FEDERICO FAGGIN

TECNOLOGIA E SOCIETÀ DEL DUEMILA *

Autorità, colleghi accademici, signore e signori. È per me un grande piacere ed un onore inaugurare il nuovo anno accademico 1999-2000 della nostra illustre Accademia Olimpica. Vi parlerò di un argomento che, alle soglie del Duemila, è di particolare attualità: come si evolveranno tecnologia e società nel prossimo millennio? È un soggetto vastissimo che esaminerò nelle sue linee essenziali in modo da esporvi, nell'arco di un'ora, i punti di vista principali del mio pensiero. Le mie previsioni concerneranno i prossimi quaranta-cinquant'anni – proiezioni per tempi più avanzati sono pressoché impossibili – cominciando con l'evoluzione della scienza e della tecnologia, per concludere con considerazioni generali e personali sull'evoluzione della società.

La tecnologia trainante della trasformazione sociale oggi in atto è costituita dalla telematica. La telematica, combinazione di telecomunicazioni e informatica, ha reso possibile la globalizzazione dell'economia, ed è responsabile per il personal computer, il fax, il telefono cellulare, la posta elettronica, Internet, la televisione digitale, il satellite per le telecomunicazioni e moltissimi altri prodotti e servizi che hanno intessuto una fitta rete di interconnessioni nel nostro pianeta, eliminando la dimensione geografica come fattore limitante nello scambio di informazione.

Tuttavia, benché la telematica sia già una tecnologia matura, siamo ancora agli inizi delle trasformazioni sociali da essa indotte. Al centro della rivoluzione telematica c'è oggi Internet, una rete di computer comunicanti su scala planetaria che permette uno scambio istantaneo di informazione multimediale, a basso costo, tra milioni di individui e numerosi sistemi collegati ad esso. Internet, eliminando la necessità della presenza fisica delle parti che interagiscono in una transazione informatica, coinvolge molti aspetti del rapporto umano, ma soprattutto cambia in maniera fondamentale il rapporto commerciale. Nascono così il "denaro" digitale e il commercio elettronico su grande scala, innovazioni tra le più rivoluzionarie nella storia del commercio.

* Conferenza tenuta il 4 ottobre 1999 nel Teatro Olimpico per l'inaugurazione dell'a.a. 1999-2000.

Dobbiamo tornare al tempo dell'invenzione della moneta, alcuni millenni fa, per trovare un cambiamento altrettanto radicale nel commercio. L'economia digitale, che Internet rende possibile, non solo potrà migliorare il commercio tradizionale, dando al cliente più scelta a costi più bassi, ma renderà anche possibile un gran numero di nuove attività intellettuali e di servizio che cambieranno le modalità di lavoro dell'umanità. Con Internet cambia radicalmente il sistema distributivo per una vasta gamma di servizi e transazioni commerciali, eliminando i ruoli intermediari a poco valore aggiunto. Inoltre, Internet permette a chiunque di accedere ad un servizio di posta elettronica rapidissimo e a basso costo, e a vaste riserve di informazioni per studio, lavoro e svago.

L'attività e gli investimenti legati a Internet sono oggi enormi, e alcune cifre possono fornire l'idea: in Silicon Valley l'investimento di capitale di ventura per ditte di start up che intendono creare nuovi prodotti e servizi basati su Internet si aggirerà quest'anno sui 5 miliardi di dollari. Il fatturato annuo di Cisco, la ditta leader nel campo dei sistemi di commutazione per Internet, ha raggiunto i 14 miliardi di dollari, ad iniziare da 13 anni fa. La E-Bay, una società Internet che permette la compra-vendita di oggetti di tutti i tipi con un'asta elettronica, conclude giornalmente fino ad un milione di transazioni commerciali tra privati. Quattro sistemi satellitari a bassa orbita, con copertura planetaria e dedicati in gran parte al traffico Internet, sono oggi in varie fasi di studio e di allestimento. Più di 200 satelliti saranno lanciati nei prossimi cinque anni, con una previsione di investimento complessivo che si aggira sui 20 miliardi di dollari. Il numero di utenti Internet nel mondo è di circa duecento milioni. Si prevede che tale numero supererà i 500 milioni in meno di tre anni. Tra 50 anni si prevede che potranno esserci più utenti Internet di quanti oggi siano gli utenti telefonici. Alcuni milioni di lavoratori sono già collegati ininterrottamente ad Internet l'intera giornata, per ragioni di lavoro.

Una volta completato e perfezionato, Internet offrirà una infrastruttura per il movimento di informazioni multimediali paragonabile, per finalità e valore, al sistema viario di comunicazione oggi esistente per il movimento fisico di uomini e merci. È verosimile che ogni attività umana sarà influenzata direttamente o indirettamente da questo incredibile sistema telematico.

