

Indice

Introduzione	3
1. I motori della Creazione	7
1.1 Piccoli costruttori crescono	9
1.2 Come Natura crea.....	12
1.3 Quella maledetta poltiglia grigia	15
1.4 Non chiamatelo Asimov	18
2. I motori della Reazione	21
2.1 Troppo “grande” e “appiccicoso”	22
2.2 Macchine molecolari & Co.	26
2.3 Siamo scienziati o visionari?.....	31
2.4 Poltiglia grigia e altri problemi	38
3. Il mito del Grey Goo	45
3.1 La poltiglia grigia nella società del rischio	47
3.2 Sulla scia di Frankenstein.....	50
Conclusioni.....	57
Bibliografia.....	61

Introduzione

C'era una volta un ragazzo. Frequentava la facoltà di fisica e aveva appena registrato l'ultimo esame. Era contento: ormai soltanto la tesi lo separava dalla laurea. Non sarebbe stato male entrare nel mondo della ricerca, fare il dottorato, magari trasferirsi 6 mesi all'estero. Chissà, forse anche di più. Tutti gli dicevano che se voleva diventare un vero ricercatore avrebbe dovuto andarsene dall'Italia. Stati Uniti? Giappone? Certo, se si riuscisse a non andare così lontano da casa ...

Ma il punto adesso era un altro. Che cosa fare? Da quale parte buttarsi? Il ragazzo non aveva le idee chiarissime. Di una cosa però era certo, anzi, di due: gli piaceva parecchio la fisica dei materiali ed era appassionato di elettronica. "Ma allora sei a cavallo!", gli dicevano i suoi compagni di corso. "Adori il silicio? Non vedi l'ora di costruire microscopici ponti di carbonio? Trovati un gruppo di ricerca che si occupa di nanoelettronica e il gioco è fatto... quella roba è il futuro!" Più facile a dirsi che a farsi, pensava il ragazzo.

Però, in effetti, quella roba sembrava davvero rappresentare il futuro. In fondo erano ormai dieci anni che la televisione e i giornali continuavano a parlargli di nanotecnologia. Ma che cos'era questa nanotecnologia? La capacità di manipolare la materia a livello nanometrico. Questa era la risposta che poteva darti un professore di fisica nei corridoi del dipartimento. Ma ci doveva essere sotto sicuramente qualcosa di più profondo.

Chi era, per esempio, il prototipo del nanotecnologo? Il ragazzo non avrebbe saputo rispondere con precisione a questa semplice domanda. Un fisico? Un chimico? Un ingegnere molecolare o forse un biotecnologo? Chi era costui? Un bel "problema" se si sta pensando di imboccare la strada per diventare uno di loro...

Un giorno un amico di suo fratello gli prestò un libricino intitolato *Idee per diventare scienziato dei materiali* [1], dicendogli che molte informazioni pratiche avrebbe potuto trovarle in rete, per esempio sul sito della Comunità europea. Ma certo, Internet. In effetti, digitando la parola nanotechnology su Google, il motore di ricerca trovava circa 12 milioni di pagine in qualche frazione di secondo. Incredibile, pensò il ragazzo. Medicina, elettronica, biologia, energia, ambiente: c'era veramente di tutto. E quanti i dispacci delle agenzie governative provenienti da mezzo mondo, quanti i report ufficiali di questa o quell'altra commissione di sorveglianza, di sviluppo o ricerca. Dopo appena mezz'ora di ricerche al ragazzo girava la testa e la confusione, invece di diminuire, era aumentata. Aveva bisogno di qualcosa di semplice, schematico e riassuntivo.

Forse la brochure informativa della Commissione europea intitolata *La nanotecnologia. Innovazione per il mondo di domani* [2] poteva fare al caso suo. Almeno così gli sembrò

scorrendo l'indice con gli occhi: si iniziava con un accattivante *Viaggio nel nanocosmo*, si proseguiva con *Strumenti e processi*, sicuramente qualcosa di più tecnico, e ci si avviava verso la conclusione con *La nanotecnologia al servizio della società* e i *Progetti visionari*. Dulcis in fundo, l'opuscolo terminava con le *Opportunità e i rischi*. Completo, pensò il ragazzo. E soprattutto in italiano!

Obiettivo della presente pubblicazione è spiegare cosa siano le nanotecnologie e cosa possano offrire ai cittadini europei. Firmato, Direzione generale della Ricerca, Commissione europea.

La prefazione del documento terminava proprio con queste parole.

Scorrendo nuovamente l'indice, il ragazzo venne catturato da un'immagine che campeggiava sullo sfondo del paragrafo intitolato *Opportunità e rischi*: cos'era quella strana melma grigia che sembrava intrappolare sfere di vetro trasparenti?



Figura 1. Il *Grey Goo*, o “poltiglia grigia”, nel documento ufficiale della Comunità europea.

Incuriosito, il ragazzo saltò direttamente alla pagina 46 del documento, al paragrafo finale *Opportunità e rischi*. Eccolo di nuovo quel disegno, ma stavolta c'era una didascalia:

Visto il problema delle “dita grosse e appiccicose”, lo scenario della “poltiglia grigia” di Eric Drexler è improbabile quanto l'idea che la tecnologia rischi di trasformare il mondo in orsetti di gelatina.

“Ma di cosa stanno parlando?”, si domandò il ragazzo abbastanza colpito da quella bizzarra descrizione. Meglio leggere, pensò. Circa a metà pagina, di fianco al disegno, si leggeva così:

[...] visione fosca quella del nanoprofeta americano Eric Drexler, che immagina un mondo minacciato dalla poltiglia grigia (grey goo), una nuvola grigia di nonorobot fuori controllo.

Secondo Eric Drexler sarebbe infatti possibile costruire robot su scala nanometrica, programmabili e capaci di costruire, utilizzando le materie prime disponibili, qualcosa di nuovo e di più grande. E se il processo sfuggisse al controllo dell'uomo, invece di qualcosa di meraviglioso, si formerebbe una poltiglia grigia che potrebbe rivelarsi contagiosa e pericolosa per l'uomo e per le macchine.

Subito dopo però, per smontare dal punto di vista scientifico i rischi ventilati poche righe sopra, gli autori del documento chiamavano in causa Richard Smalley, premio Nobel per la chimica nel 1996.

“Grey Goo, poltiglia grigia...”, il ragazzo si domandava dove avesse già sentito quelle strane parole. Poi gli venne in mente di aver sfogliato un libro di suo padre che si intitolava *Biblioetica. Dizionario per l'uso* [3]. Si trattava di un vero e proprio dizionario costituito da una quarantina di voci sulle quali si fondava il dibattito scientifico intorno a tematiche di rilevanza bioetica. Il ragazzo corse subito a recuperare quel testo. Non si sbagliava: la pagina 127 rispondeva alla voce Grey Goo, ed era stata scritta da Sylvie Coyaud. La giornalista scientifica francese iniziava così:

Alla lettera “viscidume grigio”: insieme di microscopiche macchine capaci di assemblarsi e di replicarsi per conseguire fini malevoli. È la faccia sporca della nanotecnologia, altro termine coniato da Eric Drexler, ingegnere molecolare del Massachusetts Institute of Technology, nel suo saggio Engines of Creation del 1986.

Poco più avanti la giornalista proseguiva in questa maniera:

[...] La biologia proliferante dei batteri ha suggerito a Drexler congegni che si moltiplicano [nanobot replicanti n.d.a.], divorano tutto quello che incontrano e si congiungono a grumi appiccicosi. A questo punto sono visibili a occhio nudo ma è troppo tardi: stanno diventando un'unica melma, il Grey Goo che conquisterà il pianeta.

Il ragazzo sorrise, pensando a uno di quei film americani tutto muscoli ed effetti speciali, nei quali, di solito, il Presidente degli Stati Uniti salva il mondo un attimo prima dell'happy end.

Di mezzo però c'era ancora questo Eric Drexler. Ma chi era Eric Drexler? Possibile che fosse soltanto uno sprovveduto o un visionario? Ma soprattutto, come avevano fatto le sue idee, che a quanto pare erano considerate dalla comunità scientifica prive di fondamento, a finire nel documento in cui la Comunità europea descrive al pubblico la propria posizione sulle nanotecnologie? A queste domande il ragazzo non sapeva rispondere.

In questo lavoro di tesi si cercherà di dare una risposta alle domande che si pone il nostro giovane amico. Per farlo indagheremo a fondo l'immaginario legato alle nanotecnologie, mostrando la sua sostanziale condivisione da parte di scienziati e grande pubblico.

Per iniziare, tratteremo le tappe principali che hanno portato alla nascita delle nanotecnologie, analizzando in dettaglio *Engines of Creation* [4,5], e cercando di tratteggiare il profilo del suo autore, Eric Drexler. Questi argomenti saranno trattati nel primo capitolo.

Nel secondo capitolo verrà ricostruito il dibattito originatosi all'interno della comunità scientifica dopo la pubblicazione di *Engines of Creation*: come avremo modo di vedere analizzando la letteratura non specialistica e gli interventi dei protagonisti di spicco, le discussioni all'interno della comunità scientifica circa il libro di Drexler si svolgeranno pubblicamente e vivranno sentimenti alterni. In questo capitolo, mostreremo inoltre che gli scenari fantascientifici proposti dallo scienziato americano hanno trovato dei riferimenti in laboratorio, con il linguaggio e le suggestioni usate dai ricercatori che si sono spesso confuse con quelle veicolate per il grande pubblico.

Prima delle conclusioni, ossia nel terzo capitolo, verrà analizzato il contesto storico e culturale nel quale si inseriscono le idee di Drexler. Ci riferiremo in particolar modo al suo Grey Goo, cercando di dimostrare che esso è entrato a far parte della mitologia della modernità, in quanto narrazione del rischio nanotecnologico.

1. I motori della Creazione

Fino a oggi, il 29 dicembre 1959 non è una data rilevante per i libri di storia. Tra alcuni decenni però le cose potrebbero cambiare. In quel giorno di cinquant'anni fa infatti, al meeting annuale del Caltech (California Institute of Technology), Richard Feynman, il geniale fisico statunitense, tenne una conferenza intitolata *There's a plenty of room at the bottom*, che in italiano suona più o meno come *C'è un sacco di spazio laggiù in fondo*.

In quella celebre lezione [6], Feynman descrisse per la prima volta le potenzialità legate alla manipolazione controllata del mondo atomico:

“Quello di cui voglio parlare è il problema di manipolare e controllare le cose su una scala piccolissima. Appena ne parlo, la gente mi ricorda la miniaturizzazione e come questa sia progredita fino a oggi, [...] ma questo è nulla: è il più primitivo stadio iniziale nella direzione che intendo discutere. [...] Considerate la possibilità che anche noi, come la biologia molecolare, siamo in grado di costruire oggetti piccolissimi che facciano quello che vogliamo; allora potremo produrre macchine capaci di manovrare a quel livello. [...] Non ho paura di dire che la questione decisiva sarà se alla fine, in un futuro lontano, saremo capaci di disporre gli atomi nel modo che vogliamo; sì, proprio giù sino agli atomi.”



Figura 2. Richard Feynman nei primi anni Sessanta.

Tra l'incredulità dei presenti Feynman sostenne che un giorno sarebbe stato possibile scrivere l'intera *Enciclopedia Britannica* sulla capocchia di uno spillo e che tutti i libri del mondo avrebbero potuto essere condensati in un minuscolo opuscolo. E questa straordinaria miniaturizzazione sarebbe stata “una semplice riproduzione degli oggetti originali, riportando tutto in scala più piccola senza perdita di risoluzione.”

Nella conferenza Feynman indicò una serie di strade che soltanto in seguito sarebbero state definite nanotecnologia: per esempio produrre computer molto più piccoli e veloci oppure microchirurgi meccanici da mettere in circolo nel corpo umano per riparare tessuti.

L'attribuzione della paternità delle nanotecnologie a Feynman, benché giustificata, è tuttavia abbastanza convenzionale. I favolosi anni Cinquanta, che di lì a qualche giorno sarebbero terminati, avevano visto la nascita della biologia molecolare. Il fiore all'occhiello era stato raccolto soltanto qualche anno prima, nel 1953, anno in cui Watson e Crick avevano presentato sulla rivista *Nature* il primo modello della struttura a doppia elica del Dna.

Questa scoperta aveva fatto da cassa di risonanza, e le prime concrete possibilità di spiare la struttura e i meccanismi della materia vivente avevano suscitato molto entusiasmo. E non soltanto tra i biologi.

Parecchi chimici e fisici insomma avevano contribuito con le loro idee già prima di Feynman alla nascita di questo campo: Irving Langmuir, per esempio, grande chimico statunitense della prima metà del Novecento, aveva realizzato i primi esempi di autoassemblaggio spontaneo di molecole, un aspetto cruciale delle moderne nanotecnologie.

In definitiva, Feynman si "limitò" a un'osservazione semplice ma essenziale: non ci sono ragioni fisiche fondamentali che impediscano all'uomo di far fare cose ad atomi, molecole o loro aggregati ordinati. Una cosa è certa, egli non parlò mai né di nanotecnologie, né di nanoscienze.

Il termine nanotecnologia è stato coniato soltanto nel 1974 da Norio Taniguchi dell'Università di Tokyo. Taniguchi propose di distinguere l'ingegneria su scala micrometrica, o microtecnologia, da un nuovo livello sub-micrometrico che chiamò *nano*-tecnologia. Poi però il termine cadde nell'oblio e l'esistenza di questo campo rimase pressoché sconosciuta. Fino al 1986, l'anno in cui un ricercatore del Massachusetts Institute of Technology, Eric Drexler, scrisse un libro intitolato *Engines of Creation*, i Motori della Creazione.

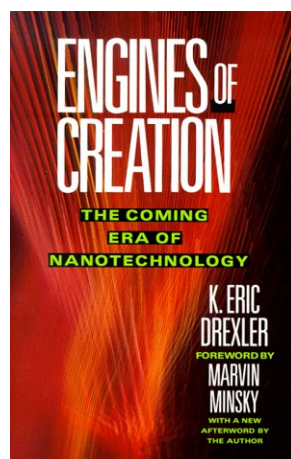


Figura 3. La copertina della prima edizione americana di *Engines of Creation*.

1.1 Piccoli costruttori crescono

Nella prefazione di *Engines of Creation*, Marvin Minsky, professore emerito del Massachusetts Institute of Technology, afferma che l'idea dominante nel libro di Drexler è che “quello che possiamo fare dipende da quello che possiamo costruire.” Si tratta della cosiddetta *Molecular manufacturing*, fabbricazione molecolare.

Il cuore di questa nuova disciplina sono gli assemblatori, “macchine che possono afferrare i singoli atomi e riposizionarli”. Macchine che ovviamente hanno dimensioni nanometriche. Drexler sostiene che “gli assemblatori potranno costruire tutto, legando i giusti atomi ai giusti modelli [5]”. E quando dice tutto, intende davvero qualsiasi cosa. Ecco la prova.

