dai calcoli.
8. Tali fluttuazioni sono la conseguenza della combinazione della meccanica quantistica con la relatività di Einstein. Infatti, in base a un principio fondamentale della fisica atomica e subatomica, enunciato nel 1927 dal fisico tedesco Werner Heisenberg, è impossibile conoscere contemporaneamente con precisione assoluta alcuni parametri fondamentali di un sistema fisico. Nel caso del vuoto, questa incertezza si manifesta sotto forma di piccole fluttuazioni energetiche che vanno e vengono senza sosta, e che in parte si convertono in entità materiali, come le particelle elementari, in quanto la teoria della relatività, attraverso la famosa equazione $E = mc^2$ (energia uguale massa per velocità della luce al quadrato), suggerisce che l'energia possa trasformarsi in materia e viceversa.
9. Le definizioni che di solito si danno della vita sono infatti davvero poco utili in tal senso. Per esempio, la banale definizione di tipo *strutturale*, che identifica la vita con «una cellula o un gruppo di cellule contenenti proteine o acidi nucleici» è assai restrittiva, perché esclude la possibilità di una vita basata su macromolecole diverse. Un'altra definizione molto diffusa, di tipo *funzionale*, distingue invece gli esseri viventi da quelli non viventi sulla base di ciò che essi fanno, identificando gli organismi come «qualcosa capace di crescita, riproduzione, movimento»; ma anche questa definizione non descrive l'essenza della vita, poiché, se la prendiamo alla lettera, allora anche il fuoco è vivo, mentre un animale sterile (come per esempio il mulo) non lo è. Un'altra definizione comune è quella di tipo *genetico-evolutivo*, per cui la vita è «qualcosa che si riproduce, muta e riproduce le proprie mutazioni». Ma pure rimanendo sulla Terra questa non è la sola strategia possibile, poiché esistono organismi che mutano l'ambiente in cui si trovano invece di se stessi.
10. Solo nell'ambito di questa seconda linea di pensiero vagamente antropomorfa sembra possibile trovare, in eventuali esseri alieni, un aspetto fisico e un'intelligenza di tipo terrestre, e forse entro certi limiti anche umanoide. Ciò conferirebbe a un'ipotetica civiltà tecnologica da essi creata delle affinità con la nostra, e in particolare mezzi e ragioni per comunicare con altre civiltà nell'universo, o almeno ci darebbe il modo di riconoscere l'intelligenza di tali forme di vita qualora vi entrassimo in contatto. Pertanto è naturale che questa seconda linea di pensiero sia

quella di gran lunga privilegiata dagli ottimisti e dai sostenitori del SETI (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence*), cioè dei progetti per la ricerca di esseri intelligenti nelle profondità dell'universo. Chi fosse interessato ad approfondire gli aspetti e le problematiche di tale ricerca, nonché gli indizi a favore e contro l'esistenza di vita elementare e/o intelligente nel cosmo, può trovare utile il mio libro *A caccia di E.T.* (Avverbi, 2002).

11. Utilizzando questa formula copernicana del 95 per cento, potete divertirvi voi stessi a predire la durata di 100 cose che vi interessano prese a caso, con la certezza che, in media, solo 5 di queste previsioni risulteranno sbagliate. Ad esempio, potete servirvene per prevedere la longevità futura dell'azienda per cui lavorate, della nazione in cui vivete, di uno spettacolo teatrale che desiderate vedere, della vostra relazione sentimentale, di una tecnologia che utilizzate, e così via. Naturalmente, se siete impazienti, potete verificare più facilmente la bontà della formula applicandola ad eventi verificatisi in passato.
12. La ragione per cui la regola dei 39 viaggi funziona è semplice. Applicando il principio copernicano, con il 95 per cento di probabilità la durata futura di un veicolo è compresa tra 1/39 della sua durata passata e 39 volte tale valore. Quindi, per essere sicuri al 95 per cento che il prossimo viaggio di un veicolo non sia l'ultimo, occorre che la durata futura del veicolo sia *effettivamente* pari, come minimo, a 1/39 della sua durata passata, in modo da cadere nell'intervallo centrale di probabilità (si veda la fig. 6.7 nel testo): ciò equivale a richiedere che la durata passata sia almeno 39 volte più grande della durata futura attesa. Ma poiché la durata futura attesa da un viaggiatore è quella di un intero viaggio del veicolo, per soddisfare la precedente condizione il veicolo deve avere già compiuto 39 viaggi. Dunque, un giornale di bordo lungo e senza incidenti è una buona garanzia di sicurezza.