Vorrei a questo punto fare alcuni esempi di servizi Internet per darvi un'idea di ciò che sarà possibile fare con il loro completamento, perfezionamento e diffusione capillare. Supponiamo che io voglia pianificare un viaggio di vacanza. Con Internet posso trovare facilmente delle offerte speciali per biglietti aerei e acquistare il biglietto elettronicamente seduta stante; posso anche avere una lista degli alberghi del

posto, nella gamma di prezzi di mio interesse, e, dopo aver preso visione delle stanze disponibili, posso farne la prenotazione elettronica. Posso scegliere e prenotare un'auto a noleggio, vedere immagini dei luoghi di vacanza, ottenere il calendario e filmati delle attività locali pianificate durante il periodo previsto di soggiorno, e così via. Internet è attivo per 24 ore al giorno, per l'intera settimana, ed è paziente e cortese con tutti. Il risultato è un sistema che non solo dà al cliente molta più scelta rispetto a quello tradizionale, ma è anche più conveniente, rapido ed economico.

Lo stesso principio è applicato alla compra-vendita di moltissimi altri prodotti che hanno una enorme varietà di titoli, molti dei quali sono di difficile reperimento. Mi riferisco a prodotti come libri, dischi, video, software, eccetera. Per esempio, negli Stati Uniti anche le librerie più fornite offrono in negozio meno del 5% dei libri editi negli ultimi 12 mesi. Con Internet è già possibile trovare qualsiasi libro in commercio, nuovo o usato, sfogliarlo, leggerne le recensioni e acquistarlo a domicilio. Il recente successo di Amazon.com negli Stati Uniti, che supera gli 11 milioni di clienti, testimonia il successo di questo approccio commerciale.

Con Internet si possono anche acquistare elettronicamente generi alimentari e di consumo in un negozio virtuale, usufruendo, a seconda della richiesta, del servizio a domicilio. È anche possibile ascoltare e comperare della musica scaricandola dalla rete, senza la necessità di creare un costoso CD e avere accesso ad una catena di negozi. Questa possibilità esiste anche per l'acquisto di una vasta gamma di altri prodotti artistici, dando così vita ad una rete commerciale, internazionale e virtuale a bassissimo costo. Questo nuovo sistema distributivo darà uno sbocco commerciale a molti autori e artisti che hanno difficoltà a convincere le catene di distribuzione tradizionali a investire e a rischiare su di loro.

Un'altra nuova categoria di applicazioni è offerta dal coordinamento di gruppi di lavoro i cui membri sono spaziati geograficamente – una pratica sempre più prevalente nell'era della globalizzazione. Internet permette ai partecipanti di avere un incontro virtuale multimediale e di discutere efficacemente progetti di comune interesse senza richiedere che le persone debbano spostarsi. Con Internet si può anche fare ricerca di personale specializzato, di consulenti, esperti, ecc. accedendo a siti che gestiscono dei data-base intelligenti, i quali dispongono di liste e qualifiche del personale disponibile.

Potrei continuare per ore a parlarvi della molteplicità di servizi diversi, molti dei quali già esistono, che in questo periodo di sperimentazione e crescita di Internet, diventeranno sempre più efficaci, o spariranno, a seconda della risposta del mercato. Ormai è indiscutibile

che con Internet è iniziato un nuovo processo irreversibile, di enorme scala e portata, che cambierà in maniera fondamentale il mondo del commercio e le forme in cui manipoliamo l'informazione sia a livello dell'individuo come a livello di gruppo.

* * *

Molte delle innovazioni fondamentali che hanno gradualmente trasformato la società durante questo secolo sono avvenute nei 50 anni a cavallo tra il diciannovesimo e il ventesimo secolo: l'automobile, l'aereoplano, il motore elettrico, l'illuminazione elettrica, il telefono, la macchina fotografica, la macchina da scrivere, il calcolatore, il cinema, il fonografo, la radio, i raggi X, eccetera. Durante i 50 anni a cavallo tra il ventesimo e il ventunesimo secolo, abbiamo cominciato e completeremo la trasformazione, in versione digitale, di molti di questi vecchi prodotti. Molti di essi, tra cui il calcolatore, la macchina da scrivere e il fonografo, sono già tutti digitali. Stiamo oggi completando la transizione dal telefono analogico a filo al telefono mobile digitale, dalla posta fisica alla posta elettronica e siamo alle soglie di cambiamenti radicali in molti altri oggetti che hanno sempre fatto parte della nostra vita: la macchina fotografica, il libro, la televisione, l'automobile, tanto per nominarne qualcuno.