“Immaginiamo che si lasci *crescere* in questo modo un grande razzo in una cisterna di acciaio all'interno di una fabbrica”. Per cominciare la produzione, viene introdotto nella cisterna un liquido con miliardi di assemblatori. Alla base della cisterna si trova un “seme”, così lo chiama Drexler, ossia un nanocomputer che contiene il progetto di costruzione del razzo.

Gli assemblatori vi si agganciano e scaricano il progetto.

Ubbidendo alle indicazioni del seme, una specie di cristallo assemblatore si erge dal caos del liquido [...]. Questo costruisce una struttura che è un po' più regolare e complessa del cristallo naturale. Nel corso di alcune ore, l'impalcatura assume, grazie al lavoro degli assemblatori, una forma sempre più vicina a quella finale [5].

Nel passaggio successivo, gli assemblatori in soprannumero vengono pompati via e viene apportata una nuova soluzione con legami di alluminio e ossigeno. È il materiale da costruzione. La rete degli assemblatori rimanenti si mette ora a definire la forma del razzo con atomi e molecole prelevate dalla soluzione che, durante il processo, funge anche da refrigerante.

Dove è necessaria una grande forza, gli assemblatori si mettono al lavoro per costruire bacchette di intricate fibre di carbonio nella sua forma diamantifera. Dove è fondamentale una certa resistenza alla corrosione [...], essi costruiscono strutture simili con ossido di alluminio nella sua forma di zaffiro [5].

Infine vengono pompati via attraverso le ultime aperture rimaste nello stesso corpo del razzo gli ultimi assemblatori. Qual è il vantaggio dell'intera procedura?

Piuttosto che essere un massiccio blocco di metalli saldati e imbullonati, il razzo è un tutt'uno privo di cuciture, al pari di una gemma. [...] Confrontato con i moderni motori metallici, questo motore progredito ha oltre il 90 % di massa in meno [5], dice Drexler entusiasta.

Chissà cosa avranno pensato leggendo queste pagine Heinrich Rohrer e Gerd Binnig, gli inventori del microscopio a scansione a effetto tunnel. Per l'invenzione di questo strumento,

presentato alla comunità scientifica nel 1981, i due fisici otterranno il premio Nobel nel 1985. Il motivo è abbastanza semplice: hanno costruito il primo vero strumento della nanotecnologia. Il microscopio a scansione a effetto tunnel, meglio noto come STM, non permette infatti solo di vedere i singoli atomi, ma di spostarli in ogni direzione.

Mentre nei laboratori di tutto il mondo si cominciano a muovere i primi passi nell'infinitamente piccolo dunque, la pagine di Drexler raccontano di nanomacchine non solo in grado di fabbricare ogni cosa, ma anche capaci di viaggiare nel corpo umano orientandosi come fa un'automobile in città, di individuare un tessuto malato, di produrre le cellule mancanti riparando così il danno, senza interventi chirurgici e senza protesi. Nel mondo immaginato da Drexler insomma, il controllo delle leggi della Natura da parte dell'uomo sarà talmente raffinato, che sarà possibile curare tutte le malattie, invertire le devastazioni dell'età e rendere i nostri corpi più veloci e forti di prima.

Nel suo ultimo libro, *Quanto è piccolo il mondo* [7], Gianfranco Pacchioni, direttore del Dipartimento di scienza dei materiali a Milano Bicocca, sostiene che gran parte dell'interesse e della curiosità che ruotano attorno alle nanotecnologie siano dovute proprio al concetto di nanomacchine o nanorobot (nanobot).

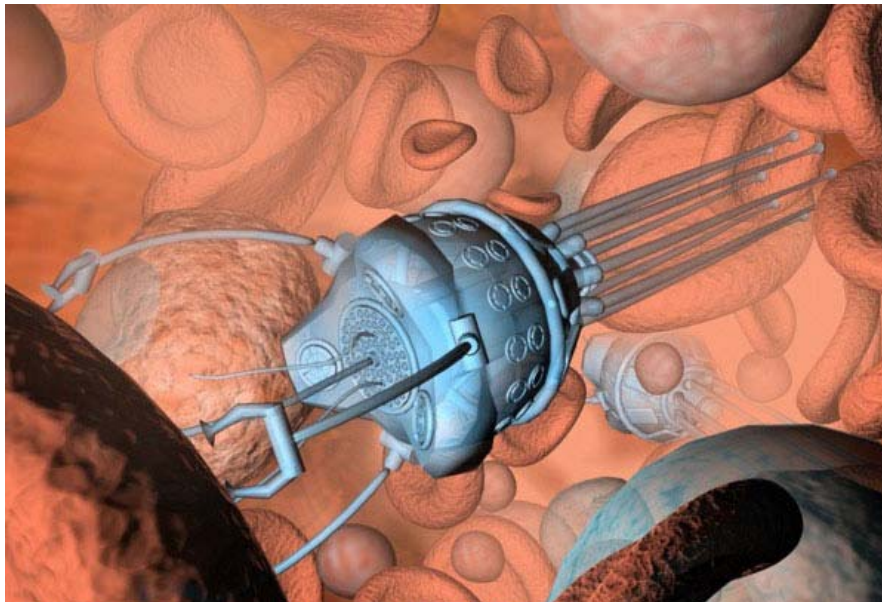


Figura 4. Nanobot all'interno di una vena (fonte: Nanotechnology News Network).

Il motivo, secondo Pacchioni, è che essi rappresentano un concetto semplice e soprattutto offrono prospettive affascinanti e facili da comprendere per gran parte delle persone. Ma c'è di più. L'idea dell'assemblatore, questo costruttore universale in grado di realizzare qualsiasi struttura e di replicare se stesso, non ha colpito soltanto l'immaginazione popolare, ma anche

quella degli scienziati. Come avremo modo di vedere nel prossimo capitolo analizzando il dibattito sorto all'interno della comunità degli esperti dopo la pubblicazione di *Engines of Creation*, sciogliere il nodo circa la realizzabilità delle macchine pensate da Drexler – dice Pacchioni – racchiude in sé il significato e il potenziale più profondo delle nanotecnologie: la possibilità non soltanto di generare oggetti utili grazie alle loro piccole dimensioni, ma oggetti in grado di produrne altri, e quindi di sostituirsi completamente ai metodi di produzione tradizionali [7].

Secondo Drexler la vera rivoluzione di cui si deve parlare è questa: come la macchina a vapore è stata il punto di partenza della Rivoluzione industriale, così le nanomacchine potrebbero rappresentare una nuova fase nella storia dell'umanità.

Nel 2005 la rivista *Forbes* ha stilato la classifica dei più importanti prodotti nanotech immessi nel mercato [8]: al primo posto troviamo un *iPod nano* delle dimensioni di una matita (basato su memorie *flash* che usano a tutti gli effetti nanotecnologie); al secondo posto un olio nutriente per ridurre il colesterolo, che usa capsule di 30 nm per veicolare il principio attivo; al terzo posto una gomma da masticare al sapore di cioccolato, ottenuta grazie a nanocristalli che rendono compatibile il burro di cacao con i polimeri della gomma; al quarto una crema cosmetica da giorno basata su fullereni.

Niente di rivoluzionario insomma. In realtà si può ben dire che su grandi temi come energia, ambiente e salute le nanotecnologie avranno quasi certamente un impatto significativo nei prossimi anni, portando a un miglioramento della nostra vita quotidiana. Ma ciò in fin dei conti fa parte del progresso continuo di numerosi ambiti scientifici, appartiene alla storia recente della chimica ambientale, come a quella dei materiali avanzati, della fisica dei plasmi e della biologia molecolare. Senza che peraltro nessuno si scaldi più di tanto [7].

La rivoluzione celebrata da Drexler invece, come sottolinea Marvin Minsky, “potrebbe avere più effetto sulla nostra esistenza materiale di quello già apportato dalle ultime due rivoluzioni in questo dominio: la sostituzione dell'uso di travi e pietre con metalli e cementi e lo sfruttamento dell'elettricità.” [5]

Possibile che tutto questo si debba alla realizzazione di macchine pressoché invisibili? E soprattutto, qual è il serbatoio al quale Eric Drexler ha attinto per concepire dispositivi simili? Una cosa è certa: le pagine di *Engines of Creation* sono molto più *sottili* di quelle di un opuscolo griffato.

1.2 Come Natura crea

Nel 1981, sui *Proceedings of the National Academy of Sciences* apparve un lavoro dal titolo *Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation* [9]. Si tratta del primo articolo pubblicato su una rivista scientifica dedicato alle nanotecnologie, quando questo termine non si usava ancora. L'autore è un ventiseienne ingegnere molecolare americano: il suo nome è Eric Drexler.

Secondo la teoria esposta da Drexler, la vita è la prova stessa che le nanomacchine possono essere costruite atomo per atomo. Cerchiamo di capire perché, partendo proprio dalla definizione di nanomacchina data da Drexler. Semplificando, si può dire che essa è un dispositivo che esegue un lavoro. Ma questo implica subito un vincolo importante: per funzionare ha bisogno di energia. Inoltre per poter fare qualcosa di utile, per poter eseguire un progetto, deve contenere in sé l'informazione necessaria. Le nanomacchine che alacrememente costruivano il razzo in *Engines of Creation* sapevano esattamente cosa fare, perché conoscevano a menadito il libretto delle istruzioni.

Dunque sono tre le condizioni essenziali affinché si possa parlare di nanomacchina: svolgere un lavoro, avere a disposizione una fonte di energia (oltre che di materia prima da manipolare) e sapere cosa fare. È bene precisare da subito che tutto questo non è affatto banale, e non ci sono ancora idee precise su come si possano condensare le tre caratteristiche su scala nanometrica [7].

In realtà in natura esistono da miliardi di anni oggetti che corrispondono a questa descrizione. Le cellule, che hanno dimensioni micrometriche, contengono infatti organelli e aggregati molecolari il cui funzionamento soddisfa perfettamente i requisiti richiesti dalla definizione di nanomacchina.

Ma c'è di più: le cellule sono intrinsecamente strutture autoreplicanti, che catturano molecole dall'ambiente circostante e poi ne usano alcune per produrre energia necessaria al proprio funzionamento, altre per sintetizzare le parti necessarie per conservarsi, muoversi, difendersi e replicarsi. E l'informazione per la replicazione è presente e codificata nelle molecole di Dna, che la trasmettono da una generazione alla successiva.

Uno speciale tipo di molecola, l'Rna messaggero, serve come trascrizione temporanea di questa informazione e la porta ai ribosomi, dove avviene la sintesi delle proteine che genera il materiale di base per la vita.

La strategia che la cellula adotta per sintetizzare le proprie parti e replicarsi, funzionando come una micromacchina, è articolata in due stadi. Il primo è la formazione di nuovi legami chimici tra le singole molecole che andranno a costituire le proteine. Nel secondo stadio le

catene molecolari così generate si avvolgono su se stesse a formare oggetti tridimensionali. Il tutto avviene spontaneamente e a bassa temperatura, com'è quella del nostro organismo. È un po' come infilare le perline (gli amminoacidi) per creare una collana (un polipeptide) che poi si autoassembla in una macchina (la proteina): un processo che calza perfettamente con quanto previsto da Drexler [7].

Anche il motore flagellare dei batteri ha sorprendenti somiglianze con le nanomacchine. La sua funzione molto specializzata ricorda quella di un motore macroscopico con azione meccanica. È un aggregato altamente strutturato di proteine legate alla membrana delle cellule batteriche e serve a fornire il moto rotatorio al flagello, la lunga struttura a frusta che spinge i batteri consentendo loro di spostarsi nei liquidi. Come ogni motore, anche il motore flagellare ha un albero e una struttura che lo circonda come un'armatura; al posto dell'energia elettrica o della benzina, per funzionare usa molecole di Atp.

A sostegno della sua ipotesi, Drexler presentò un confronto diretto tra strumenti costruiti dall'uomo e strutture biologiche che svolgono le medesime funzioni. Nella tabella 1 ne sono state riportate una parte.

Componenti meccanici macroscopici e biologici		
Tecnologia	Funzione	Esempio molecolare
Cavi	trasmettono tensione	collagene
Montaggi, raggi	trasmettono forze	microtubuli
Involucri	mantengono posizioni	cellulosa
Motori	alberi rotanti	motore flagellare
Recipienti	contengono liquidi	vescicole
Tubazioni	trasportano fluidi	capillari
Morsetti	immobilizzano parti meccaniche	siti di legame negli enzimi
Pompe	spostano fluidi	flagelli, vacuoli contrattili
Utensili	modificano parti meccaniche	Gruppi funzionali
Linee di produzione	costruiscono dispositivi	sistemi enzimatici, ribosomi
Sistemi di controllo numerico	registrano e leggono programmi	sistemi genetici

Tabella 1. Adattato da E. K. Drexler, *Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 78, 5275 (1981).

A quanto pare dunque, le macchine molecolari esistono già, funzionano bene, sono complesse ma altamente affidabili. Sono il risultato di un processo evolutivo durato miliardi di anni e fanno cose che gli scienziati non sono ancora riusciti a riprodurre. “Se riuscissimo anche soltanto a imitare questi processi, pur con minore efficienza, avremmo già fatto un passo in avanti incredibile”, afferma nel suo libro Pacchioni [7].

È dunque lecito domandarsi, e Drexler è stato senza ombra di dubbio il primo a farlo, se non sia possibile trasferire nell’ambito delle strutture artificiali operanti su scala nanometrica gli stessi principi e le stesse logiche che governano felicemente il mondo biologico.

Dario Narducci, professore di Chimica Fisica al Dipartimento di Scienza dei materiali dell’Università di Milano Bicocca, sostiene che oggi “questo è uno dei punti da cui trae maggiormente ispirazione l’idea di sviluppare nanostrutture, nanodispositivi e, in generale, nanotecnologie a partire da atomi e molecole cui viene *insegnato* a organizzarsi in maniera spontanea. Questa è la filosofia *bottom-up* delle nanotecnologie” [10].

Ma allora è davvero possibile, almeno in linea di principio, che la materia non vivente possa effettivamente organizzarsi nello spazio e nel tempo con principi e logiche analoghe a quelle caratteristiche della materia vivente?

Secondo Narducci, la domanda ha un senso non soltanto dal punto di vista speculativo, ma anche realistico: *[...] nessuno pretende, né immagina, né sogna di creare la vita e, tanto meno, di creare nuove forme di vita non basate sulla chimica del carbonio. Molto più modestamente, ci si domanda se sia pensabile che strutture molecolari artificiali possano organizzarsi mutuamente in modo da espletare semplicissime funzioni meccaniche* [10].

Di questo Drexler non aveva proprio alcun dubbio: i macchinari nanotecnologici che fanno parte di ogni cellula vivente sono estremamente complessi, ma gran parte di questa complessità è dovuta al fatto che essi non sono stati progettati partendo dal nulla. Si sono cioè evoluti, e la natura spesso non può permettersi di adottare la soluzione più diretta ad un problema, dato che è costretta a partire da quanto si sia appunto evoluto in precedenza. Un ingegnere molecolare, al contrario, non avrebbe tali restrizioni.