7. UN MONDO IN BILICO

1. L'assicurazione è la soglia rispetto alla quale le persone sono pronte ad assumere rischi: rappresenta, cioè, il limite del tollerabile. Il confine in questione separa i rischi prevedibili – calcolabili e risarcibili da un'assicurazione privata – dalle minacce incontrollabili, la cui imprevedibilità ed entità potenzialmente quasi illimitata in termini economici fa sì che

non siano neppure presi in considerazione dalle compagnie assicuratrici. Pertanto sono queste compagnie che, con la loro logica operativa di tipo strettamente economico, determinano i «confini» della moderna società globale del rischio.

2. Non sarà mai possibile prevenire o proteggersi completamente da questa minaccia perché il terrorista, avendo l'iniziativa, può contare sull'ovvio ma fondamentale «fattore sorpresa», che si basa sulla segretezza dei preparativi e sull'incapacità degli organi di *intelligence* di cogliere in tempo i segnali di pericolo. Inoltre, il terrorista può scegliere quale tipo di obiettivo colpire e *dove* e *quando* farlo, nonché i mezzi più idonei allo scopo: utilizzare una determinata arma di distruzione di massa, colpire una centrale nucleare, far deragliare treni ad alta velocità, scatenare massicci attacchi alle reti informatiche, eccetera.
3. Il vero motivo che ha portato gli Stati Uniti ad attaccare l'Iraq dopo l'11 settembre è considerato, dagli analisti, il petrolio. L'Iraq, oltre a essere il paese del mondo con le maggiori riserve petrolifere stimate – mentre gli Stati Uniti sono il paese che consuma più petrolio pro-capite e l'Arabia Saudita quello con le maggiori riserve accertate – nel 1999 ha iniziato a vendere petrolio in euro anziché in dollari; ma la perdita del monopolio del dollaro nel commercio del petrolio avrebbe comportato per l'America un impatto durissimo, se non un collasso economico. L'occupazione dell'Iraq risolveva dunque agli Stati Uniti, in un periodo di forte recessione economica e di grande domanda interna di petrolio, molti problemi: consentiva loro di salvaguardare l'economia americana riportando l'Iraq al commercio del petrolio in dollari; di usare le riserve petrolifere di questo paese per indebolire l'OPEC, da cui proviene la metà delle loro importazioni, e in particolare l'Arabia Saudita, influenzando sulla fissazione dei prezzi; di mettere sotto controllo le maggiori riserve petrolifere mondiali, aumentando le proprie riserve strategiche. Per rendere giustificabile agli occhi dell'opinione pubblica la guerra all'Iraq, e non potendosi ovviamente attaccare l'Arabia Saudita, si è quindi sfruttata la fantomatica minaccia delle armi di sterminio irachene sbandierata dall'Amministrazione americana e dal Governo inglese, quando gli esperti del settore sapevano che queste armi erano inesistenti. Non è probabilmente un caso che il chimico David Kelly, il consulente di Downing Street che rivelò come l'esecutivo di Tony Blair avesse manipolato le informazioni sui supposti arsenali di sterminio iracheni, sia stato trovato cadavere in circostanze misteriose poco tempo dopo.