Fra cinque-dieci anni la macchina fotografica tipica sarà interamente digitale, e così cambierà radicalmente una industria che è stata parte di noi per oltre cent'anni senza subire alterazioni fondamentali. Il film fotografico finirà per sparire, sostituito da sensori a semiconduttori, i quali sono non solo istantanei, ma potenzialmente più sensibili, e certamente più economici del film. Non ci saranno più brutte fotografie dovute a carenze della macchina fotografica, poiché con la fotografia digitale è possibile vedere esattamente quello che vede il sensore al momento dello scatto e saper quindi come sarà la fotografia finale. Sarà possibile ritoccare le fotografie con facilità per far sparire imperfezioni e impurità come l'occhio arrossato dal flash o un foruncolo impertinente. Non sarà più necessario perdere molto tempo per cercare una fotografia, in quanto esse saranno catalogate automaticamente in un data base che ne permetterà il facile accesso. E così via.

Ma l'aspetto più importante della trasformazione della fotografia in veste digitale – e questo riguarda anche altre trasformazioni in atto – non è soltanto quello di migliorare ciò che si faceva prima, ma soprattutto di creare nuove possibilità espressive, scavalcando le limitazioni, esplicite e implicite, relative al tradizionale concetto di fotografia. Per esempio, avremo foto e video che potranno essere viste e trasmesse immediatamente in qualsiasi parte del mondo, nello stesso

istante in cui sono state fatte. Mentre siamo in vacanza, per esempio, potremo telefonare ad un amico e dire: "guarda che bel posto!", e così dicendo fare una bella panoramica delle montagne circostanti che l'amico vedrà in tempo reale nel suo portatile ad alta risoluzione – una specie di cartolina multimediale istantanea.

Una volta che la foto diventa digitale, il confine tra foto e video si dissolve e nasceranno quindi nuove forme di "cattura del momento" multimediali che includeranno suono e video. Per esempio, la foto di Giovannino da mandare alla nonna diventerà un video di 10 secondi, spedito via Internet, che fa vedere Giovannino che saluta, sorride e dice "ciao nonna".

Un altro esempio, ancora più importante per il suo impatto sociale della fotografia digitale, sarà la trasformazione del libro tradizionale – rimasto essenzialmente immutato per gli ultimi 550 anni – al libro digitale, multimediale e interattivo. Questa trasformazione è appena agli inizi e ci vorranno da dieci a vent'anni prima di raggiungere la massa critica. Si prevede che fra circa 25 anni più del 50% di tutti i libri venduti nel mondo saranno in forma digitale. Al livello inferiore ci sarà il libro simile a quello tradizionale, ma in versione digitale, dal costo assai più modesto dell'equivalente libro comperato in libreria. Questo testo potrà essere scaricato da Internet pagando elettronicamente una frazione del prezzo di un libro stampato, la quale servirà a coprire i diritti di autore e i servizi di distribuzione e propaganda elettronici. Nel caso di libri molto specializzati sarà possibile invece scaricarli direttamente dal sito Internet dell'autore, pagandogli soltanto i diritti. Ci saranno anche servizi di personalizzazione istantanea del libro. Per esempio sarà possibile avere una guida turistica che contiene soltanto le città che uno intende visitare, la lista dei ristoranti e alberghi nella gamma dei prezzi di interesse, e così via.

All'estremo più alto della sfera dei libri digitali, ci sarà il libro multimediale interattivo, una produzione costosa, simile alla produzione di un film e riservata ad opere di grande diffusione, in modo da rendere il prezzo d'acquisto simile a quello di un CD. Quest'ultimo tipo di libro rivoluzionerà l'educazione dei nostri figli e nipoti, rendendo lo studio di varie discipline più vivo, ricco e interessante. Per esempio, immaginate un libro elettronico come un sottile libro convenzionale, la cui copertina è uno schermo a colori ad altissima risoluzione, con un lettore CD e la capacità di collegarsi direttamente a Internet. Questo è in realtà il lettore universale. Il libro è invece un CD che una volta inserito nel lettore permette di "navigare" il contenuto del libro. Un libro d'arte, per esempio, avrà immagini di sculture di cui chi legge potrà controllare l'orientamento, decidendo i punti di vista, ingrandendone i dettagli, guardandole dall'alto, eccetera. Ci potrà anche es-

sere una narrazione a voce sulla vita dell'autore, con un video che illustra la città natale, ecc. La totalità, naturalmente, a differenza di un documentario classico, è interattiva.

Immaginate un libro di fisica che non solo descrive, ma anche illustra lo svolgimento degli esperimenti allo studioso, che può cambiarne i parametri, ripeterli e constatarne i nuovi risultati. Un libro che offre esercizi gradualmente più difficili, correggendoli, e sulla base del progresso fatto, e tenendo conto di dove lo studente ha sbagliato, suggerisce nuovo materiale da studiare o vecchio materiale da ripetere. Un libro le cui ricche referenze fanno parte del libro stesso e sono direttamente accessibili allo studente che voglia approfondire il soggetto.