Questo era decisamente troppo per il 1981. Spinto dal desiderio di diffondere questo messaggio nella comunità scientifica il più rapidamente possibile (e probabilmente anche per aggirare un certo senso di incredulità nelle redazioni dei maggiori giornali scientifici), Drexler pubblicò l’articolo a proprie spese, sotto forma di un inserto pubblicitario.

1.3 Quella maledetta poltiglia grigia

Il 26 aprile 1986, la fusione del nocciolo nel reattore numero 4 della centrale nucleare di Chernobyl provocò il più grave disastro tecnologico del secondo dopoguerra. Anche se la colpa fu essenzialmente delle sciatterie e di una tecnica non ancora matura, gran parte della catastrofe è da ascrivere alla peculiarità insita nelle capacità dell'energia atomica. In pratica la stessa barra combustibile di uranio, che giace nel cuore del reattore, racchiude in sé la possibilità della catastrofe.

L'affermazione non intende essere provocatoria e non nasconde un atteggiamento di avversione nei confronti del progresso tecnologico. Il punto è decisamente un altro. Il disastro di Chernobyl ha dimostrato, drammaticamente, che ogni tecnologia moderna ha il suo *Gau*, *Größer anzunehmender umfall*, ovvero il massimo incidente ipotizzabile. È un'associazione di circostanze infelici ed errori tecnici possibili, ma piuttosto improbabili, che portano a una catastrofe mortale.

Accanto a tutte le benedizioni che la nanotecnologia molecolare doveva portare, in *Engines of Creation* Drexler dipinge anche la sua maledizione: il Grey Goo. Il Gau della nanotecnologia è la famigerata poltiglia grigia citata nell'introduzione. Nanoreplicatori prede di una insaziabile furia omicida? Come abbiamo già accennato, e avremo modo di vedere più in dettaglio nel corso del secondo capitolo, si dibatte molto circa l'effettiva possibilità di realizzare qualcosa che si avvicini soltanto ai nanobot replicanti di Drexler.

Non possiamo dimenticare, tuttavia, che il Grey Goo ha piena cittadinanza nel documento attraverso il quale la Comunità europea intende informare il pubblico circa le nanotecnologie [2]. Vale la pena, dunque, osservare lo scenario di quello che la nanotecnologia potrebbe causare nel peggiore ed estremamente improbabile dei casi.

I nanoreplicatori afferrano molecole nelle loro vicinanze e le scompongono in pezzi che possono utilizzare come elementi di costruzione per le loro proprie copie. Dato che sono stati progettati dagli ingegneri molecolari in modo tale da aver bisogno soprattutto di carbonio, azoto, zolfo e fosforo, potrebbe succedere che essi attacchino come minuscole, voracissime termiti, organismi che si trovano nei loro paraggi. Ovviamente non sono stati pensati per questo. Dovrebbero semplicemente compiere un lavoro molecolare di fabbrica e creare parti di oggetti macroscopici, magari per case, automobili o razzi.

Che cosa succederebbe però se alcuni di questi nanoreplicatori scappassero dalla fabbrica a causa di un incidente? E magari in posti diversi e contemporaneamente?

Allora ci sarebbe il pericolo che essi sfoghino il loro appetito sul prato davanti ai locali della fabbrica, poi sugli alberi del vicino margine del bosco, su conigli, uccelli, persino su ignari

passanti. Dal momento che sono stati costruiti per essere efficienti al massimo grado, continuano a creare nuove copie a una velocità mozzafiato, copie che a loro volta creano copie e così via. In poco tempo hanno mutato l'intera biosfera della Terra in copie di se stessi, in una poltiglia grigia di miliardi di replicatori. Sarebbe la fine dell'evoluzione e della vita come noi la conosciamo.

Robert A. Freitas, uno dei teorici seguaci di Drexler, ha addirittura provato a stimare la velocità di diffusione di replicatori che possono nutrirsi di biomassa. La domanda che si poneva Freitas era più o meno questa: potrebbe un nanoreplicatore mettere in moto da solo la valanga della Grey Goo? Se la fabbrica dalla quale riesce a scappare è situata in un luogo desolato come il deserto californiano o la taiga russa, la risposta è no. L'energia che un replicatore fatto essenzialmente di carbonio dovrebbe sottrarre ai pochi organismi che lo circondano è considerevolmente più alta dell'energia chimica immagazzinata in essi. Il legno, per esempio, ne metterebbe a disposizione un decimo di quella di cui un divoratore di carbonio ha bisogno. Il processo di replicazione dopo un po' di tempo si fermerebbe, come un fuoco in un campo aperto che arde ancora di tanto in tanto, prima di spegnersi del tutto.

La situazione sarebbe diversa, sottolinea Freitas, se il *nano-Gau* scoppiasse contemporaneamente in più di un posto. Con cento rami di grey goo, disposti in modo ottimale alla stessa distanza l'uno dall'altro, la biosfera verrebbe consumata in tre giorni. Con un milione di rami basterebbero quaranta minuti, con dieci miliardi solo venti secondi: la Terra in pratica si consumerebbe come un fiammifero.

Queste ipotesi, oggi, ci appaiono talmente remote che, obiettivamente, è difficile non sorriderne. Ma Eric Drexler ci credeva allora, e ci crede tutt'ora. Nel 1986, egli fondò insieme alla moglie Christine Peterson il Foresight Institute. *Foresight*, non a caso, non vuol dire solo "preveggenza", ma anche "provvidenza", da cui traspare assolutamente un elemento di misure preventive. L'istituto, di cui avremo modo di riparlare nel prossimo capitolo, si pone come una *avant-garde* consapevole, che ha riconosciuto l'inevitabilità della nanotecnologia e ora si preoccupa che essa sia introdotta con responsabilità e sicurezza.

A questo scopo, Drexler e il suo gruppo di teorici hanno stilato le *Foresight Guidelines on Molecular Manufacturing* [11], ovvero le direttive del Foresight per la fabbricazione molecolare. Per esempio si impone che "i replicatori artificiali non devono essere messi nelle condizioni di replicarsi in un ambiente naturale incontrollato." Che i replicatori si fabbricheranno non è più motivo di dubbio per il Foresight: ora pensano soltanto all'ambiente in cui vanno fatti funzionare. Un'altra direttiva recita: "La replicazione [...] non dovrebbe essere permessa a meno che non sia ermeticamente isolata in condizioni di laboratorio."

Già in *Engines of Creation*, Drexler aveva descritto i luoghi della fabbricazione molecolare in cui lavorano i nanobot, come ali di massima sicurezza.

Parlando di nanoreplicatori, tutta questa preoccupazione potrebbe sembrare quanto meno un po' *naive*. Eppure lo scenario di devastazione del grey goo, come molte altre immagini dipinte da Drexler, è molto più sottile di quello che appare a prima vista. Almeno per due ragioni.

La prima è sicuramente quella di testimoniare l'onestà intellettuale dello scienziato americano. In fondo i nanobot sono le sue creature più adorate, le nanomacchine che, come abbiamo visto, guideranno l'uomo in una nuova era nella quale sarà possibile sconfiggere malattie, eliminare il dolore, "sfidare" persino la morte. Ma allo stesso tempo, ed è proprio Drexler a sancirlo, quegli stessi nanobot che promettono elisir di lunga vita, potrebbero rappresentare la causa stessa della fine della vita sulla Terra. Il grey goo dunque, e questa è la seconda ragione per la quale esso trova piena legittimità nella nostra trattazione, fa di *Engines of Creation* una lente per guardare al rapporto tra rischi e benefici che accompagnano sempre una rivoluzione tecnologica.

Da questo punto di vista dunque, il libro di Drexler assume una valenza di carattere più generale, e il grey goo diventa, in un certo senso, il Frankenstein della nanotecnologia, una specie di mito moderno capace di influenzare, come vedremo, il dibattito sugli sviluppi tra scienza e tecnologia.



Figura 5. E' il 1931 e Boris Karloff è l'interprete del primo Frankenstein cinematografico.

1.4 Non chiamatelo Asimov

Arrivati a questo punto, occorre probabilmente tirare un attimo il fiato. Fin qui abbiamo cercato di mostrare non solo l'importanza storica di *Engines of Creation*, quale "luogo" in cui vengono definiti gran parte dei paradigmi attorno a cui ruotano le nanotecnologie, come per esempio nanorobot, macchine molecolari o grey goo. Questo aspetto, tra l'altro, basterebbe da solo per consegnare il libro alla storia.

Ma Drexler riesce ad andare certamente oltre, e l'importanza della sua opera non è solo didascalica. Egli è infatti il primo scienziato a ragionare, seppur in via del tutto speculativa, di sistemi non viventi in grado di organizzarsi in maniera spontanea per costruire nanodispositivi. Egli è di gran lunga il primo a voler imboccare la strada verso l'infinitamente piccolo, realizzando strutture nanometriche a partire da unità più piccole delle *nanofasi* che si vogliono realizzare [10]. Questo approccio alla disciplina, che viene definito *bottom-up*, "dal basso verso l'alto" appunto, oggi è considerato la strada che può condurre ai risultati più sorprendenti, rivoluzionando i metodi di produzione tradizionali.

A Drexler non interessa estendere ed estremizzare le metodiche, per esempio della microelettronica, fino a raggiungere la scala nanometrica. Egli non vuole muoversi dall'alto (mondo macroscopico) verso il basso (mondo microscopico) miniaturizzando le cose che abbiamo sotto gli occhi (approccio *top-down* alle nanotecnologie), ma "insegnare" alla materia come organizzare se stessa, proprio come succede in natura da miliardi di anni. Ma c'è di più.

Leggendo *Engines of Creation*, si ha proprio la sensazione di essere a cavallo tra diverse discipline: fisica, chimica, biologia e ingegneria molecolare si sovrappongono continuamente diventando indistinguibili. Eric Drexler rappresenta un prototipo di scienziato "nuovo", multidisciplinare: è esattamente quello che oggi definiremmo un nanotecnologo. Nel 1986, quelli che oggi chiamiamo nanotecnologi, erano considerati e si consideravano fisici, chimici, biologi molecolari, ingegneri dei materiali, genetisti che indagavano e manipolavano la materia a livello atomico e molecolare. Dopo *Engines of Creation* hanno iniziato a chiamarsi nanotecnologi.

A quanto pare dunque, le pagine del libro di Drexler non contengono solamente viscida poltiglia grigia.

Detto questo però, bisogna anche sottolineare che *Engines of Creation*, pur mantenendo il rigore di una pubblicazione scientifica, era, e resta anche oggi, un libro di fantascienza. Drexler lo ha scritto con l'obiettivo di trasmettere concetti e teorie della nascente disciplina a

un pubblico più ampio degli addetti ai lavori. Per questo gli studiosi non sbagliano, quando lo definiscono “scienziato visionario”, “nanoprofeta” e persino “nanoguru”.

Di questo avviso sembra anche Marvin Minsky nella prefazione del libro, davvero ricca di spunti interessanti per la nostra trattazione. Egli afferma che il libro di Drexler è “enormemente originale, ambizioso e immaginativo.” Consapevole però del fatto che quest’opera avrebbe attirato molte critiche da parte degli esperti, subito dopo pone al lettore questo interrogativo: “Ma come si fa a prevedere dove ci condurranno scienza e tecnologia?”

Nonostante molti scienziati e tecnici abbiano provato a farlo, dice Minsky, “non c’è forse da stupirsi che i tentativi più riusciti siano quelli degli scrittori di fantascienza come Jules Verne, H. G. Wells, Frederik Pohl, Robert Heinlein, Isaac Asimov e Arthur Clarke?” Certamente questi scrittori conoscevano parecchio la scienza dei loro tempi. “Ma forse”, continua Minsky, “il motivo più importante del loro successo è stato occuparsi in egual misura anche delle pressioni e delle scelte che immaginavano emergere dalle loro società.” [5]

E chi ci assicura invece che non sia successo esattamente il contrario? Non potrebbe essere, cioè, che uno scrittore abbia previsto con maggiore successo gli sviluppi della scienza, proprio perché con la sua sensibilità ha plasmato l’immaginario di scienziati e grande pubblico, influenzando quegli stessi sviluppi?

Dimostrare questo non è affatto scontato: significa affermare che le immagini delineate in un romanzo di fantascienza possono determinare lo sviluppo di una disciplina scientifica. Ammettiamo per un attimo che ciò sia possibile. Dal momento che le idee di Drexler fanno parte senza dubbio dell’immaginario legato alle nanotecnologie (a tal punto da rientrare nei documenti ufficiali della Comunità europea), con *Engines of Creation* siamo di fronte a un caso abbastanza unico nella storia della comunicazione della scienza. Drexler infatti non è uno scrittore o un giornalista, ma uno scienziato. Insomma, se Frankenstein e il grey goo sono parenti stretti, Mary Shelley ed Eric Drexler non si somigliano affatto.

2. I motori della Reazione

Sarà una capsula simile a un medicinale e poco più grande di una monetina da due centesimi a permettere un fondamentale passo avanti nello studio del cancro del tratto gastrointestinale. Dotata di una telecamera in miniatura e di un sistema di sensori, la capsula, realizzata dalla multinazionale Given Imaging, potrà infatti essere ingerita da chi debba fare un'endoscopia e provvederà a trasmettere le immagini diagnostiche a un monitor esterno. A sviluppare questa nanotecnologia sarà il progetto europeo Nemo, cui collaborano centri di ricerca svedesi, tedeschi, britannici e israeliani. Ma anche una avanzatissima realtà italiana: il Centro per la ricerca scientifica e tecnologica (Irst) della Fondazione Bruno Kessler di Povo, vicino a Trento. Irst svilupperà in particolare il sistema di illuminazione delle strutture ottiche della microcamera, fondamentale per il riconoscimento dei tessuti dall'interno del corpo [12].

“Buongiorno a tutti”, disse, sorridendo all’obiettivo. “Sono Julia Forman, della Xymos Technology, stiamo per presentarvi un rivoluzionario procedimento per la produzione di immagini per finalità diagnostiche mediche da noi appena sviluppato. Il nostro paziente, Peter Morris, sta dietro di me sul tavolo e tra pochi istanti passeremo a osservare l’interno del suo cuore e dei vasi sanguigni con una facilità e una precisione senza precedenti. [...] Ciò sarà possibile grazie alle dimensioni della videocamera introdotta nell’apparato circolatorio del nostro paziente, che è più piccola di un globulo rosso. Dimensioni alquanto ridotte, insomma. La tecnologia di microproduzione della Xymos è in grado di realizzare queste videocamere miniaturizzate in grandi quantità, a basso costo e molto rapidamente” [13].