4. La popolazione bianca e ricca del Nord, composta principalmente da europei occidentali e nordamericani, e che attualmente è di circa 1 miliardo di persone, si manterrà sostanzialmente costante nei prossimi 50 anni. Tuttavia il suo rapporto con l'intera popolazione mondiale, che nel 1991 era di 1:5, è destinato a scendere ad appena 1:10 nel 2050. In un pianeta che all'epoca dovrebbe contare circa 10 miliardi di abitanti (contro i 6,5 attuali), nessuna nazione europea avrà quindi i mezzi per pesare da sola, e in modo durevole, sul corso degli avvenimenti storici.
5. La situazione attuale ricorda molto da vicino quella che si ebbe in un'altra fase considerata di grande «progresso» per l'umanità: il passaggio dal paleolitico al neolitico, quando, grazie alla scoperta dell'agricoltura, si ebbe un enorme incremento della produttività, che permise fra l'altro una cospicua crescita demografica, la nascita delle città e della scrittura. Ebbene, anche all'epoca il risultato del lavoro delle persone non era distribuito equamente tra la popolazione. La maggior parte del cibo e di quant'altro veniva prodotto finiva nelle mani di qualche potente: quindi qualcuno stava meglio, però la gran parte del popolo stava peggio. Tanto è vero che in quel periodo, a fronte di tanti vantaggi, si ebbe, sorprendentemente, una diminuzione della statura media della razza umana perché le persone, *in media*, mangiavano meno proteine.
6. Per tentare di avere una misura più realistica della qualità della vita rispetto a quella fornita dal solo PIL, all'inizio degli anni Novanta gli esperti delle Nazioni Unite hanno ideato un Indice di sviluppo umano (ISU), che stima il benessere di un paese combinando i dati statistici relativi a PIL pro capite, speranza di vita e alfabetizzazione della popolazione adulta. I primi paesi nella classifica basata su tale indice sono il Canada, la Francia, la Norvegia, l'Islanda, gli Stati Uniti, la Finlandia, il Giappone e i Paesi Bassi. L'Italia è collocata intorno al ventesimo posto. Un'osservazione che dovrebbe far riflettere: la quasi totalità degli ultimi 25 paesi della lista si trovano in Africa.
7. Il contrasto fra queste due modi opposti di intendere la vita risalta in tutta la sua evidenza nelle parole tratte da una lettera scritta da un pellerossa, il Grande Capo Seattle, all'uomo bianco: «Non c'è tranquillità nelle città dell'uomo bianco. Non si ode il fruscio delle foglie che si aprono in primavera né il frullare delle ali degli insetti... e cos'è la vita se un uomo non può sentire il richiamo del caprimulgo o il gracidiare delle rane di notte, attorno allo stagno?... Ciò che accade alla terra,

- accade ai figli della terra. Se l'uomo sputa sul suolo, sputa su se stesso. Questo sappiamo... non è la terra che appartiene all'uomo, ma l'uomo alla terra. Tutte le cose sono unite tra loro come il sangue che lega una famiglia. Ciò che accade alla terra, accade ai figli della terra. Non è l'uomo che ha tessuto la ragnatela della vita; lui ne è solo un filo. Ciò che fa alla ragnatela, lo fa a se stesso».
8. Prendiamo, ad esempio, il caso del problema demografico. Gli economisti hanno una visione «espansiva» del progresso, per la quale la crescita economica può soddisfare i bisogni di una popolazione in rapido aumento. Gli economisti, dunque, hanno una fiducia cieca nella capacità del commercio e del mercato, dell'innovazione tecnologica e dello sviluppo, di risolvere i problemi. Gli ambientalisti, al contrario, vedono tutti gli indicatori ecologici contrastare con la sostenibilità se vi è un incremento demografico eccessivo. Essi considerano la crescita economica la malattia (cioè la causa), non la cura (ovvero la soluzione), dei drammatici problemi che attanagliano il pianeta.
 9. Al di là degli impegni e delle dichiarazioni di facciata usate come propaganda politica, non vi è una vera intenzione da parte dei ricchi paesi occidentali di aiutare le nazioni più povere del Terzo Mondo. Questo non solo perché ciò farebbe aumentare il prezzo della manodopera e delle materie prime e creerebbe dei nuovi futuri e potenzialmente temibili competitori della nostra economia, ma anche perché non sapremmo come fare, dal momento che per far uscire un paese dal sottosviluppo non basta elemosinare cibo e medicine o annullare il suo debito estero.
 10. Siamo ormai parte di una rete globale che si sta integrando. All'inizio responsabili di questo processo erano il telegrafo e il telefono, oggi le reti di computer e di telefoni cellulari, la radio, la tv, il telefax; e in futuro altre tecnologie ridurranno sempre più le distanze fra gli uomini e fra gli uomini e le macchine. Così la popolazione mondiale sta diventando ogni giorno più interconnessa sia sul piano estensivo sia su quello intensivo. E più le capacità comunicative globali diventano complesse, più la società umana inizia a somigliare a un sistema nervoso planetario. Internet, in particolare, oltre a garantire la connettività tra le persone, costituisce una sorta di grande «cervello esterno», estendendo le nostre capacità di conoscenza, di memoria e di soluzione dei problemi.
 11. La società umana è assai meno rigida e integrata rispetto a quella degli insetti sociali, ma è molto più complessa. Essa è caratterizzata dalla