Ma anche qui, come avverrà per la fotografia digitale, il libro si trasformerà in qualcosa di nuovo, divenendo soprattutto una guida intelligente alla quasi infinita letteratura Internet pertinente al libro. Il lettore universale sarà il terminale in collegamento diretto con Internet e il libro – cioè, il software caricato su di esso – farà costante riferimento a siti Internet che dispongono di informazioni aggiuntive al contenuto del libro. Questa funzione sarà sempre più importante, poiché la ricerca di informazione specifica su Internet, con l'aumento esponenziale dell'informazione disponibile, diventerà sempre più dispersiva se non sarà ben guidata.

A questo punto vorrei accennare ad un'altra direzione importante che oggi è soltanto agli inizi del suo percorso evolutivo: la combinazione di funzioni di calcolo, memoria, sensori multimediali e telecomunicazioni in un piccolo strumento portatile. Si può facilmente immaginare che partendo da un telefonino che è anche un piccolo computer ed uno strumento di accesso a Internet, si arriverà gradualmente ad un portatile delle dimensioni di un piccolo libro che combinerà le funzioni di telefonino, videotelefono, personal computer, macchina fotografica, audio e videoregistratore, televisore digitale, radio digitale, GPS, accesso Internet, libro digitale, denaro digitale, ecc. Questo auspicabile strumento diventerà diffusissimo e indispensabile per operare nella società del 2050, combinando funzioni locali e personali con l'accesso al vasto mondo di servizi multimediali Internet.

Non posso lasciare l'argomento della telematica senza rilevare che la tecnologia di base che l'ha resa possibile è stata, e continuerà ad essere per molti decenni, la tecnologia dei semiconduttori. Questa tecnologia fondamentale fornirà chip sempre più complessi, più veloci e più economici non solo per i nuovi prodotti telematici, ma anche per tutti gli altri innumerevoli prodotti non telematici che usano la microelettronica. Se la nostra abilità di creare chip sempre più avanzati si rallenta o si arresta, così succederà anche per tutti i prodotti che dipendono dalla microelettronica. Per fortuna siamo ancora lontani dal rag-

giungere i limiti fisici fondamentali imposti dalla natura quantica della materia. Infatti, ci vorranno 40-50 anni prima di esaurire le possibilità di miniaturizzazione insite nella tecnologia attuale.

Il chip più complesso che possiamo oggi costruire ha circa 25 milioni di transistori. L'equivalente chip dell'anno 2050 avrà da 10.000 a 100.000 miliardi di transistori, in un cubetto di silicio di pochi centimetri cubici. Si potrà così portare tranquillamente con sé tutta l'informazione contenuta in un milione di libri tradizionali, figure a colori incluse. Fra dieci-vent'anni, man mano che ci avvicineremo ai limiti fisici dei transistori MOS – le cui dimensioni critiche limite sono previste attorno ai 10 nanometri, dieci milionesimi di millimetro – cominceremo a costruire chips con più di uno strato attivo, aumentando gradualmente il numero degli strati fino ad arrivare a qualche migliaio, fra 50 anni.

Man mano che le dimensioni dei transistori diminuiranno e il livello di integrazione aumenterà, i transistori diventeranno velocissimi, pertanto i limiti di velocità dei chip del futuro non dipenderanno più dalla velocità dei transistori, ma dalla complessità delle interconnessioni tra di essi e dalla nostra abilità di eliminare il calore generato dalla potenza dissipata nel chip stesso.

Con chip sempre più potenti il computer del futuro continuerà a migliorare con altrettanta accelerazione del passato. Benché questa possibilità sia molto significativa, già si profilano due sviluppi ancora più rivoluzionari: il computer intelligente e riconfigurabile, e il computer quantico. Il primo, avvalendosi delle nuove conoscenze sul funzionamento del cervello, potrebbe essere in grado di imparare da solo. Tale computer sarà molto probabilmente costruito usando dei chip riconfigurabili, cioè chip contenenti un vasto numero di porte logiche le cui interconnessioni sono elettricamente programmabili. L'abilità di riconfigurare l'hardware in tempo reale renderà possibile non solo l'ottimizzazione dell'architettura del computer in rapporto alla particolare applicazione richiesta, ma anche la creazione del substrato ideale per l'apprendimento automatico, e la riparazione automatica di guasti che si manifestassero nel computer una volta istallato.

Il computer quantico è ancora più rivoluzionario del computer intelligente e si baserà sugli strani e tuttora incomprensibili principi della meccanica quantistica. La meccanica quantistica ci insegna, per esempio, che un elettrone è contemporaneamente sia una particella come un'onda e che l'azione istantanea a distanza, non contemplata dalla fisica classica, esiste per certe situazioni in cui gli stati quantici sono correlati. È già dimostrato che è possibile creare un computer che opera su "qubits", bit di informazione che sono simultaneamente sia uno che zero – un paradosso nella logica tradizionale. Durante le ope-

razioni di calcolo non è possibile sapere nulla di ciò che avviene all'interno del computer quantico, soltanto quando il calcolo è finito i qubits si trasformano in bit convenzionali e possiamo accedere all'informazione. È una specie di trucco magico, possibile soltanto usando porte logiche quantiche. Se saremo in grado di realizzare il computer quantico, potremo accelerare di molti ordini di grandezza la capacità di calcolo del computer classico, rendendo possibile la soluzione di problemi insolvibili.