Cambia il nome della multinazionale e l’apparato posto sotto osservazione. Ma l’idea e le parole utilizzate, rispettivamente dalla giornalista Paola Emilia Cicerone nelle pagine dell’*Espresso* e da Michael Crichton alla pagina 41 di *Preda*, romanzo bestseller del 2002, sono praticamente le stesse. Tanto che viene quasi da chiedersi se sia stata la Given Imaging a copiare le idee della Xymos Technology o viceversa. Un esame più attento ci consente di affermare che probabilmente sono “colpevoli” entrambe.

Di nanodispositivi che viaggiano all’interno del nostro corpo alla ricerca di danni da “riparare” infatti, ne aveva parlato per la prima volta a metà degli anni Ottanta il nostro Eric Drexler. Probabilmente lo scienziato americano non chiederà i danni alle due multinazionali. In ogni caso le loro “responsabilità” ci appaiono molto diverse. Se infatti Michael Crichton si

fregia di aver raccolto l'eredità spirituale tramandata in *Engines of Creation*, è molto improbabile che i dirigenti della Given Imaging, reali e in carne e ossa, si sentano in dovere di dire grazie all'ingegnere californiano.

In questo capitolo ricostruiremo il dibattito scoppiato dopo la pubblicazione del libro di Drexler. Come vedremo, gli scenari profilati dall'americano hanno influenzato e continuano a influenzare il dibattito scientifico attorno alle nanotecnologie.

Sarà evidente, inoltre, che la sostanziale sovrapposizione dei temi trattati e del linguaggio utilizzato da scienziati ed esperti della comunicazione è dovuta al terreno comune nel quale quel dibattito si è sviluppato nel tempo.

Condividendo lo stesso immaginario, entrambe le categorie hanno finito per suggestionare il pubblico con gli stessi strumenti e per disegnare un confine sottile tra realtà e fantasia, tra esperimento e ipotesi, tra fiction e non fiction.

Quello che abbiamo riportato all'inizio è soltanto uno degli innumerevoli esempi nei quali la realtà ha davvero superato l'immaginazione.

2.1 Troppo “grande” e “appiccicoso”

Ai margini della Foothill Expressway nella Silicon Valley meridionale, nella tranquilla strada residenziale di Los Altos, si trova una piccola casa di legno davanti alla quale spicca un cartello singolarmente grande: Foresight Institute, vi si legge sopra.

Questo istituto, fondato come abbiamo detto da Drexler nel 1986 dopo la pubblicazione di *Engines of Creation*, è diventato negli ultimi venti anni un punto di riferimento per tutta la nano-community. Il suo sito internet, www.foresight.org, è una vera e propria miniera di informazioni sul nanocosmo, un “luogo” che trasuda sincero ottimismo verso il progresso. L'inevitabilità della rivoluzione nanotecnologica è stata digerita da tempo da tutti i membri dell'istituto e costituisce a tutti gli effetti parte del loro Dna.

Foresight Nanotech Institute's mission is to ensure the beneficial implementation of nanotechnology.

Leggendo la *mission* dell'istituto non ci sono dubbi: quello di cui bisogna preoccuparsi, fanno sapere dal Foresight, è lavorare per introdurre la nanotecnologia nel modo più responsabile e sicuro possibile. Se questi obiettivi oggi rientrano nelle agende della maggior parte delle agenzie governative, a metà degli anni Ottanta affiancare alla parola nanotecnologia termini come “regolamentazione” o “sicurezza” risultava quanto meno bizzarro. Non era ancora chiaro, infatti, cosa fosse la nanotecnologia stessa.

Che il percorso di divulgazione delle “nuove” idee sarebbe stato irto di ostacoli, Drexler lo capì subito. Le reazioni suscitate da *Engines of Creation* tra i colleghi ricercatori, infatti, furono, per usare un eufemismo, abbastanza fredde. Il libro in fondo non era un’opera scientifica, ma una specie di manifesto che esaltava alcuni studenti e infiammava dibattiti.

Drexler poi conseguì il dottorato al MIT e insegnò nanotecnologia e ingegneria esplorativa all’Università di Stanford per un semestre. Nel 1992 aggiunse carne al fuoco con una voluminosa opera intitolata *Nanosystems: Molecular machinery, manufacturing and computation* [14], con cui voleva rafforzare scientificamente l’attuabilità dei suoi progetti.

In oltre 500 pagine, presentava valutazioni termodinamiche e calcoli di modelli teorici sui quali si fondava il principio di fabbricazione molecolare. Per alcuni ricercatori, *Nanosystems* è diventata da allora una vera nano-bibbia. Altri rimpiangono ancora la mancanza di un necessario realismo circa la fattibilità degli assemblatori. Un terzo gruppo invece mette in dubbio l’intero principio di Drexler.

Uno degli studiosi più critici è Richard Smalley, vincitore del premio Nobel per la chimica nel 1996 per aver scoperto il C_{60} , il famoso “pallone da calcio” fatto di atomi di carbonio.

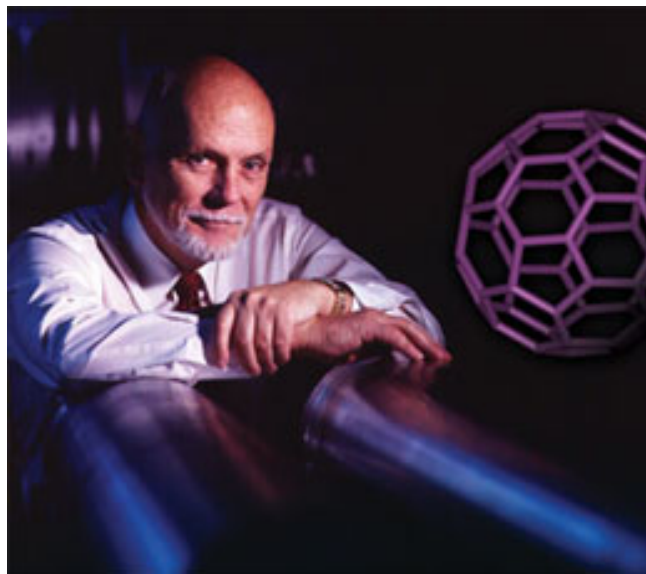


Figura 6. Richard Smalley in compagnia del suo C_{60} .

Smalley, molto semplicemente, non ritiene che l’assemblatore possa essere fisicamente realizzato. Nel primo numero del settembre 2001 della rivista *Scientific American* [15], egli sostiene che per controllare e manipolare tutti gli atomi – e Drexler sottolinea proprio che nella meccanosintesi nessun atomo può muoversi senza controllo – ciascuno di essi deve essere tenuto dalla propria pinzetta. Una pizzetta nanometrica costretta a muoversi in mezzo a un insieme di atomi assai più piccoli rischia di creare problemi di spazio insormontabili.

Prendendo in prestito la celebre frase di Feynman, Smalley sostiene che “di spazio per queste operazioni non ce n’è poi così tanto, là in fondo.” La pinzetta, in pratica, rischia di fare la figura di un elefante che si muove in una cristalleria. Smalley definisce questo problema *Fat fingers problem*, ovvero “il problema delle dita grosse” [15].

Drexler reagisce, dal canto suo, con una lettera aperta in cui rimprovera a Smalley di riportare le sue idee in modo sbagliato per poterle poi ridicolizzare. I bracci da lui ipotizzati hanno sì un diametro di 30 nm, ma sono provvisti di una punta sottilissima, più o meno come accade nel microscopio a scansione a effetto tunnel, con il quale in effetti si riesce a spostare singoli atomi e ricollocarli altrove. Tra i due si innesca così una *querelle* pubblica [16] sulla quale ritorneremo anche più avanti per ragioni diverse.

La risposta di Smalley infatti non si fa certo attendere ed egli presenta la sua nuova obiezione chiamandola *Sticky fingers problem*, ovvero “il problema delle dita appiccicose” [16]. Ecco a grandi linee di cosa si tratta. Gli atomi possono restare appesi alla punta perché li lega a essa la forza di Van-der-Waals, una debole attrazione tra atomi o molecole. Le nano-pinzette che manipolano i singoli atomi avrebbero dunque lo stesso problema che hanno tutti coloro che cercano di staccare una gomma da masticare dalla suola di una scarpa.

Lo sticky fingers problem è forse il problema centrale della costruzione drexleriana, fondata appunto su un montaggio molto preciso. Su questo punto Drexler può rimandare soltanto ai suoi modelli computazionali, perché, in effetti, risultati sperimentali che potrebbero confutare Smalley non ne ha proprio.

Ma i problemi legati alla realizzabilità degli assemblatori non terminano qui.

Una questione centrale è legata anche alla fonte energetica necessaria per far funzionare le nanomacchine. Gli organismi cellulari hanno sviluppato un metodo complesso ed efficace per produrre energia sfruttando reazioni chimiche o fotochimiche innescate dalla luce del sole. Il modo per imparare a fare lo stesso con sistemi sintetici è ancora tutto da inventare.

Per prelevare gli atomi con cui costruire le nanomacchine è necessario, inoltre, liberarli dai loro legami e separarli dal resto degli atomi a cui sono attaccati. Un’impresa tutt’altro che banale.

Rompere un legame chimico infatti, costa molta energia, e questo crea problemi per l’alimentazione della macchina. Quando poi un atomo è ricollocato altrove, a formare un’altra struttura, si formano nuovi legami: l’energia ora viene liberata ponendo severi problemi di raffreddamento della macchina stessa.

C'è poi il problema altrettanto importante di dove racchiudere l'informazione. Senza un progetto, senza un manuale, la capacità potenziale di "assemblare" qualcosa non serve a niente. Bisogna avere un foglio di istruzioni da seguire.

La biologia dimostra come sia possibile codificare informazione e rileggerla nelle pieghe del Dna. Che in futuro sarà possibile trasportare in questo modo informazione, non c'è alcuna garanzia. Forse si potranno inventare altri metodi, magari basati sul codice binario, ma ancora una volta siamo nel campo delle ipotesi [7].

A quanto pare, dunque, fino a quando non si sapranno mettere fonti di energia e vettori di informazione a servizio delle nanomacchine, con esse si potrà fare ben poco.

Come sottolinea Pacchioni nel già citato *Quanto è piccolo il mondo*, "non si tratta soltanto di problemi tecnologici complessi ma risolvibili in linea di principio: in molti casi entrano in ballo limiti fisici fondamentali, e come tali non aggirabili se non con approcci concettuali totalmente diversi. In effetti i nano-assemblatori di Drexler sono troppo simili ai robot macroscopici per poter funzionare."

Al momento Drexler è solo con il suo progetto per l'assemblatore. Ma lui e Ralph Merkle, il suo braccio destro, non riescono proprio a spiegarselo. Per loro le virtù di una tecnologia come quella degli assemblatori sono palesi: l'industria potrebbe produrre prodotti migliori riducendo i costi a una frazione di quelli attuali. "Si va avanti più lentamente di quanto mi aspettassi," concede Merkle un po' deluso. Ma la cosa per lui non dipende da problemi tecnici fondamentali: manca la volontà di accelerare la ricerca in questa direzione; manca, per esempio, un discorso del Presidente, come quello, celebre, che fece Kennedy nel 1961. In quell'occasione Kennedy pretese che per la fine degli Sessanta gli americani atterrassero sulla Luna. "Kennedy procurò dei soldi e un obiettivo chiaro," dice Merkle. Che ha anche le idee chiare su cosa chiederebbe alla comunità scientifica se fosse lui il Presidente: "Primo, costruire un assemblatore. Secondo stabilire un percorso di sviluppo. Terzo, seguirlo!" [17].

Il discorso sognato da Merkle arriverà nel gennaio del 2000 e a tenerlo sarà il Bill Clinton. Come vedremo, in quell'occasione il Presidente degli Stati Uniti istituirà la National Nanotechnology Initiative (NNI). Purtroppo per quelli del Foresight, la ricerca sulla fabbricazione molecolare non vedrà neanche un dollaro, dei primi 250 milioni investiti sulle nanotecnologie: l'America, almeno all'inizio, vuole andare sul sicuro, e destina i propri fondi alla ricerca sui semiconduttori e, più in generale, verso tutti i materiali innovativi.

2.2 Macchine molecolari & Co.

“Non è che lo si tolga di mezzo ritenendolo semplicemente uno svitato, è una persona veramente sgradevole,” dice chiaro e tondo Gerd Binnig, premio Nobel per la fisica nel 1985.

L’oggetto del discorso, come è facile intuire, non è un nanobot, ma Eric Drexler in persona.

Anche Hermann Gaub, uno dei pionieri della biofisica molecolare, che ha avuto occasione di conoscerlo alla fine degli anni Ottanta alla Stanford University, la pensa più o meno allo stesso modo. “Drexler diceva cose della serie: “Ve lo dico io come funziona, siete troppo scemi per capirlo da soli.” Una comunità scientifica si alimenta anche del rispetto reciproco. Lui non mai ha avuto rispetto dei gruppi che lavoravano sodo alla nanotecnologia.”

L’ingegnere americano infatti è piuttosto intollerante coi progressi dei colleghi che non abbiano direttamente a che fare con la sua idea di fabbricazione molecolare, e questo atteggiamento concorre a renderlo ancora meno amato di quanto già non sia [17].

A quanto pare, dunque, il guru del Foresight è uno scienziato quanto meno criticabile e una persona decisamente sfacciata. Nonostante questo però, le sue idee hanno ispirato e continuano a ispirare il lavoro di svariati gruppi di ricerca, pubblici ma soprattutto privati, sparsi un po’ ovunque.

L’esempio più eclatante è rappresentato, forse, dalla Zyvex, la prima società privata avente come unica missione lo sfruttamento commerciale delle nanotecnologie.

Tutto nasce nel 1995 quando James Von Ehr, imprenditore statunitense, diventa multimilionario a soli quarantacinque anni, grazie alla vendita di una florida società di software da lui fondata. Impressionato e attratto dalle idee innovative di Drexler, Von Ehr decide di creare la Zyvex e di finanziare profumatamente quella che nelle sue intenzioni è destinata a diventare la prima impresa al mondo nel campo *nanotech*. Una specie di novella Microsoft, insomma.

La Zyvex inizia a operare tra curiosità e scetticismo, ma bastano pochi anni perché la situazione diventi critica, con costi elevati e ricavi nulli. Alla fine del 2003, con 82 ricercatori e 85 diversi progetti avviati, le perdite di esercizio sono diventate insostenibili persino per Von Ehr, al punto da imporgli una riconversione dell’azienda verso obiettivi meno ambiziosi ma più realistici, come la messa a punto di dispositivi miniaturizzati su scala micrometrica o di nanotubi di carbonio, che oggi dominano il suo catalogo prodotti [18].

La storia della Zyvex illustra bene come spesso la via del successo nel campo delle nuove tecnologie sia accidentata, e richieda buone dosi di realismo per distinguere il possibile dall’improbabile, una cosa della quale, nel campo delle nanotecnologie, è molto difficile

rendersi conto. In definitiva, Merkle non sbagliava a sostenere la necessità di grandi investimenti per raggiungere grandi risultati.