cultura, che permette la trasmissione dell'informazione da una generazione all'altra e da un individuo all'altro non attraverso i geni, come nel caso degli insetti, bensì attraverso i *memi*, cioè le idee, che analogamente ai geni sono soggetti a un meccanismo di selezione (di tipo culturale). Mentre gli insetti sociali hanno un comportamento istintivo, le cui linee guida sono tracciate nei geni degli individui sin dalla nascita, i singoli uomini sono molto più indipendenti, al punto da essere divenuti arbitri del destino della propria società. Ma in futuro, se le libertà dei singoli uomini continueranno a essere di fatto sempre più limitate dal nostro modello di sviluppo e dalle nuove tecnologie, la società degli uomini potrebbe convergere verso quella degli insetti.

12. Ciò è dimostrato da vari esperimenti eseguiti sin dagli anni Quaranta sul cervello di alcuni individui soggetti ad epilessia non trattabile altrimenti, ai quali l'emisfero cerebrale sinistro è stato separato con un taglio da quello destro. All'emisfero destro risultano associate, fra le altre cose, la coscienza di sé e, in generale, la creatività e l'intuizione; a quello sinistro, il linguaggio e il pensiero logico-analitico. Per alcune abilità specifiche, inoltre, è stato possibile individuare più precisamente la zona cerebrale di pertinenza. Sebbene entrambi gli emisferi sembrano «consci», l'esperienza conscia dell'emisfero sinistro pare essere diversa e superiore rispetto a quella dell'emisfero destro.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Cosmologia*, Mondadori, Milano, 2003.
- AA.VV., *I prossimi cinquant'anni*, Mondadori, Milano, 2002.
- AA.VV., *L'agenda di Bush*, Quaderni di Limes, Milano, 2005.
- AA.VV., *L'impero senza impero*, Quaderni di Limes, Milano, 2004.
- AA.VV., *Progetto Jihad*, Quaderni di Limes, Milano, 2004.
- AA.VV., *L'Arabia americana*, Quaderni di Limes, Milano, 2002.
- AA.VV., *Le spade dell'Islam*, Quaderni di Limes, Milano, 2001.
- AA.VV., *La guerra del terrore*, Quaderni di Limes, Milano, 2001.
- AA.VV., *Global Trends 2015*, Rapporto della CIA, Langley, 2000.
- AA.VV., *Il libro nero del capitalismo*, Tropea, Milano, 1999.
- AA.VV., *La bomba globale*, Quaderni di Limes, Milano, 1998.
- ALIBEK K., *Biohazard*, Random House, New York, 1999.
- AMBROSINI M., *La fatica di integrarsi*, Il Mulino, Bologna, 2001.
- ANGELA P., ANGELA A., *La straordinaria storia della vita*, Mondadori, Milano, 1999.
- ASIMOV I., *Domani!*, Mondadori, Milano, 1989.
- ASIMOV I., *Catastrofi a scelta*, Mondadori, Milano, 1980.
- AUSTAD S.N., *Perché invecchiamo*, McGraw-Hill, Milano, 1998.
- BARROW J.D., *Le origini dell'universo*, Sansoni, Milano, 1995.
- BAZZI A., *Bioterrorismo*, Laterza, Bari, 2002.
- BECK U., *La società globale del rischio*, Asterios, Trieste, 2001.
- BERRY A., *The Next 500 Years*, Headline Book, Londra, 1995.
- BLACKMORE S., *La macchina dei memi*, Instar, Torino, 2002.