Il computer quantico richiederà una tecnologia completamente nuova, basata interamente sulle proprietà ondulatorie di particelle elementary, atomi e molecole. È verosimile che questa applicazione possa fornire la motivazione per lo sviluppo di una tecnologia alternativa ai semiconduttori, prima che questi arrivino alla fine della loro evoluzione naturale, continuando così lo stesso progresso accelerato a cui siamo ormai abituati, anche dopo il 2050.

Ma la telematica è solo una delle direttrici fondamentali dell'attuale progresso tecnologico. Ne esistono altre che con il tempo avranno un impatto sociale ancora più strabiliante. L'esempio più importante sono le scienze biologiche e le biotecnologie, che stanno avanzando a passi da gigante, e che avranno enormi conseguenze e nella durata e nella qualità della vita umana. Grazie al rapido progresso delle biotecnologie, molti farmaci bio-ingegnerizzati sono già disponibili commercialmente, la clonazione di mammiferi è stata dimostrata e il genoma umano sarà completamente decodificato in pochi anni. L'uomo ha acquisito sufficienti conoscenze per poter manipolare il suo stesso patrimonio genetico. L'evoluzione umana non sarà più limitata al lento processo darwiniano di variazione e selezione naturale, ma potrà essere controllata artificialmente.

Mentre la telematica altera soprattutto il rapporto dell'uomo con i suoi simili e con il mondo esterno dell'informazione, le biotecnologie potranno alterare l'uomo dall'interno. Il potenziale trasformativo delle biotecnologie è quindi molto più serio e preoccupante di quello della telematica. Pertanto nei prossimi 50 anni si dovrà affrontare e risolvere in maniera soddisfacente il problema di modellare, penetrare e gestire le conseguenze dirette e indirette delle nostre azioni sui nostri simili e sull'ambiente. Il delicato equilibrio tra scienza, tecnologia ed etica, per esempio, dovrà non solo essere esplorato, ma risolto concretamente per evitare il pericolo di prendere strade irreversibili e distruttive per l'umanità.

Ma c'è di più, poiché il potenziale trasformativo intrinseco delle varie tecnologie, considerate separatamente, può essere ulteriormente amplificato dalla loro combinazione e fusione in nuove discipline. La conseguente sinergia potrebbe essere enorme. La telematica – conver-

genza di telecomunicazioni e informatica – è un esempio che ho già ampiamente illustrato. La convergenza della telematica con le biotecnologie potrebbe portare ad uno sviluppo ancora più rivoluzionario che fra breve potrebbe avere applicazioni straordinarie in tutti i campi, soprattutto in medicina, farmacologia, informatica e robotica intelligente. Oggi non sappiamo ancora come creare macchine autonome e intelligenti; per esempio, un'automobile in grado di guidarsi da sola nel caotico traffico cittadino. Il cervello permane l'unico esempio esistente di una macchina intelligente e autonoma, il cui funzionamento è ancora essenzialmente un mistero. In particolare non sappiamo nulla di come emergano le nostre facoltà superiori come la creatività, l'intuizione e la consapevolezza. Quest'area di ricerca riceverà notevole impulso e mi aspetto enorme progresso nel prossimo secolo, con possibili ricadute importanti in molti campi che vanno dalla salute mentale alla robotica intelligente.

Con le biotecnologie sarà anche possibile creare nuove specie vegetali e animali con caratteristiche ottimizzate all'uso particolare a cui sono destinate. Saranno possibili farmaci personalizzati che potranno agire in maniera molto più selettiva ed efficace di quelli esistenti, sia per affrontare malattie come per migliorare certe caratteristiche biofisiche e temperamentali individuali; per esempio, per aumentare la capacità di memoria, l'intelligenza matematica e i riflessi, o per modificare certi tratti del carattere. Micromacchine saranno in grado di gestire l'erogazione di farmaci esattamente dove sono richiesti, e protesi bioelettroniche raggiungeranno un alto livello di perfezionamento. Esiste anche la possibilità di riuscire a creare macchine intelligenti basate su strutture molecolari che possono essere specificate da molecole di DNA e quindi realizzare macchine che sono riproducibili biologicamente, rivoluzionando così le fabbriche del futuro. Da questa tecnologia potrebbe anche emergere una nuova microelettronica basata sulle proprietà quantiche di molecole organiche, anziché utilizzare le proprietà fisiche del silicio che sono attualmente applicate. È molto probabile che le nuove biotecnologie si sostituiranno gradualmente alla microelettronica come tecnologia base del progresso tecnologico e sociale nella seconda metà del prossimo secolo.