Eppure, i primi approcci per l'assemblaggio di macchine molecolari abbondano. Un esempio può chiarire il concetto piuttosto bene. Su scala macroscopica tutti siamo in grado di montare una ruota, ottenendo così quello che, con un linguaggio decisamente eccessivo, si potrebbe definire un automa in grado di ruotare intorno a un asse. Si tratta in effetti di un semplice dispositivo meccanico.

Volendo fare la stessa cosa su scala nanometrica, la nostra ruota potrebbe essere una molecola più o meno complessa disposta a formare un anello, mentre il perno della ruota potrebbe essere un'altra molecola la cui struttura ricordi un pilastro. Il problema su scala nanometrica è quello di fissare la ruota al perno: quello che vogliamo fare è consentire alla ruota di ruotare attorno al proprio asse, restando tuttavia vincolata al perno. In linea di principio questa non è nient'altro che una versione un miliardo di volte più piccola della ruota di una bicicletta.

Il punto è questo: è possibile identificare su scala molecolare forze in grado di trattenere l'anello intorno al perno, consentendogli allo stesso tempo di ruotare?

Drexler riteneva che sul piano strettamente teorico questa cosa fosse possibile. Il tempo gli ha dato effettivamente ragione.

I *rotaxani* infatti sono molecole organiche sintetizzate artificialmente che hanno una struttura ad anello e possono essere incernierate a formare *nanovolani*. I rotaxani possono per esempio essere resi elettricamente carichi, e in presenza di opportuni campi elettrici, sono in grado di salire e scendere lungo molecole-pilastro come i *nanoascensori* [19].

Il rotaxano è soltanto uno dei protagonisti di una disciplina il cui scopo è proprio quello di costruire, partendo da molecole semplici, sistemi via via più complessi e capaci di simulare le funzioni svolte a livello biologico: si tratta della *chimica supramolecolare*. L'idea è quella di partire dal basso per costruire nanocongegni attraverso l'autoassemblaggio di molecole.

Questa disciplina studia insieme complessi di molecole che, aggregandosi o legandosi, possono svolgere funzioni diverse e più raffinate rispetto a quelle dei singoli componenti. Proprio verso la fine degli anni Ottanta si sono compiuti progressi fondamentali in questo campo.

Il premio Nobel per la chimica nel 1987 è stato assegnato ad alcuni tra i padri di questa disciplina, il francese Jean-Marie Lehn e gli statunitensi Donald J. Cram e Charles Pedersen. Il titolo della conferenza di Lehn alla consegna del premio illustra bene l'argomento: "Chimica supramolecolare: scopi e prospettive. Molecole, supermolecole e dispositivi molecolari." [20]

Non c'è che dire, argomenti molto drexleriani. Va fatto notare, tuttavia, che nel 1987 praticamente nessuno parlava di nanotecnologie e l'eco del libro di Drexler non si era ancora diffusa in Europa.

Nel passare da molecole semplici a sistemi supramolecolari possono emergere nuove proprietà, spesso di grande interesse tecnologico. Partendo da questa idea di base, è stato possibile costruire dispositivi a livello nanometrico come fili di materiale organico capaci di condurre elettricità, o interruttori molecolari in grado di consentire o proibire il passaggio di corrente, o ancora semplici nanomacchine che possono eseguire azioni meccaniche elementari.

Tra queste macchine molecolari ci sono rotori, giroscopi, pompe, freni, ingranaggi, serrature e persino arpioni. Alcune di esse funzionano sfruttando l'energia luminosa, che induce nelle molecole transizioni elettroniche sfruttabili per "spostare" un pezzo di struttura da una parte a un'altra.

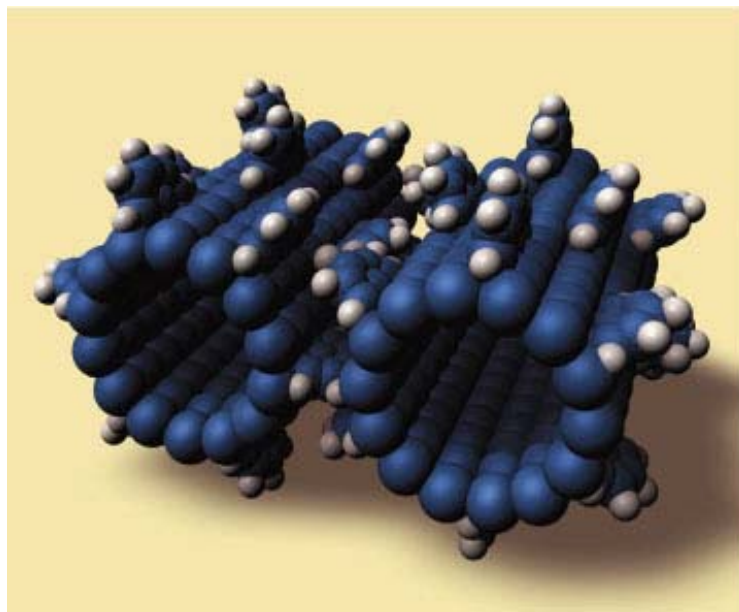


Figura 7. Ingranaggi molecolari

Certo, non siamo di fronte ai nanoassemblatori prospettati in *Engines of Creation*, ma la chimica supramolecolare dimostra che la materia può "imparare" molto e che l'autoassemblaggio è una strada tutt'altro che fantascientifica.

Se si resta colpiti dalla effettiva possibilità di realizzare macchine molecolari, si rimane del tutto sbalorditi degli influssi che Drexler ha avuto nei confronti della cosiddetta nanomedicina.

Come abbiamo sottolineato nel primo capitolo, Drexler immagina un mondo nel quale nanobot istruiti a dovere ripareranno il nostro corpo dall'interno, senza più bisogno di

operazioni, cicatrici o protesi. Rivoluzionando il concetto stesso di corpo e di malattia, lo sviluppo delle applicazioni nanotecnologiche nel settore medico avrà conseguenze inimmaginabili sulla qualità della vita dell'uomo.

“Con armi più piccole possiamo cacciare prede più piccole”, ha formulato in modo ben conciso il fisico Robert A. Freitas, autore della originale opera *Nanomedicine* [21].

È la grande speranza della nanomedicina: riuscire finalmente a sconfiggere sul piano molecolare i flagelli dell'umanità. Non solo i virus, ma anche il cancro, la vecchiaia e la morte. “Oltre trenta anni fa è stata annunciata negli Stati Uniti la guerra contro il cancro”, dice Jim Heath, professore di chimica al Caltech di Pasadena, “eppure la terapia contro di esso non è cambiata in modo apprezzabile dai giorni in cui Jimmy Carter era presidente degli Stati Uniti [17].”

Sconfiggere il cancro, dunque: uno dei sogni della National Science Foundation americana. Che a quanto pare sa anche come fare: “Immagina un dispositivo medico in grado di viaggiare nel corpo umano che sia capace di scovare e distruggere cellule cancerose prima che si diffondano.”

Ed è con questo obiettivo che gli americani hanno affidato a Mauro Ferrari, italiano di Padova, il programma di nanotecnologia oncologica del National Cancer Institute di Bethesda, con un budget di oltre un miliardo di dollari in cinque anni.

Mauro Ferrari, presidente del dipartimento di ingegneria biomedica dell'Università del Texas a Houston, è un esempio mirabile di cervello in fuga, ma soprattutto uno dei portavoce più autorevoli della rivoluzione “nano”.

In una recente intervista concessa all'*Espresso* [12], Ferrari ha raccontato al pubblico italiano quali sono le armi più innovative che avremo presto a disposizione nella lotta al cancro. In prima linea ci sono i *nanovettori*. “Parliamo di intelligent drug delivery, di sistemi in grado di raggiungere le cellule malate per somministrare gli agenti terapeutici”, spiega Ferrari. Si stanno studiando nuove generazioni di nanovettori, più piccoli e di formato adeguato per raggiungere più agevolmente il bersaglio.

“Con la chemioterapia tradizionale, per arrivare a colpire il tumore è necessario iniettare una forte dose di farmaco, con gravi effetti tossici per l'organismo: ad arrivare a destinazione è forse una particella di farmaco su mille,” spiega Ferrari. I nuovi farmaci nanotech invece permettono di trasportare il principio attivo là dove serve, limitando al massimo o annullandone gli effetti indesiderati. “Stiamo lavorando a vettori in grado di selezionare il bersaglio, veri e propri micro-sommergibili dotati di un chip che permette di individuare le

cellule tumorali in base alle specifiche molecole che si trovano sulla loro superficie,” prosegue Ferrari.

A dimensioni *nano*, inoltre, diagnosi e terapia possono procedere anche di pari passo, avendo a disposizione gli strumenti per individuare ed eliminare le cellule malate in un solo colpo: “Le nanotecnologie sono lo strumento ideale quando è necessario ottenere una elevata specificità diagnostica, per esempio individuare proteine sopra o sotto espresse.” [12]

Ovviamente la lotta ai tumori non è il solo campo di ricerca: epatite C, Aids e soprattutto il diabete costituiscono i fronti aperti della nanomedicina.

Abbiamo deciso di riportare lunghi tratti dell’intervista concessa dall’ingegnere italiano all’*Espresso*, perché le sue parole rappresentano, davvero, la frontiera della ricerca nanotecnologica nel settore medico, settore cui vengono destinati ogni anno centinaia di milioni di dollari.

E pensare che ci sono alcuni ricercatori per i quali questo tipo di nanomedicina non va abbastanza lontano.

Le cellule invecchiano e muoiono, gli organi si ammalano e si inceppano irrimediabilmente, le arterie si calcificano, il cervello ci pianta in asso e alla fine arriva la morte. Dovremmo accettarlo e basta? No, dicono i transumanisti. È un movimento che vede in una conclusiva simbiosi con le macchine la liberazione degli esseri umani dal proprio destino in un giorno non meglio precisato di questo secolo.

Vivremo con nanomacchine che procedono come sommergibili nelle nostre vene, riparando le cellule difettose, venendo in aiuto perfino al cervello. Probabilmente finiranno per sostituire integralmente le cellule proprie dell’organismo perché sono decisamente migliori.

Questa è la visione del già citato Freitas, uno dei seguaci più instancabili di Drexler. Egli è affascinato in particolar modo dal sangue umano. In un articolo pubblicato nel 1998 [22], Freitas ha abbozzato il *nanosangue*. Il suo sangue artificiale fa a meno di globuli bianchi e rossi e si serve invece di 500 miliardi di nanomacchine. La loro potenza di calore massima è di solo 200 Watt (contro i 1600 Watt del sangue che ci scorre nelle vene...) per cui non si dovrà neanche più sudare. Questi 500 miliardi di miniapparecchi del sangue comprendono 150 miliardi di “respirociti”, globuli rossi artificiali che trasportano ossigeno nel corpo, e altrettanti “vascolociti” che lavorano come cellule riparatrici.

I vantaggi, secondo Freitas, si toccano con mano. Tutti i parassiti che tormentano l’umanità da secoli sarebbero banditi; i linfociti, ovvero le cellule di difesa dell’organismo, potrebbero diffondersi più rapidamente e in modo più affidabile. Il trasporto dell’ossigeno sarebbe così

efficiente che non resteremmo mai senza fiato: “Un respirocito può portare 236 volte più ossigeno di un globulo rosso naturale, tenuto conto delle giuste proporzioni del volume.” [22] Insomma, per dirla come farebbero i Subsonica, Freitas “sogna una carne sintetica” e forse anche un “microchip emozionale”.

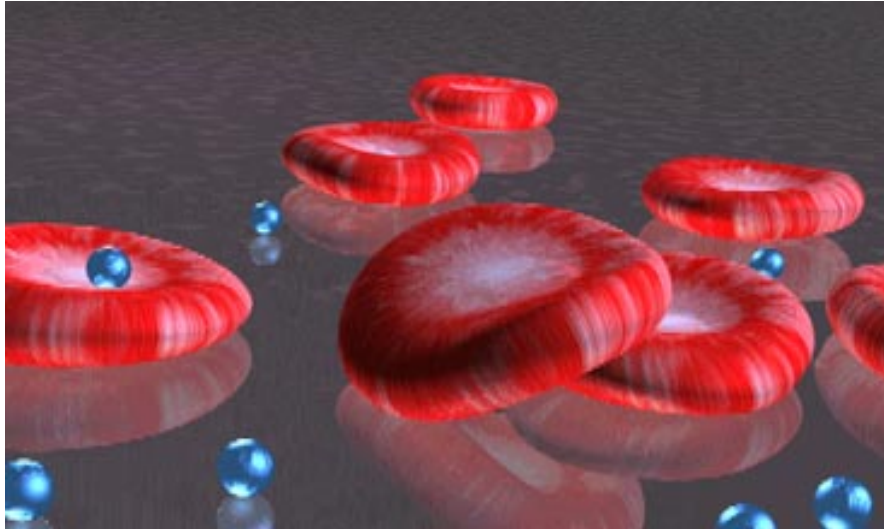


Figura 8. “Respirociti” e globuli rossi artificiali.

Al di là delle battute, la linfa “vitale” descritta da Freitas costituisce l’occasione per consentire a Mauro Ferrari in persona di riaffermare il concetto che abbiamo introdotto all’inizio del capitolo: “Il *guaio*, quando si parla di nanotecnologie, soprattutto in medicina, è che sembra di usare il linguaggio della fantascienza. Invece sono una realtà.” [12]

2.3 Siamo scienziati o visionari?

Viste le cose di cui parlano scienziati come Drexler, Freitas e lo stesso Ferrari, leggendo un romanzo di fantascienza sulle nanotecnologie si può correre il rischio di rimanere un po’ delusi. La fantasia di uno scrittore è messa davvero a dura prova: difficile infatti andare ancora oltre le immagini e gli scenari prospettati dagli esperti.

In uno studio pubblicato nel 2005 [23], Joachim Schummer ha cercato di individuare le tematiche che focalizzano l’interesse del pubblico verso le nanotecnologie, analizzando il mercato editoriale. In altre parole, per cercare di capire quali sono gli aspetti della nanotecnologia che attraggono maggiormente il pubblico, Schummer è andato a vedere cosa legge la gente interessata alle nanotecnologie, analizzando in dettaglio di che pasta è fatta l’offerta del mercato. Partiamo proprio da questo ultimo punto.

Lo studio mostra che i *nanobooks* possono essere essenzialmente divisi in due classi, ciascuna delle quali, a sua volta, può essere ulteriormente suddivisa in due sottoclassi.

Alla prima classe appartengono i libri che si concentrano sui recenti progressi della ricerca nanotecnologica; della seconda classe, invece, fanno parte tutti quei libri che si lanciano in ardite previsioni sul futuro della nanotecnologia e su come essa cambierà la società.