- BODMER W., CAVALLI-SFORZA L.L., *Genetica, Evoluzione, Uomo*, Mondadori, Milano, 1977.
- BOEING N., *L'invasione delle nanotecnologie*, Orme, Milano, 2005.
- BOLOGNA G. (a cura di), *State of the World 2005*, Ed. Ambiente, Milano, 2005.
- BONANATE L., *Guerra e pace*, FrancoAngeli, Milano, 1994.
- BROOKS R.A., *Robot. The Future of Flesh and Machines*, Penguin Books, New York, 2002.
- BURDYUZHA V., KOHZIN G., *The Future of the Universe and the Future of our Civilization*, World Scientific Publ., Londra, 2000.
- CARLI G., TIEZZI E., *I limiti biofisici del pianeta*, Giunti, Firenze, 1991.
- CASTELFRANCHI Y., STOCK O., *Macchine come noi*, Laterza, Bari, 2000.
- CAVALLARI A., *L'atlante del disordine*, Garzanti, Milano, 1994.
- CAVALLI-SFORZA L.L., *L'evoluzione della cultura*, Codice, Torino, 2004.
- CAVALLI-SFORZA L.L., CAVALLI SFORZA F., *Chi siamo*, Mondadori, Milano, 1994.
- CERI P., BORGNA P. (a cura di), *La tecnologia per il XXI secolo*, Einaudi, Torino, 1998.
- CHAPMAN C.R., MORRISON D., *Catastrofi cosmiche*, Geo, Milano, 1991.
- CLARKE R., *L'uomo mutante*, Sperling & Kupfer, Milano, 1995.
- CLOSE F., *End*, Simon & Schuster, Londra, 1988.
- COHEN J.E., *Quante persone possono vivere sulla Terra?*, Il Mulino, Bologna, 1998.
- COPPOLA P., STURLONI G., *Armageddon supermarket*, Sironi, Milano, 2003.
- D'ACQUINO A., *La scienza che verrà*, Adnkronos Libri, Roma, 2003.
- DAVIES P., *Un solo universo o infiniti universi?*, Di Renzo, Roma, 1998.
- DAVIES P., *Gli ultimi tre minuti*, Sansoni, Milano, 1995.
- DAWKINS R., *Il gene egoista*, Mondadori, Milano, 1989.
- DESONIE D., *Catastrofi cosmiche*, Mondadori, Milano, 1997.
- DIAMOND J., *Armi, acciaio e malattie*, Einaudi, Torino, 1998.
- DIAMOND J., *Collapse. How Societies Choose to Follow or Succeed*, Viking Adult, New York, 2004.

- DREXLER K.E., CHRIS P., GAYLE P., *Unbounding the Future*, Morrow, New York, 1992.
- DREXLER K.E., *Engines of Creation*, Anchor Books, New York, 1986.
- DYSON F., *Mondi possibili*, McGraw-Hill, Milano, 1998.
- DYSON F., *L'importanza di essere imprevedibile*, Di Renzo, Roma, 1998.
- DYSON F., *Infinito in ogni direzione*, Rizzoli, Milano, 1989.
- EHRlich P.R., EHRlich A.H., *Per salvare il pianeta*, Muzzio, Padova, 1992.
- EHRlich P.R., EHRlich A.H., *Un pianeta non basta*, Muzzio, Padova, 1991.
- EWALD P.W., *Evolution of Infectious Disease*, Oxford University Press, New York, 1994.
- FRACASSI C., *Bugie di guerra*, Mursia, Milano, 2003.
- FRACASSI C., *Sotto la notizia niente*, Libera Informazione Editrice, Roma, 1994.
- FRONTE M., GRECO P., *Figli del genoma*, Avverbi, Roma, 2003.
- FUKUYAMA F., *Our Posthuman Future*, Farrar, Strauss & Giroux, New York, 2003.
- GEHRELS T. (a cura di), *Hazards Due to Comets and Asteroids*, Arizona University Press, 1995.
- GIDDENS A., *Il mondo che cambia*, Il Mulino, Bologna, 2000.
- GOTT J.R., *Viaggiare nel tempo*, Mondadori, Milano, 2002.
- GRAHAM A., *Nuclear Terrorism*, Times Books, New York, 2004.
- GRECO P. (a cura di), *Bioterrorismo*, Editori Riuniti, Roma, 2001.
- GRECO P., *Evoluzioni*, Cuen, Napoli, 1999.
- HALL J.S., *Nanofuture*, Prometheus Books, New York, 2005.
- HALL N. (a cura di), *Caos*, Muzzio, Padova, 1992.
- HARRIS J., *Wonderwoman e Superman*, Baldini&Castoldi, Milano, 1994.
- HAWKING S., *Buchi neri e universi neonati*, Rizzoli, Milano, 1993.
- HELD D., MCGREW A., *Globalismo e antiglobalismo*, il Mulino, Bologna, 2001.
- HUNTINGTON S.P., *Lo scontro delle civiltà*, Garzanti, Milano 1997.
- ISLAM J.N., *Il destino ultimo dell'universo*, Zanichelli, Bologna, 1988.