Con lo sviluppo di sistemi autonomi intelligenti sarà possibile creare macchine di altissime prestazioni e sicurezza che si guideranno da sole, aprendo così la strada a nuove possibilità di veicoli terrestri, aerei, navali e misti. L'esistenza di piloti automatici sicurissimi, che si appoggiano a complessi sistemi di supporto esterno, rimuoverà uno degli ostacoli più pesanti alla diffusione di aerei personali nel trasporto privato. In California, per esempio, è già allo studio un veicolo simile ad una auto a quattro posti, ma che è in realtà un aereo a decollo verticale

con 4 turbofan a motore Wankel. Questa combinazione aereo-auto senza ali potrà muoversi alla velocità massima di 600 km all'ora con costi d'esercizio ragionevoli. Però, soltanto con una guida completamente automatica sarà possibile avere una grande diffusione di questo tipo di macchine, che altrimenti solo poche persone sarebbero qualificate a pilotare. La motivazione di questa ricerca ci viene soprattutto dalla speranza di riuscire a creare autostrade virtuali a molti livelli, eliminando la congestione del traffico, uno dei problemi più gravi del nostro tempo.

Nel quadro dei prossimi 50 anni non va esclusa l'importante ipotesi di scoperte oggi impreviste o imprevedibili, poiché è spesso questo genere di scoperte a causare svolte importanti e inattese al cammino umano, dimostrando così l'essenziale incontrollabilità del futuro. Scoperte impreviste sono quelle che nessuno può anticipare perché succedono per caso; per esempio, si comincia con un esperimento che non riesce e nel tentativo di capire il risultato anomalo si scopre qualcosa di nuovo. Per scoperte imprevedibili invece, mi riferisco a quelle che sono tuttora oggetto di attiva ricerca scientifica, ma che, date le difficoltà presenti, non è possibile prevedere quando daranno frutti. In questa categoria possiamo mettere, per esempio, il computer quantico, come funziona il cervello, come si spiega la meccanica quantistica, da dove viene la consapevolezza, eccetera.

La scoperta di sorgenti alternative di energia rinnovabile è un altro esempio di scoperta imprevedibile. Malgrado l'enorme sforzo di ricerca in tutto il mondo, la prognosi è ancora riservata. Eppure, se si riuscisse a trovare il modo di abbassare il costo dell'energia di un fattore dieci o più, tutti sono d'accordo che il mondo cambierebbe. Tuttavia, malgrado la chiarezza degli obiettivi, la ricerca nel campo della fusione nucleare controllata dura da oltre 40 anni e non ha ancora dato frutti; e dopo tante promesse mancate, i ricercatori si rifiutano addirittura di fare previsioni. Basterebbe ipotizzare un successo in questo campo di ricerca entro i prossimi 20 anni per cambiare molte delle previsioni per i prossimi 50 anni. Dico fra 50 anni poiché dalla scoperta scientifica alla sua implementazione pratica e grande diffusione – e quindi al suo impatto sociale – occorrono dai 10 ai 40 anni. La durata varia in proporzione diretta all'investimento economico richiesto per la diffusione capillare della nuova scoperta nella società.

La fusione nucleare di idrogeno in elio è tuttavia soltanto una delle possibili strategie per ottenere energia rinnovabile a basso costo, altre potrebbero dare risultati prima ancora della fusione nucleare controllata. Per esempio, oggi sappiamo che il vuoto quantico è in realtà un plenum di energia praticamente inesauribile, quella che i fisici chiamano zero-point energy – un'altra stranezza incomprensibile della mecca-

nica quantistica. Esistono già alcuni centri di ricerca nel mondo che stanno esplorando i possibili metodi di estrazione di energia dal vuoto quantico – creare energia letteralmente dal nulla. È quasi certo che se continueremo vigorosamente a perseguire la ricerca di nuove sorgenti di energia primaria, prima o poi riusciremo a scoprire migliori alternative al non-rinnovabile petrolio. Oggi però è impossibile dire quando arriveremo al traguardo.

Infine, prima di lasciare l'argomento del progresso scientifico e tecnologico, vorrei fare un accenno alla ricerca e all'esplorazione spaziale. Il rapido aumento dei costi relativi a questa ricerca ha progressivamente limitato il numero di esperimenti e missioni possibili e indotto ad una cooperazione internazionale, facilitando così l'apertura dello spazio a tutta l'umanità. Durante la prima metà del ventunesimo secolo è probabile che costruiremo una stazione spaziale permanente sulla luna, che ospiterà ricercatori da tutto il mondo. Prevedo anche che avremo mezzi per il trasporto orbitale e sub-orbitale molto più economici di quelli disponibili oggi, ed esisterà una industria spaziale privata molto attiva e importante. È anche probabile che l'uomo approderà su Marte e darà inizio alla sua esplorazione sistematica. Nonostante tutto, io penso che i prossimi 50 anni saranno più di preparazione che di ricca esplorazione spaziale. Esistono ancora gravi problemi da risolvere nel nostro pianeta prima di inebriarci del volo su altri mondi.