I libri della prima classe si rivolgono a due tipologie di pubblico: ricercatori e persone laureate da un lato; lettore generalista, che però abbia avuto a che fare con materie scientifiche, dall'altro.

I libri che appartengono alla seconda classe sono invece accessibili a tutti. In generale essi trattano due argomenti: previsioni tecnologiche e sviluppi sociali, da una parte; sviluppi commerciali e opportunità per gli investimenti, dall'altra.

Gli autori di queste opere sono indistintamente stimati professori universitari, impiegati delle agenzie di ricerca governative, membri di organizzazioni non-profit, giornalisti scientifici, scrittori freelance con o senza background di tipo scientifico, imprenditori e consulenti di commercio. Questi ultimi sono autori di vere e proprie *business guide* di grande successo che illustrano tutte le potenzialità delle applicazioni commerciali del mondo *nanotech* che verrà.

Il nostro nanolettore, insomma, si trova di fronte a una selva incredibilmente variegata di possibilità. Da che parte decide di buttarsi?

La mappa costruita da Schummer mostra che il pubblico è più interessato alle previsioni di lungo periodo e alla futurologia, che ai reali sviluppi della ricerca. Se guardiamo i libri accessibili a tutti, circa l'80% di essi trattano di argomenti che si possono tranquillamente definire visionari. Di conseguenza il pubblico viene suggestionato dalle personali speranze o paure dell'autore, il quale è ben consapevole di fare leva sulle personali speranze o paure del lettore.

Questa "schizofrenia" collettiva, in cui momenti di fiducia incondizionata si alternano a momenti di cupo pessimismo, condiziona, come vedremo nel prossimo paragrafo, il dibattito pubblico sulle nanotecnologie che è arrivato fino a noi. Nei libri che appartengono alla seconda classe le macchine hanno cambiato le condizioni fisiche, mentali e sociali degli esseri umani a tal punto, che le differenze stesse tra vita biologica e vita sintetica sembrano dissolvere.

Uno splendido esempio di questa epopea che parla di futuro incommensurabile è rappresentato dal best seller di Raymond Kurzweil intitolato *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence*, scritto nel 1999 [24]. Rispettato scienziato,

eccentrico inventore e imprenditore di successo, Ray Kurzweil è la vera e propria incarnazione dell'uomo che ha fiducia nel progresso.

Per capire da dove nascono le sue idee dobbiamo fare un piccolo passo indietro, esattamente nel 1976. In quell'anno, il biologo Richard Dawkins formulò un'idea interessante nel suo celebre libro *Il gene egoista* [25], diventato una sorta di bibbia del neodarwinismo. “E' capitato che il gene”, scrive, “e la molecola del Dna fosse l'entità replicante che ha prevalso sul nostro pianeta”. Eppure nel lasso di tempo in confronto piccolissimo della civilizzazione umana è accaduto qualcosa di singolare. “Io credo”, prosegue Dawkins, “che un nuovo tipo di replicatore sia emerso di recente proprio su questo pianeta. Ce l'abbiamo davanti, ancora nella sua infanzia, ancora goffamente alla deriva nel suo brodo primordiale, ma già soggetto a mutamenti evolutivi a un ritmo tale da lasciare il vecchio gene indietro senza fiato [25].”

Questo brodo primordiale sarebbe la cultura umana, dice Dawkins, e la sua unità di replicazione, il *meme*. Questa parola è un'invenzione dello stesso Dawkins: con esso egli intende l'unità dell'imitazione culturale, ovvero idee, melodie, teorie, tutto ciò che la cultura produce. Questi memi vengono moltiplicati dagli esseri umani e vengono trasferiti di padre in figlio. Così vagano attraverso i decenni, perfino attraverso i secoli, come la saga di Re Artù e i cavalieri della tavola rotonda, per esempio.

“La vecchia evoluzione per selezione genica, portando alla formazione del cervello, ha fornito il brodo in cui si sono originati i primi memi. Una volta che si sono formati memi in grado di fare copie di se stessi, ha preso il sopravvento il loro tipo di evoluzione, molto più veloce dell'altro” [25]. Se si pensa che i software e le macchine sono anch'essi dei memi, questa frase assume un significato inquietante. Perché i memi di questo tipo, come vediamo tutti i giorni al computer esistono eccome.

Musica, per le orecchie di Ray Kurzweil. Egli ha infatti sviluppato radicalmente questa astrazione con la sua idea di *tecnoevoluzione*. Che cosa significa? Che le macchine intelligenti rileveranno il mondo.

Secondo Kurzweil basta osservare le più importanti tendenze presenti nella storia: la crescita della popolazione e la crescita economica, la riduzione delle dimensioni delle macchine e l'aumento delle prestazioni di calcolo e della capacità di archiviazione dati dei computer. Queste, secondo il futurologo americano, saranno le conseguenze: “I computer nella seconda metà del Ventunesimo secolo sapranno leggere da soli, capiranno quello che hanno letto e lo trasformeranno”. Poiché le macchine scambiandosi dati possono trasmettere il loro sapere più velocemente degli uomini che apprendono con difficoltà, la loro intelligenza si svilupperà ulteriormente con una rapidità pazzesca. “La parte maggiore dell'intelligenza dell'umanità

civilizzata sarà infine non biologica, e già alla fine di questo secolo, migliaia di miliardi di volte più efficiente dell'intelligenza umana." E per finire la profezia: "Il progresso infine sarà talmente veloce da superare la nostra capacità di seguirlo. Finirà letteralmente fuori controllo" [24].

Tutto questo non sembra molto rassicurante, almeno per la maggior parte delle persone. Kurzweil al contrario ne vede solo il lato positivo: nell'intelligenza delle macchine vede sorgere servitori trascendenti dell'umanità rimasta indietro ed è convinto che questa tecnoevoluzione non sia da arrestare [17].

Allo stato attuale, è ancora controverso il modo in cui possa apparire l'intelligenza nelle macchine artificiali. L'approccio degli anni Sessanta e Settanta, secondo cui si dovrebbero dare ai calcolatori potere e dati appena sufficienti, e l'intelligenza verrebbe da sé, è oggi superato. La possibilità di una intelligenza artificiale però no.

Accanto ai diversi tipi di robot a cui si sta lavorando in tutto il mondo, negli anni Novanta è sorto un nuovo progetto che scommette proprio sulla piccolezza: la cosiddetta intelligenza dello sciame.

Questa teoria è influenzata da un agitato mondo di dimensioni ridotte: le società di insetti. Il concetto è abbastanza semplice. Termiti, formiche, api, prese singolarmente sono "stupide". Ma tutte insieme formano un tutt'uno incredibilmente organizzato, che in proporzione alla grandezza dei suoi singoli membri è in grado di costruire dimore imponenti. Il singolo insetto insomma, da solo non può fare niente, lo sciame intero, invece, tutto, disponendo di una certa intelligenza che emerge dal gioco di squadra di molti piccolissimi cervellini d'ape o di termiti. Questa cosa ha affascinato così tanto gli scienziati Eric Bonabeau e Guy Theraulaz, che all'inizio degli anni Novanta questi hanno cominciato a elaborarci una teoria che fosse applicabile in pratica.

L'etologo Theraulaz si era occupato di insetti al Santa Fe Institute, il luogo di nascita della cosiddetta *teoria della complessità*. Quando il matematico Bonabeau partecipò a un suo seminario, Theraulaz stava raccontando dei suoi studi sugli insetti, soprattutto di come le formiche trovino la strada più breve per una fonte di cibo. La strada, raccontava Theraulaz, sorge da sola. La prima formica che girovagando senza meta trova un tozzo di pane per esempio, ne stacca un pezzo con un morso e torna al formicaio con quello. Una seconda fa poco dopo la stessa cosa, però prende – in modo altrettanto casuale – una strada più breve. Entrambe marcano il percorso con tracce odorose, i feromoni.

Quando la prima formica giunge nei pressi del formicaio, la seconda è di nuovo sul pezzo di pane. La sua strada ha perciò ricevuto il doppio delle tracce odorose nello stesso tempo. È il

segnale per le altre formiche a seguire questa via. Con ciascuna delle formiche successive la strada viene marcata più intensamente, fino al punto in cui regna un intenso traffico e nessuna formica prende una strada diversa.

Bonabeau ne rimase affascinato e cominciò ad applicare la metafora delle formiche al *routing*, un problema tipico nelle reti di telecomunicazione. Qui i pacchetti di dati sono formiche virtuali. Il matematico francese scoprì che le vie di trasmissione di notizie si possono ottimizzare se a formiche virtuali si fanno lasciare feromoni virtuali sui nodi di rete. In pratica invece di fissare in un programma esteso lo svolgimento di tutti i collegamenti della rete per calcolare sempre da capo la strada di volta in volta migliore, si installano nelle formiche virtuali due operazioni di calcolo: depositare e leggere i feromoni virtuali. “In confronto ai metodi di ottimizzazione convenzionali si riduce l’estensione del programma a un decimo”, dice Bonabeau [17], che da alcuni anni utilizza il progetto dell’intelligenza dello sciame con grande successo nei processi commerciali.

Le idee di Kurzweil ci hanno portato lontano, ma come vedremo tra poco non fuori strada. Arrivati a questo punto però, vale la pena domandarsi dove siano finiti i vecchi e affidabili scrittori di fantascienza, invocati all’inizio del paragrafo. Possibile che Drexler abbia ispirato solo scienziati e futurologi? Ovviamente no.

Gli studiosi ritengono all’unanimità, spiega Schummer [23], che la *Nanoscience fiction* esplosa a partire dalla metà degli anni Novanta debba moltissimo alle immagini coniate in *Engines of Creation*.

Per rendersene conto basta fare capolino nel romanzo di Neal Stephenson, *Diamond Age* [26], in cui i fratelli Nell e Harv vanno per una città della nanoscienza del Ventunesimo secolo:

[...] “Che facciamo?” chiese Nell. Harv fece una faccia come se preferisse non parlarne. “Tanto per iniziare procuriamoci della roba gratis”. [...] Arrivati a un CM [compilatore di materia, n.d.a] a un angolo della strada, selezionarono qualche articolo dal menù gratis: scatole d’acqua e brodo, cartocci di sushi fatto con nanosurimi e riso, caramelle e pacchetti grandi circa quanto la mano di Harv [...] che si aprivano in grandi coperte metalliche e spiegazzate [...].

In pochi minuti, vengono assemblati il cibo e la coperta con atomi e molecole che vengono recuperati da uno dei molti condotti per il sostentamento che attraversano la città. Quasi ogni prodotto viene fabbricato per meccanosintesi in questo modo, a casa o nelle fabbriche. Solo il ceto superiore si concede ancora il lusso di mobili di vero legno o abiti di vera lana.

Diamond Age viene considerato dai cultori del genere il romanzo di fantascienza sulla nanotecnologia per eccellenza. Riempie i sogni dei nanoguru di oggi con più vita di quanto

possa piacere loro. Nel suo romanzo infatti, Neal Stephenson abbozza i cambiamenti della società provocati dalla nanotecnologia. Una rivoluzione tecnica, infatti, non cambia solo prodotti e metodi di fabbricazione. Diventa anche un modello per l'ordine sociale.

Stephenson, con molta arguzia, ha riconosciuto il vero significato della tecnologia degli assemblatori di Drexler, alla base dei compilatori di materia presenti nel romanzo. Questa tecnologia è di fatto affine all'immagine del mondo del Diciannovesimo secolo. Allora la scienza guida era stata la meccanica e con essa l'idea che tutto fosse calcolabile e controllabile fino all'ultimo. Anche Drexler punta sulla meccanica, e nei suoi scritti sottolinea di continuo che nella meccanosintesi tutti gli atomi sono controllabili. Che cosa fa Stephenson con questa teoria? Inventa una società classista che vede le proprie radici nel Diciannovesimo secolo e guarda indietro con ripugnanza al liberale Ventesimo secolo. Ognuno deve stare immutabilmente al proprio posto come un atomo nell'assemblatore di Drexler.

Anche se *Diamond Age* è un libro che ha fatto scuola, il romanzo che in pochissimo tempo ha procacciato un'incredibile popolarità a Drexler e alla nanotecnologia è un altro. I suoi ingredienti sono appunto la nanotecnologia di Drexler, ma anche la tecnoevoluzione di Kurzweil e l'intelligenza dello sciame di Bonabeau: stiamo parlando di *Preda*, best seller di Michael Crichton del 2002 [13].

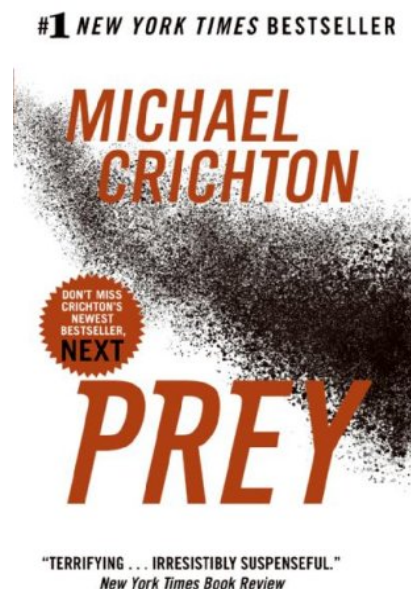


Figura 9. La copertina della prima edizione americana del romanzo *Prey* (2002).

Nel romanzo, l'azienda fittizia Xymos produce per il Pentagono, in un'isolata fabbrica del deserto californiano, nanoreplicatori. Essi sono in grado di volare avanti e indietro a sciame e possono essere disposti, tramite segnali radio, in modo tale da formare, per esempio, una

telecamera da spionaggio. Ma qualcosa va storto e l'intelligenza dello sciame va fuori controllo. In una evoluzione che procede a velocità enorme, questi sciame diventano sempre più intelligenti e attaccano infine uomini e animali. La disgrazia potrà essere evitata solo con la distruzione della fabbrica.

Inutile dire che questo scenario di estremo pericolo abbia indotto gli esperti del settore ad intervenire pubblicamente per tranquillizzare l'opinione pubblica. "E' realistico in modo inquietante nella misura in cui concerne l'intelligenza dello sciame e quello che potrebbe diventare possibile in un futuro prossimo", ammette Eric Bonabeau. "Però i nanoreplicatori sono un'idea tirata per i capelli." Thomas Christaller, uno degli esponenti di spicco della ricerca nel campo dell'intelligenza artificiale, è molto scettico. Difficile per lui che macchine così piccole possano eseguire operazioni così complesse. "Non esiste neppure uno sciame di virus. Alla Natura un'idea del genere non è venuta." Egli non crede che tra organismi unicellulari e organismi pluricellulari ci possa essere un terzo tipo di vita, ovvero lo sciame.