- JEAN C., *Guerra, strategia e sicurezza*, Laterza, Bari, 2001.
- JEAN C., *Geopolitica*, Laterza, Bari, 1995.
- LASZLO E., *Terzo millennio: la sfida e la visione*, Corbaccio, Milano, 1998.
- LASZLO E., *Il pericolo e l'opportunità*, Sperling & Kupfer, Milano, 1992.
- LASZLO E., *Evoluzione*, Feltrinelli, Milano, 1986.
- LATOUCHE S., *L'occidentalizzazione del mondo*, Boringhieri, Torino 1992.
- LELLOUCHE P., *Il nuovo mondo*, il Mulino, Bologna, 1994.
- LESLIE J., *The End of the World*, Routledge, New York, 1996.
- LEWIS H.W., *Il rischio tecnologico*, Sperling & Kupfer, Milano, 1995.
- LONGO G.O., *Il simbiote*, Meltemi, Roma, 2003.
- LONGO G.O., *Homo technologicus*, Meltemi, Roma, 2001.
- KEGLEY C.W., RAYMOND G.A., *The global future*, Wadsworth Publishing, Belmont, 2004.
- KENNEDY P., *Verso il XXI secolo*, Garzanti, Milano, 1993.
- KEVIN D., *Il codice della vita*, Mondadori, Milano, 2002.
- KURZWEIL R., *The Age of Spiritual Machines*, Penguin Books, New York, 2000.
- MAFFEI P., *L'universo nel tempo*, Mondadori, Milano, 1982.
- MARCHESINI R., *Post-Human*, Boringhieri, Torino, 2002.
- MARCHESINI R., *La fabbrica delle chimere*, Boringhieri, Torino, 1999.
- MARGULIS L., SAGAN D., *Microcosmo*, Mondadori, Milano, 1989.
- MARTINIELLO M., *Le società multiethniche*, Il Mulino, Bologna, 2000.
- MASTNY L. (a cura di), *Vital Signs 2005*, Norton, New York, 2005.
- MASULLO A., *Il pianeta di tutti*, E.M.I., Bologna, 1998.
- MAYR E., *Il modello biologico*, McGraw-Hill, Milano, 1998.
- MCGUIRE B., *Guida alla fine del mondo*, Cortina, Milano, 2003.
- MELDOLESI A., *Organismi geneticamente modificati*, Einaudi, Torino, 2001.
- MENICHELLA M., *Viaggi interstellari*, Cuen, Napoli, 1999.
- MENICHELLA M., *A caccia di E.T.*, Avverbi, Roma, 2002.
- MILLER J., ENGELBERG S., BROAD W., *Germi*, Longanesi, Milano, 2002.
- MORPURGO G., *L'inizio della fine*, Sellerio, Palermo, 1999.

- MORPURGO G., *Capire l'evoluzione*, Boringhieri, Torino, 1975.
- MORSE S.S. (ed.), *Emerging Viruses*, Oxford Univ. Press, New York, 1993.
- MULHALL D., *Our Molecular Future*, Prometheus, New York, 2002.
- MYERS N., SIMON J., *Allarmismo e ottimismo*, Muzzio, Padova, 1995.
- MYERS N. (a cura di), *Il nuovo atlante di Gaia*, Zanichelli, Bologna, 1994.
- NANNI F., D'ASARO A., GRECO G., *Sopravvivere al G8*, Editori Riuniti, Roma, 2001.
- NEWTN E., *Breve storia del futuro*, Salani, Milano, 2000.
- OLIVERIO A., *Dove ci porta la scienza*, Laterza, Bari, 2003.
- PIEVANI T., *Homo sapiens e altre catastrofi*, Meltemi, Roma, 2002.
- PINNA L., *Cinque ipotesi sulla fine del mondo*, Mondadori, Milano, 1994.
- POSNER R.A., *Catastrophe: Risk and Response*, Oxford Univ. Press, 2004.
- PRANTZOS N., *Voyages dans le futur*, Editions du Seuil, Parigi, 1998.
- PRIMICERIO M. (a cura di), *Controllo o disordine*, FrancoAngeli, Milano, 1995.
- RAMONET I., *Geopolitica del caos*, Asterios, Trieste, 1998.
- RAMONET I., *La tirannia della comunicazione*, Asterios, Trieste, 1999.
- RAMUSINO P. C. (a cura di), *Cinquant'anni dopo Hiroshima*, OA, Roma, 1995.
- RAUP D.M., *L'estinzione*, Einaudi, Torino, 1994.
- REES M., *Il secolo finale*, Mondadori, Milano, 2004.
- REES M., *Prima dell'inizio*, Cortina, Milano, 1998.
- REGIS E., *Virus zona zero*, Sperling & Kupfer, Milano, 1997.
- REICHHOLF J.H., *L'impulso creativo*, Garzanti, Milano, 1995.
- RENNER M., *State of the War*, Edizioni Ambiente, Milano, 1999.
- RICCOBONO N., *2028. Il pericolo viene dal cielo*, Piemme, Casale Monferrato, 2001.
- RIDLEY M., *Il futuro delle malattie*, Garzanti, Milano, 1999.
- RIFKIN J., *Economia all'idrogeno*, Mondadori, Milano, 2002.
- RIFKIN J., *Il secolo biotech*, Baldini & Castoldi, Milano, 1998.
- ROBERTS P., *The End of Oil*, Mariner Books, Boston, 2005.