* * *

A questo punto mi sembra opportuno fare alcune considerazioni sull'impatto della tecnologia sulla società umana. Siamo nel bel mezzo di molte trasformazioni fondamentali dovute, direttamente o indirettamente, alla tecnologia moderna. La più importante di tutte è probabilmente la globalizzazione dell'economia. Questo fenomeno, iniziato nel dopoguerra, continuerà la sua espansione nel prossimo secolo, coinvolgendo gradualmente tutte le nazioni del mondo in una economia integrata su scala planetaria. Grazie alla globalizzazione, il processo di trasformazione dei paesi in via di sviluppo accelererà, creando economie locali autosufficienti e allineando culturalmente tali paesi a quelli più avanzati. La lingua inglese è ormai diventata la lingua franca dell'economia globale e la mobilità professionale aumenterà moltissimo, dando anche ai giovani dei paesi meno avanzati – purché ben preparati e volonterosi – nuove opportunità di lavoro in un'economia integrata.

Le nazioni più progredite sono grandi esportatrici di lavoro. Per esempio, per ogni nuovo posto di lavoro che si crea in Silicon Valley, altri dieci ne vengono indotti nel resto del mondo. Molte nazioni stanno finalmente capendo l'enorme potere economico e trasformativo

racchiuso nella figura dell'imprenditore e adotteranno meccanismi (come l'uso di capitale di ventura), per incentivare e favorire la sua attività, ottenendo grandi benefici economici per tutti. Si è finalmente capito che la creazione di ricchezza attraverso il libero e legittimo esercizio della creatività e delle energie individuali, lungi dal togliere agli altri, genera invece una ricaduta economica vantaggiosa per tutti.

La valorizzazione delle capacità creative e fattive dell'uomo è un fenomeno in ascesa in tutto il mondo. L'uomo più ricco del mondo non possiede pozzi di petrolio o flotte di navi o altri beni fisici, ma il 20% circa di una ditta di software che crea prodotti essenzialmente immateriali. I miliardari di Silicon Valley sono quasi tutti dei giovani che, partendo da zero, hanno fatto leva sulle loro capacità inventive e imprenditoriali per creare nuova proprietà intellettuale. La Cisco, per fare un esempio, ha comperato recentemente, per circa 7 miliardi di dollari, una ditta di telecomunicazioni il cui fatturato, negli ultimi sei mesi, fu soltanto di 10 milioni di dollari. Sono dei pazzi? Non lo credo. Cisco ha pagato quello che ritiene sia il prezzo di alcuni brevetti fondamentali e del know-how relativo a certi aspetti delle telecomunicazioni ottiche, indispensabili per i suoi nuovi prodotti. Così nel futuro la proprietà intellettuale diventerà sempre più importante di quella dei beni materiali, valorizzando aspetti umani che nel passato erano stati sfruttati o addirittura vilipesi.

A partire dalla rivoluzione industriale, l'effetto combinato dell'esplosione demografica e della industrializzazione incontrollata e irresponsabile ha avuto come conseguenza una vasta distruzione del sistema ecologico del pianeta. Una delle priorità indispensabili per la società del Duemila è di trovare il modo di arrestare, prima, e poi di riparare il danno ecologico. Non c'è tempo da perdere: la società umana, nell'interesse della propria sopravvivenza, deve agire subito ed efficacemente o dovrà subire le conseguenze disastrose di una ecologia ferita. Sarà la tecnologia, usata con saggezza, che darà all'uomo il potere di risanare le ferite inferte all'ecosistema; e non esiste responsabilità più importante per la società nell'attuale frangente storico.

Ma come sarà possibile trasformare la società d'oggi, da società autodistruttiva a società illuminata che vive in armonia con l'ambiente? A mio avviso, il punto di partenza è quello di educare la gente. Solo sconfiggendo l'ignoranza sarà possibile arrestare il processo autodistruttivo, senza compromettere la libertà individuale. Occorre però trasformare e affinare l'istruzione. La scuola tradizionale educa soprattutto l'intelletto, impartendo nozioni ed insegnando a ragionare e a risolvere problemi astratti. Troppo spesso, invece, non è stata toccata la sfera dei valori, delle emozioni, delle motivazioni, delle intenzioni e dei pregiudizi.