L'illustre fisico Freeman Dyson ha altri motivi per ritenere assurdi gli sciame rapaci di Crichton. Già i singoli robot non potrebbero funzionare. "L'energia solare, che cade su una superficie così piccola, non basta a spingere i loro movimenti, pur ammettendo che abbiano la capacità di utilizzarla al 100%," scrive nel *New York Review of Books* [27]. Sarebbe altrettanto impossibile che sciame di questo tipo possano raggiungere in volo persone che corrono cercando di scappare, come nel libro accade più volte. "La resistenza della corrente in aria o in acqua diventa sempre maggiore quanto più piccolo è un essere vivente", dice Dyson da buon fisico. "Perché i nanorobot si comportino come sciame di insetti, insomma, dovrebbero pure essere grandi quanto insetti".

I motivi di "allerta" scatenati dal romanzo nel mondo scientifico si comprenderanno meglio nel prossimo paragrafo. Quello che adesso è importante sottolineare nuovamente è l'ambiguità di fondo che accompagna la discussione intorno alle nanotecnologie. Nella fattispecie ci troviamo di fronte a uno scrittore di fantascienza (Crichton) che "mette in scena" le idee di uno scienziato (Drexler), per poi vedersele smontare sul piano scientifico da svariate figure di spicco della comunità scientifica. Certo non si scopre se è nato prima l'uovo o la gallina, quando si afferma che le critiche rivolte da più parti a Crichton sono in realtà critiche rinnovate a Drexler. Ma si dovrà pur ammettere che questo meccanismo risulta quanto meno bizzarro.

E Schummer ha davvero ragione, allora, quando afferma che "il disastroso impatto sull'opinione pubblica che ha avuto *Preda*, di certo non potrà essere placato, e la discussione pubblica intorno alle nanotecnologie riportata sui binari dell'obiettività, facendo affidamento

alla gran parte della letteratura *non-fiction*, che la comunità scientifica ha saputo produrre fino a questo momento ”.[23]

2.4 Poltiglia grigia e altri problemi

Nel corso di questo capitolo, abbiamo cercato di mostrare quali siano state le reazioni suscitate dalle rivoluzionarie idee di Eric Drexler, all’interno della comunità scientifica. Abbiamo avuto modo di sottolineare come queste siano state drastiche e in alcuni casi addirittura feroci.

A quanto pare, però, Drexler è un tipo con la scorza dura, cocciuto, uno che non si lascia intimorire facilmente. Anche perché piano piano vede fiorire intorno a sé qualche timido germoglio. Narducci ha espresso bene quale sia l’eredità più importante lasciata da Drexler a tutti coloro che oggi vivono e affrontano la ricerca nell’ambito delle nanotecnologie: “Se la distanza tra le capacità di auto-organizzazione della materia vivente e degli automi alla Drexler resta grande, qual è la lezione importante che la *suggestione* biologica insegna ai nanotecnologi? Certamente che è possibile progettare la complessità su scala nanometrica a partire da elementi semplici e più piccoli, che siano in grado per il modo in cui sono stati progettati, di interagire tra loro sviluppando per via cooperativa capacità funzionali” [10]. Questo, come abbiamo visto, è quello di cui si occupa a grandi linee la chimica supramolecolare.

Abbiamo poi imparato, tuttavia, che la disciplina maggiormente debitrice all’ingegnere americano è probabilmente la nanomedicina. Il linguaggio e le immagini preconizzati in *Engines of Creation* più di venti anni fa, infatti, fanno parte del Dna di quanti stanno rivoluzionando, grazie alle nanotecnologie, la medicina. All’inizio del capitolo abbiamo visto che in questo settore la condivisione dell’immaginario tra le diverse categorie sociali è talmente profonda, che si fa fatica a distinguere le parole di uno scienziato da quelle di uno scrittore di fantascienza.

Da ultimo, ci siamo soffermati sul mercato editoriale legato alle nanotecnologie. Abbiamo constatato che la letteratura non specialistica attinge a piene mani al patrimonio drexleriano, non soltanto per quanto riguarda i temi trattati, ma anche per quanto riguarda la struttura stessa delle opere: proprio come fa Drexler in *Engines of Creation*, gli autori che parlano di nanotecnologie, e tra essi soprattutto i futurologi e i transumanisti, ipotizzano scenari. Alternando sentimenti di fiducia incondizionata verso il progresso nanotecnologico, ad atteggiamenti di fatalistico catastrofismo, questa letteratura ha preso in ostaggio il proprio

pubblico portando il dibattito attorno alle nanotecnologie sui binari dell'irrazionalità. Su questo ultimo punto avremo modo di tornare ampiamente nel prossimo capitolo.

Prima di passare oltre, però, è necessario ripercorrere le tappe fondamentali del dibattito pubblico legato alle nanotecnologie: anche in questo caso sarà possibile ravvisare nell'atteggiamento dei protagonisti, nei tempi e nei modi dei loro interventi un'isteria diffusa che impedisce, anche oggi, di chiarire una volta per tutte questioni di importanza cruciale.

All'inizio di questo capitolo abbiamo descritto dettagliatamente le critiche mosse da Richard Smalley alle teorie di Drexler. Il titolo dell'articolo pubblicato nel primo numero di settembre del 2001 (qualche giorno prima dell'attentato alle Twin Towers) sulla rivista *Scientific American* [15], da solo, diceva già tutto: *Of chemistry, love and nanobots - How soon will we see the nanometer-scale robots envisaged by K. Eric Drexler and other molecular nanotechnologists? The simple answer is never.*

Eppure, il 12 maggio del 1999, Smalley non la pensava esattamente così. Quel giorno infatti, in un discorso tenuto alla *U.S. Senate Committee on Commerce, Science, and Transportation* [28], egli affermava che “impareremo a costruire oggetti al livello fondamentale un atomo alla volta, avendo il pieno controllo dell'intero processo”. Come è possibile che un premio Nobel cambi radicalmente idea nel giro di due anni? Cosa era successo tra il maggio del '99 e il settembre del 2001? Per cercare di rispondere a questa domanda dobbiamo riavvolgere un po' il nastro, tornando indietro di qualche anno.

Per tutti gli anni Novanta, le nanotecnologie sono state viste come una giovanissima promessa della scienza, una disciplina che ha tutte le carte in regola per diventare una autentica fuoriclasse, ma che per farlo deve allenarsi duramente e maturare ancora tanto. I primi risultati ottenuti nel settore rappresentano più opere di marketing per le aziende che li hanno prodotti, che realistiche applicazioni tecnologiche.

Nel 1990, per esempio, i ricercatori della IBM riuscirono a spingere atomi di xeno su una lastra di nichel fino a comporre le tre lettere del logo dell'azienda. Nel suo insieme questo logo misurava circa un quinto di miliardesimo di centimetro ed era visibile soltanto attraverso un microscopio elettronico. Il risultato fu considerato eccezionale e ricevette una notevole pubblicità. La IBM indusse la gente a ritenerlo il primo spiraglio verso la produzione molecolare, ma in realtà si era trattato piuttosto di un “virtuosismo”.

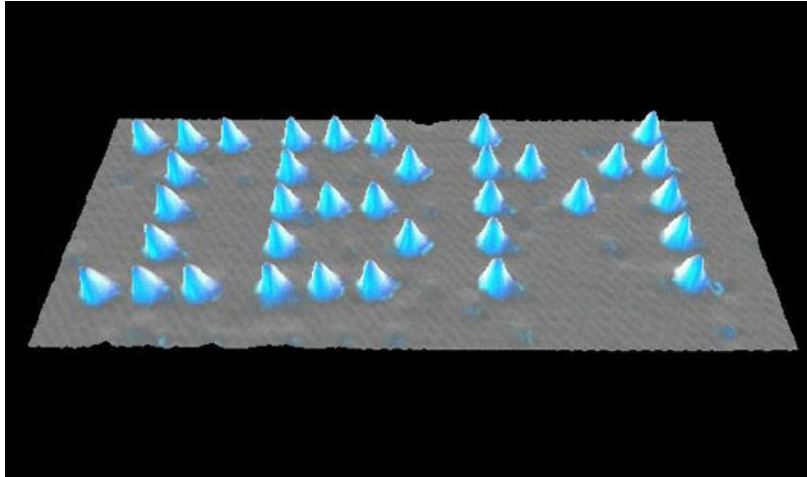


Figura 10. I 35 atomi di xeno su nichel che compongono il logo IBM.

Gli anni Novanta sono gli anni della cosiddetta *scienza della complessità*, una disciplina trasversale, come lo sarà anche la nanotecnologia, ma che non avrà le ricadute economiche e sociali proprie di quest'ultima. I teorici della complessità studiano fenomeni caotici apparentemente molto diversi tra loro: una goccia d'acqua che si spande, le fluttuazioni delle popolazioni animali, la linea frastagliata della costa, i ritmi della fibrillazione cardiaca, l'evoluzione delle condizioni meteorologiche, le oscillazioni dei prezzi. Roba affascinante, ma molto difficile da toccare con mano per chi non si intende di sistemi non lineari e teorie del caos.

Tutt'altro discorso va fatto invece per la disciplina che dominerà davvero incontrastata l'intero decennio: la genetica, o meglio, la genomica. Nel 1993, Bill Clinton scarica definitivamente i fisici, chiudendo il rubinetto dei finanziamenti per la realizzazione del super acceleratore di particelle avviata da Reagan nel 1984. Egli punta tutto sul Progetto Genoma Umano: l'America, insomma, vuole regalare all'umanità la mappatura del suo Dna. E vuole farlo entro la fine del secondo millennio. Nel 2001 la missione verrà portata a termine e sarà celebrata in pompa magna su televisioni e giornali. "Quando si dice porsi un obiettivo e seguirlo", avrà pensato Merkle.

Non è un caso, dunque, che il film simbolo degli anni Novanta sia Jurassic Park, film del 1993 diretto da Steven Spielberg e tratto dall'omonimo romanzo del solito Michael Crichton. E non è un caso neanche che uno dei protagonisti del film, interpretato da Jeff Goldblum, sia un matematico studioso delle teorie del caos. Per renderci conto della portata mediatica delle due opere, e per capire soprattutto quanto fossero maturi i tempi per parlare di genetica al grandissimo pubblico, basta dire che il romanzo ha venduto solo in Italia più di 500 mila

copie e che il film incassò al botteghino circa 1 miliardo di dollari, piazzandosi nella classifica degli incassi tra i primi dieci film di tutti i tempi.

Come vedremo tra breve, il 2002 era l'anno perfetto per pubblicare un romanzo sulle nanotecnologie. I primi anni Novanta, invece, non lo sarebbero stati affatto.

I primi finanziamenti pubblici rivolti alle nanotecnologie, gli istituti di ricerca cominciano a vederli soltanto verso la fine del 1998. I colossi informatici americani stanno facendo da traino e sono seguiti a ruota dai gruppi di ricerca impegnati nella scienza dei materiali. In una pubblicità televisiva del 1999, la Intel, la più nota fra le aziende produttrici di processori, dà il benvenuto ai cittadini di mezzo mondo nell'era delle nanotecnologie. Se il sottotitolo di *Engines of Creation* recitava *The coming era of Nanotechnology*, lo slogan della azienda americana suonava più o meno così: “[...] Come si fa a fare tutto questo? Nanotechnology, benvenuti nell'era dell'infinitamente piccolo.” Decisamente *cool*.

L'anno della vera svolta tuttavia è proprio il 2000. Nei primi giorni del terzo millennio, quando giornali e tv stanno ancora parlando dello scampato “pericolo” rappresentato dal *millennium bug*, Bill Clinton fonda il National Nanotechnology Initiative (NNI), l'agenzia governativa che si occuperà di stabilire gli obiettivi della ricerca nanotecnologica americana e di conseguenza di gestire i finanziamenti che le verranno concessi.

Nella stessa aula del Caltech in cui quaranta anni prima Feynman aveva tenuto il suo famoso discorso, il 21 gennaio del 2000, Clinton si rivolge all'*intelligentia* scientifica americana, richiamando apertamente le idee del geniale fisico americano e celebrando i benefici che l'umanità potrà trarre dalla manipolazione della materia su scala atomica [29].

Consapevolmente o meno, nel discorso del Presidente riecheggiano le suggestioni drexleriane riguardanti la nanomedicina. Egli sta rinnovando l'annoso impegno degli Stati Uniti nella lotta contro il cancro. “Ci siamo,” deve aver pensato Ralph Merkle. Purtroppo per lui però, di lì a qualche mese qualcosa andrà storto.

Appena 2 mesi dopo l'istituzione del NNI, sul numero di aprile della rivista di computer e glamour *Wired*, viene pubblicato un articolo dal titolo *Why The Future Doesn't Need Us*, ovvero “Perché il futuro non ha bisogno di noi” [30].

L'autore è Bill Joy, il capo della Sun Microsystems. Non è un addetto ai lavori, dal momento che sviluppa software e non nanotecnologie. Egli è tuttavia uno scienziato stimato e soprattutto una persona molto influente. Le sue preoccupazioni non erano rivolte verso le nanotecnologie già disponibili, ma verso quelle concepibili. A tormentarlo erano i nanobots e il grey goo, insieme ad altri elementi choc delle biotecnologie e della ricerca sull'intelligenza artificiale. Nel testo pretendeva per la prima volta uno stop alle ricerche, anche temporaneo,

per avere innanzitutto una visione d'insieme sulle dimensioni dei rischi associati allo sviluppo nanotecnologico.

“Maledetto grey goo”, avranno pensato nei corridoi del Foresight che, ironia della sorte, si trova a dieci minuti di automobile dal quartier generale della Sun Microsystems, a Santa Clara. Probabilmente anche Smalley deve aver pensato la stessa cosa. In ballo ci sono un sacco di soldi e il senato entro la fine dell'anno deve ratificare l'NNI, dando il via libera alla prima ondata dei nano-finanziamenti. Bisognava correre ai ripari.

Per queste ragioni, in un intervento tenuto nell'ottobre del 2000 alla *Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering & Technology*, Smalley afferma che “i nanobot sono impossibili da realizzare, che né oggi né domani rappresenteranno nulla di reale: sono pura fantasia infantile. Non dovremmo permettere a questo incubo non meglio definito di spaventarci dal perseguire la ricerca nanotecnologica [...]: la NNI deve andare avanti ” [31]. Come abbiamo già visto, egli rincarerà la dose qualche mese più tardi sulle pagine di *Scientific American*.

Si arriva così al 2001, l'NNI viene ratificata dal senato e arrivano i primi finanziamenti. Quali sono le primissime priorità della ricerca nanotecnologica statunitense?

Sebbene il discorso fatto dal Presidente Clinton all'inizio del 2000 aprisse molto più di uno spiraglio alla fabbricazione molecolare, di essa non c'è traccia alcuna nei documenti ufficiali redatti dalla NNI: si parla di *nanoscale technology*, ovvero di tutto ciò che abbia una dimensione compresa tra 1 nm e 100 nm e che mostri proprietà innovative. Essenzialmente ci si concentra sull'innovazione nella scienza dei materiali e sullo studio delle loro applicazioni. Difficile identificare un campo d'azione più vasto di questo. C'è dentro un po' di tutto, tranne che la *molecular manufacturing*: lo scenario del grey goo invocato da Bill Joy le ha tagliato di netto le gambe. Quello che stupisce è la mancanza di un obiettivo preciso verso cui concentrare gli sforzi. E questo, indubbiamente, rappresenta una debolezza.