- ROSSI N., TIEZZI E., *Il problema demografico*, Giunti, Firenze, 1991.
- ROSSO R., *Effetto serra: Istruzioni per l'uso*, Progetto Leonardo, Bologna, 1994.
- RUSSELL P., *Il risveglio della mente globale*, Apogeo, Milano, 2000.
- SAMIR A., *Il virus liberale*, Asterios, Trieste, 2004.
- SCHRAM M., *Avoiding Armageddon*, Gardners Books, Londra, 2003.
- SCHWARTZ P., *The Art of the Long View*, Currency, New York, 1996.
- SEIFE M., *Alpha & Omega: The Search for the Beginning and End of the Universe*, Penguin Books, New York, 2004.
- SHEUER M., *L'arroganza dell'impero*, Tropea, Milano, 2005.
- SIEGEL M., *False Alarm*, Wiley, New York, 2005.
- SPYBEY T., *Globalizzazione e società mondiale*, Asterios, Trieste, 1997.
- STOCK G., *Riprogettare gli esseri umani*, Orme Editori, Milano, 2005.
- TAMAMES R., *Un nuovo ordine mondiale*, Muzzio, Padova, 1992.
- TAUBE M., *Evolution of Matter and Energy*, Springer-Verlag, Berlino, 1981.
- TIPLER F.J., *La fisica dell'immortalità*, Mondadori, Milano, 1995.
- VACCA R., *Medioevo prossimo venturo*, Mondadori, Milano, 1971.
- VACCA R., *La politica è un'altra cosa: questa*, Bompiani, Milano, 1995.
- VERGANI C., *La nuova longevità*, Mondadori, Milano, 1997.
- VINGE V., *The Coming Technological Singularity*, Whole Earth Review, San Rafael, 1993.
- VISCONTI G., *L'atmosfera*, Garzanti, Milano, 1989.
- VULPIANI A., *Determinismo e caos*, Carocci, Roma, 1994.
- WILLIS J., WILLIS B., *Armageddon Now: The End of the World from A to Z*, Visible Ink Press, Canton, 2005.
- ZICHICHI A., *Scienza ed emergenze planetarie*, Rizzoli, Milano, 1993.

INDICE DEI NOMI

A

- Antinori, Severino, 215
 Asahara, Shoko, 72
 Asimov, Isaac, 88, 198, 226, 325, 360, 362

B

- Barrow, John, 272
 Bay, Michael, 89
 Bethe, Hans, 94
 Bin Laden, 28, 71, 303, 370
 Blair, Tony, 385
 Bobbio, Norberto, 164
 Broderick, Damien, 199
 Buller, Mark, 360
 Bush, George, 63, 90

C

- Cameron, James, 226
 Câpek, Karel, 226
 Carusi, Andrea, 356
 Casarini, Luca, 175
 Castro, Fidel, 357
 Clancy, Tom, 129, 363
 Clarke, Arthur C., 198, 329
 Coleman, Sidney, 355
 Colombo, Cristoforo, 379
 Cortés, Hernando, 109
 Crichton, Michael, 121, 226, 361, 375
 Crick, Francis, 210