È sempre stato compito dei genitori educare i figli a diventare persone responsabili ed emotivamente adulte, ma tale compito è stato generalmente male adempiuto nella nostra società, per il semplice fatto che spesso i genitori stessi non hanno ricevuto un'educazione adeguata, e quindi a loro volta non sono in grado di educare correttamente i propri figli. Si perpetua così un circolo vizioso con le inevitabili conseguenze negative per l'individuo e la società. Secondo me, una delle sfide più importanti del prossimo secolo sarà come spezzare questo ciclo e fermare il processo che mantiene in vita la disonestà, gli odii, la violenza, l'ingordigia, la corruzione e quelle pulsioni che hanno un effetto deleterio sulla società umana, sull'ambiente e sull'individuo stesso, perché bloccano la sua evoluzione personale ad un livello inferiore al suo potenziale.

È qui che la tecnologia potrà essere usata per aiutarci a cambiare il mondo. Se si riuscisse, per esempio, a creare dei sistemi di realtà virtuale che permettessero a ciascuno di conoscersi meglio e di sperimentare le conseguenze delle proprie azioni, potremmo riuscire a cambiare i condizionamenti e i pregiudizi che ci tengono prigionieri. Parlo di un simulatore di vita, simile al simulatore di volo che insegna ai piloti non solo come volare, ma soprattutto come gestire con sicurezza situazioni pericolose che potrebbero essere fatali senza adeguata preparazione. Per dare un'idea di cosa intendo per simulatore di vita, immaginate che una persona sia collegata sensorialmente ad un potente computer che genera in tempo reale stimoli sensoriali in funzione di una particolare situazione di vita, e in risposta alle sue azioni motrici. Immaginate che sia possibile creare uno spazio espressivo in cui uno è contemporaneamente attore e spettatore di un film interattivo, tridimensionale. L'idea è di creare un coinvolgimento tale da dare l'illusione di vivere veramente la scena. È un progetto che per essere ben realizzato richiederà una tecnologia molto più avanzata di quella che possediamo, nonché un grosso team di esperti in molte discipline, per sviluppare il software educativo. Però penso che ciò sarà possibile fra 40-50 anni.

Questi simulatori potranno farci da specchio per riflettere le nostre mire e motivazioni segrete, aiutandoci a diventare consapevoli di come le nostre azioni scaturiscano da una catena di intenzioni, valori, pregiudizi, pensieri e sentimenti in gran parte automatici e inconsci. Con il simulatore di vita potremo "vivere" svariate situazioni con un coinvolgimento fisico, emotivo e intellettuale simile a quello della vita reale. Sarebbe possibile rivivere più volte, senza correre rischi, una stessa situazione difficile, cambiando approccio e sperimentando come può mutare il risultato se cambia il nostro atteggiamento. Potremo anche invertire i ruoli e sperimentare ciò che si prova ad essere la vittima delle nostre azioni. Integrando l'educazione dell'intelletto con quella

dei valori, delle motivazioni e delle emozioni, dovrebbe essere possibile insegnare abitudini di pensiero e di azione molto più sane, sviluppando potenzialità umane non toccate, se non addirittura compromesse, dai sistemi educativi tradizionali.

Oggi, nelle nazioni più avanzate, molte persone stanno scoprendo che il benessere economico non basta; che esso è solo una condizione necessaria, ma non sufficiente, per vivere bene, in armonia con se stessi, con i propri simili e con l'ambiente. Inoltre, si comincia a capire che se tutto ciò che vogliamo è ottenere una quantità sempre maggiore di informazione, sempre più velocemente, dovunque ci troviamo, in una specie di frenesia compulsiva, la vita diventa un tapis-roulant insensato, che ci travolge nella sua accelerazione. È una crisi di significato da cui sta emergendo un rinnovato interesse per le cose dello spirito, dopo un periodo informato soprattutto dal materialismo scientifico.

Il bisogno spirituale dell'uomo risponde ad un profondo istinto che lo spinge da sempre a cercare di capire il proprio destino nel contesto cosmico. È il bisogno che sentiamo tutti di significato: di capire il senso della nostra vita individuale, con le sue difficoltà, sofferenze, successi, nonché di captare il profondo significato dell'avventura umana. Mi auguro che da questo rinnovato interesse spirituale emerga una organizzazione senza leader, senza manifesti, senza bilanci e senza un corpo direttivo e amministrativo, una organizzazione virtuale e silenziosa, i cui membri condividono il bisogno, vissuto profondamente nel loro intimo, di contribuire a risolvere i problemi che affliggono il pianeta. Creando sia la logica che gli strumenti della trasformazione sociale e dando un esempio di vita, questi individui potrebbero diventare gli attori principali della vera rivoluzione sociale, cambiando finalmente il nostro mondo in un mondo migliore. E potrebbe essere Internet – esso stesso esempio eclatante di auto-organizzazione spontanea basata sulla collaborazione – lo strumento primario di questa organizzazione virtuale, e il crogiolo da cui nascerà la prima cultura planetaria.