D

- D'Amore, Giuseppe, 209
 Dawkins, Richard, 277
 Deevey, Edward, 40
 Drake, Frank, 134
 Drexler, K. Eric, 122-123

E

- Egan, Greg, 199
 Ehrlich, Paul, 153, 366
 Einstein, Albert, 164, 383
 Eliot, Thomas S., 35
 Emmerich, Roland, 363
 Ericson, Leif, 240, 379
 Ewald, Paul, 341

F

- Falk, Richard, 164
 Fantoni, Stefano, 368
 Fasulo, Luigi, 71
 Feldman, Marcus W., 349
 Fenner, Frank, 106
 Fermi, Enrico, 94
 Feynman, Richard, 122, 231
 Fleming, Alexander, 58
 Floreano, Dario, 361
 Flynn, James, 208
 Fracassi, Claudio, 370
 Fukuyama, Francis, 183

G

Galton, Francis, 209
 Gates, Bill, 178
 Giddens, Anthony, 288
 Golini, Antonio, 150
 Gott, J. Richard, 273, 279, 282, 284
 Gould, Stephen J., 277
 Grant, Michael, 303
 Greco, Pietro, 278
 Guth, Alan, 270

H

Hawking, Stephen, 268
 Head, Thomas, 232
 Heinlein, Robert R., 198
 Heisenberg, Werner, 383
 Herbert, Frank, 144
 Hitler, Adolf, 28
 Holdren, John P., 153, 366
 Huntington, Samuel, 183, 299
 Hussein, Saddam, 63

J

Jackson, Ron, 114

K

Kaczynski, Theodore, 71-72
 Kant, Immanuel, 163
 Kardashev, Nikolai, 242
 Kelly, David, 385
 Kennedy, John F., 356
 Klein, Naomi, 175
 Kruscev, Nikita, 356
 Kubrick, Stanley, 118-119

L

Lang, Fritz, 226, 372
 Lederberg, Joshua, 144
 Lem, Stanislaw, 198
 Lenat, Douglas B., 229

Leslie, John, 282, 284
 Lieberman, Bruce, 381
 Linde, Andrei, 273
 Lucas, George, 226

M

MacArthur, Robert, 348
 MacLuhan, Marshall, 172
 Matese, John, 254
 McConaughy, Matthew, 307
 Melott, Adrian, 381
 Menem, Carlos, 369
 Merkle, Ralph C., 123
 Meyer, Nicholas, 98
 Milani, Andrea, 356
 Milankovitch, Milutin, 261
 Montanari, Alessandro, 380
 Moore, Gordon, 228
 Moravec, Hans, 119, 230

N

Nagai, Go, 226
 Nation, Terry, 364
 Newton, Isaac, 32

O

Oppenheimer, Robert, 94
 Orwell, George, 372

P

Pellicci, Pier Giuseppe, 219, 376
 Pera, Stephen K., 366
 Preston, Richard, 115
 Puztai, Arpad, 351
 Putin, Vladimir, 90

R

Ramshaw, Ian, 114, 360

Randall, Doug, 358
 Raup, David, 254
 Rees, Martin, 355
 Reid, Richard, 71
 Russell, Peter, 323

S

Sagan, Carl, 379
 Sargent, Joseph, 117-118
 Schwander, Charles, 366
 Schwartz, Peter, 358
 Scott, Ridley, 235
 Sepkoski, Jack J., 254
 Shannon, Claude, 367
 Smalley, Richard E., 123
 Soros, George, 178
 Spielberg, Steven, 119-120, 226, 375
 Sterling, Bruce, 198

T

Tipler, Frank, 272
 Turner, Ted, 178

V

Venter, Craig, 380
 Verhoeven, Paul, 226
 Vinge, Verner, 197, 199

W

Wachowski, Andy, 372
 Warwick, Kevin, 223
 Watson, James, 210
 Whitmire, Daniel, 254
 Williams, John Allen, 71
 Willis, Bruce, 365
 Wilson, Edward O., 348



Matteo Chinellato

A caccia di meteoriti

40 figg. a colori, pagg. 156, 16,80 €

I libri SciBooks possono essere acquistati in libreria oppure, scontati, richiedendoli direttamente alla casa editrice. Per il catalogo e gli ordini, consulta il sito:

www.scibooks.it