Un altro colpo alla nano-community lo assesta il gruppo canadese dell'ETC (*Group on Erosion, Technology and Concentration*). Nell'estate del 2002 esige anch'esso uno stop delle ricerche: questa volta però non ci si preoccupa dei nanorobot, ma delle nanoparticelle. *Preda* di Michael Crichton viene pubblicato in questo momento, in un contesto cioè in cui regna l'incertezza che esso non può far altro che alimentare.

Nel 2003 il gruppo rafforza la propria richiesta con un ulteriore documento, a giugno organizza a Bruxelles, presso il parlamento europeo una manifestazione informativa sui rischi e a luglio Greenpeace si arruola nella falange dei nuovi detrattori. In questo modo il dibattito

sulla nanotecnologia che era cominciato con il tetro articolo di Bill Joy viene ratificato da cima a fondo. Questa volta però non si discute di fantascienza ma di eventi.

Allo stato attuale, dagli studi sulla nanotossicità, tutto sommato sporadici e insufficienti se paragonati alla complessità del problema, emerge un quadro nebuloso, poco definito, con più domande aperte che risposte certe.

Nel frattempo le nanotecnologie continuano ad attirare l'interesse non solo scientifico ma anche e soprattutto economico di molti soggetti, sia pubblici, sia privati di tutto il mondo. La spesa globale in questo settore è stimabile attualmente in più di 6 miliardi di dollari l'anno ma è presumibile che questo numero debba crescere notevolmente nel prossimo decennio.

3. Il mito del Grey Goo

Una volta il grande Niels Bohr ha detto: “E’ difficile fare previsioni, specie sul futuro”. Non tutte le menti sagge del secolo scorso erano dotate di tale sagacia. Alcuni hanno fatto pronostici che oggi ci paiono assurdi e fanno sorridere.

Heinrich Hertz, lo scopritore delle onde radio, disse nel 1884: “ Le onde radio non saranno mai utilizzate per scopi comunicativi”. Il matematico Henri Poincarè già nel 1901 si mostrava più cauto: “Le onde radio non saranno in grado di attraversare l’oceano Atlantico”. Non era ancora finito l’anno quando Marconi riuscì a fare la prima trasmissione transatlantica.

Il celebre Lord Kelvin esternò ancora nel 1895: “Le macchine volanti, che sono più pesanti dell’aria, non sono possibili”. Dopo aver chiarito l’errore dello scienziato, la rivista *Science Digest* profetizzò nel 1948: “Un atterraggio e operazioni sulla Luna ci presentano così tanti problemi di gravità che ci vorranno duecento anni prima che si risolvano”.

Poco tempo prima, nel 1943, l’allora capo della IBM Thomas Watson aveva formulato il flop più conosciuto della storia della tecnologia: “A mio parere nel mercato mondiale ci sarà spazio forse per cinque computer”. Ken Olson, fondatore della casa produttrice di computer, Digital Equipment Corporation, disse nel 1977: “Non c’è nessun motivo per cui gli uomini a casa debbano avere un computer”. Questo certo non lo pensava Bill Gates, e lo sviluppo gli ha dato ragione. Ma nel 1981 fu proprio lui a pronunciare la frase che segue: “640.000 byte dovrebbero bastare per tutti”. 640 Kb? Non bastano neanche per un minuto di musica in formato digitale.

Insomma, se gli esperti prendono simili cantonate, non saranno da prendere seriamente i pronostici di menti più fantasiose? Eric Drexler o Ray Kurzweil avranno forse ragione? Arriveranno gli assemblatori? E le macchine prenderanno il controllo del mondo?

La cosa, come ovvio, non è così semplice. Esistono anche pronostici insensati che ovviamente sono stati smentiti dai fatti. A metà del Ventesimo secolo, soprattutto negli Stati Uniti, sorsero delle *think tank*¹ come la Rand Corporation in Mode. Molto spesso si trattava di gruppi di scienziati di grosso calibro, che cercavano di calcolare in anticipo le tendenze del futuro. Ecco che cosa ne venne fuori: oggi, poco dopo la svolta del secolo, possiamo evitare gli uragani e attingere alle ricchezze del sottosuolo con cariche esplosive nucleari, tutti i bambini del mondo vanno a scuola, gli scienziati volano in jet attraverso il sistema solare alla ricerca di

¹ Alla lettera, “serbatoio di pensiero”, una *think tank* è un organismo, un istituto, una società o un gruppo, tendenzialmente indipendente dalle forze politiche (anche se non mancano anche *think tanks* governative), che si occupa di analisi delle politiche pubbliche e quindi nei settori che vanno dalla politica sociale alla strategia politica, dall’economia alla scienza e la tecnologia, dalle politiche industriali o commerciali alle Consulenze militari.

nuove materie prime, il prodotto interno lordo dell'Unione Sovietica è maggiore di quello della UE ed esiste un vaccino per quasi tutti i virus immaginabili. Questi pronostici si basavano su elaborati calcoli approssimativi.

Giunti a questo punto, probabilmente è giusto porsi una domanda: esiste una dichiarazione sensata su quello che succederà?

Scrivono Marvin Minsky nella prefazione di *Engines of Creation*: “Per prima cosa è virtualmente impossibile prevedere in dettaglio quali alternative diverranno tecnicamente realizzabili su un intervallo di tempo di qualsiasi lunghezza. Perché? Semplicemente perché se si potesse prevedere tutto con chiarezza, probabilmente si riuscirebbe a raggiungere quelle stesse cose in molto meno tempo, ammesso che ci sia la volontà di farlo. Un secondo problema è che risulta ugualmente difficile fare supposizioni sul carattere dei cambiamenti sociali che hanno maggiori probabilità di accadere. Considerate tali incertezze, guardare avanti è come costruire una torre di ragionamenti molto alta e sottile”.

Come abbiamo avuto modo di sottolineare, oggi i ricercatori fanno qualcos'altro: abbozzano scenari possibili. Non sono pronostici. Naturalmente anche qui si devono fare stime approssimative da immettere in modelli computazionali più o meno complessi. Ma il risultato vale solo ammettendo che sopraggiungano determinati sviluppi. Ciascuno degli scenari così ricavati è immaginabile; ma nessuno azzarderà mai un grado di probabilità, perché nonostante i modelli c'è sempre un punto in cui entra in gioco l'intelletto umano.

“Al momento presente la nanotecnologia è ancora a uno stadio iniziale”: questa valutazione della National Science Foundation americana, nell'introduzione al proprio sondaggio degli esperti del 2001, è valida ieri come oggi.

Certo, in tutto il mondo ci sono già oltre settecento aziende che lavorano a procedimenti e prodotti nanotech. Alcune di loro sono grossi gruppi dell'industria dei computer o di quella chimica, molte sono giovani leve dell'università e degli istituti di ricerca. Ma non possiamo ancora comprare fino in fondo i loro prodotti. La situazione assomiglia forse a quella della tecnologia dell'informazione alla fine degli anni Sessanta. Il computer come strumento quotidiano non c'era ancora e Internet collegava appena un paio di università [17].

Alla luce di queste considerazioni e degli argomenti fin qui discussi, la domanda posta nell'introduzione assume, se possibile, un significato ancora più forte: se è vero, cioè, che fino a questo momento il progetto dell'assemblatore di Drexler non ha ricevuto neanche un dollaro di finanziamenti, che la nanotecnologia è una disciplina appena nata, circa gli sviluppi della quale è quasi impossibile fare previsioni, per quale ragione nei documenti ufficiali della Comunità europea, alla voce rischi, trova cittadinanza il Grey Goo, senza ombra di dubbio la

deriva più “delirante” della costruzione drexleriana? In altre parole, se questo famigerato Grey Goo non può essere considerato un rischio reale, perché preoccuparsi di dare a esso legittimità agli occhi dei cittadini europei, trasformandolo in una sorta di mito della distruzione da esorcizzare a tutti i costi?

3.1 La poltiglia grigia nella società del rischio

Le apprensioni legate all’idea che lo sviluppo delle nanotecnologie possa condurre, in tempi più o meno lunghi, alla realizzazione di dispositivi che nel linguaggio comune potremmo definire *vivi* e che, basandosi su una chimica del tutto diversa da quella del carbonio, potrebbero competere con noi stessi e con altre forme di vita nella lotta per la sopravvivenza, sono dal punto di vista scientifico ampiamente ingiustificate. Il timore che i nanobot possano acquisire autocoscienza e capacità di autodeterminazione, oltre che la capacità stessa di riprodursi nel senso biologico del termine, somiglia molto da vicino al timore che, negli anni Cinquanta, si affiancava alla nascita dei primi elaboratori elettronici [10].

L’introduzione dei primi computer, quelli che non a caso venivano chiamati “cervelli elettronici”, creò ansie circa la possibilità che i nuovi strumenti di calcolo, opportunamente evoluti dal punto di vista tecnico, potessero un giorno prendere il sopravvento decidendo al posto dell’uomo e, magari, contro di esso.

Un esempio di tale atteggiamento si trova nel famosissimo film di Stanley Kubrick *2001: Odissea nello spazio*², tratto dal racconto *The sentinel* di Arthur C. Clark. Protagonista di questo capolavoro della storia del cinema è l’elaboratore HAL-3000. Dopo aver conversato a lungo con gli astronauti della nave spaziale che lui stesso guidava nel suo viaggio verso un’intelligenza superiore, questo super computer decideva all’ultimo momento di eliminare quelle inutili forme di vita basate sul carbonio chiudendole fuori dall’astronave. Solo la determinazione degli astronauti riusciva a invertire le parti salvando gli uomini dalla macchina.

Nel caso delle nanotecnologie, la prospettiva di poter disporre di elaboratori infinitamente più potenti di quelli esistenti perché fondati su tecnologie *nano* invece che microelettroniche

² Il già citato Marvin Minsky, informatico americano esperto di intelligenza artificiale e autore della prefazione di *Engines of Creation*, fu uno dei consulenti per il film *2001: Odissea nello spazio*, venendo citato sia nel film, sia nel libro: “Probabilmente nessuno l’avrebbe mai saputo; non sarebbe importato. Negli anni ‘80, Minsky e Good avevano mostrato come le reti neurali potessero essere generate automaticamente -autoreplicate- in accordo con un qualsiasi arbitrario programma di apprendimento. Cervelli artificiali potrebbero venire fatti evolvere con un processo strettamente analogo allo sviluppo di un cervello umano. In ogni caso dato, i dettagli precisi non si sarebbero mai conosciuti, e anche se lo fossero, sarebbero milioni di volte troppo complessi per la comprensione umana”.

Minsky rischiò anche di rimanere ucciso in un incidente sul set.

rimanda naturalmente alla preoccupazione che dispositivi di ultima generazione possano acquisire autocoscienza e decidere, perché no, anche di annientare il genere umano. Se poi queste macchine possono essere anche infinitamente piccole, l'angoscia di invisibili *formiche intelligenti* completa il quadro.

Ritenere tuttavia che uno scenario come quello del Grey Goo costituisca materiale buono soltanto per film e romanzi risulta piuttosto ingenuo, a meno di voler considerare un documento ufficiale della Comunità europea un testo di *fiction* e rinunciare a uno paradigmi fondamentali che hanno contraddistinto il rapporto tra scienza e società negli ultimi cinquant'anni, ovvero il concetto di rischio tecnologico.

A differenza di quelle passate, infatti, le società industrializzate non devono più difendersi solo dai pericoli naturali, ma anche dai rischi generati dallo stesso sviluppo tecnologico che ne ha permesso il fiorire e il prosperare.

Catastrofi tecnologiche come quelle di Bhopal, Chernobyl o la mucca pazza rappresentano un'inedita minaccia che scaturisce dall'*interno* delle società industrializzate e hanno profonde ripercussioni sull'immaginario pubblico, acuendo il timore che le società contemporanee siano vulnerabili al collasso dei grandi sistemi tecnologici [32].

Il saggista britannico Gordon Rattray Taylor, riflettendo sulle implicazioni sociali delle più recenti scoperte della biologia molecolare e della biomedicina, già nel 1968 aveva sostenuto che, se lasciata senza controllo, la tecnologia può arrivare a distruggere tutte le culture del mondo: “Sembra del tutto possibile che la quantità di innovazione tecnologica possa essere così grande da distruggere la civiltà occidentale, forse persino tutte le culture del mondo dall'interno: che possa creare una società disorientata, infelice e improduttiva, a meno che non la si ponga sotto un deliberato controllo [33]”.

A terremoti, eruzioni vulcaniche, alluvioni e carestie, insomma, nella società contemporanea si aggiungono nuovi pericoli prodotti dalle conoscenze scientifiche e dalle loro applicazioni: “mentre la mente primitiva teme le forze della natura, la mente scientifica teme il potere del pensiero [34]”. Anche perché, per la prima volta nel corso della sua storia, l'uomo ha davvero la consapevolezza della sua formidabile capacità di lasciare un'impronta indelebile nella biosfera.

Il Novecento ha drammaticamente mostrato che l'umanità ha la capacità di distruggere se stessa, ha la capacità di influire sulla dinamica del clima globale, ha la capacità di accelerare l'erosione della biodiversità. In altre parole, è a partire dal Novecento che l'uomo *sa* di essere l'attore ecologico globale per eccellenza. La ragione è che ne ha piena e documentata cognizione [35].

Questa coscienza ecologica ha spinto la società a porsi in maniera sistematica il tema dell'origine, della percezione e del governo del rischio a ogni livello: locale, regionale, globale. Dal negoziato sui cambiamenti climatici delle Nazioni Unite alla collocazione del termovalorizzatore ad Acerra, dalla lotta al terrorismo internazionale alla fecondazione medicalmente assistita, dalla realizzazione del sito definitivo di stoccaggio dei rifiuti radioattivi allo Yucca Mountain o a Scanzano al pericolo terremoto, dal libero scambio delle merci al libero movimento degli uomini. Quasi all'improvviso, nel Ventesimo secolo, il concetto di rischio è entrato così prepotentemente nella vita individuale e collettiva da spingere il sociologo Ulrich Bech a definire la nostra la "società del rischio".

Scrivono Pietro Greco: "La coscienza enorme del rischio (di alcuni rischi) è certo associata a quella della tecnica e della scienza, oltre che alla nostra consapevolezza di essere diventati attori ecologici globali, in grado di influire sull'ambiente in cui viviamo e, quindi, su noi stessi. Cioè ogni considerazione sul rischio e sulla sua percezione non può prescindere dalle considerazioni sul nuovo ruolo che tecnica, scienza e ambiente hanno assunto nella nostra società e nel nostro immaginario. Ma è anche vero il contrario: l'intera gamma dei nuovi rapporti tra tecnica e società, scienza e società, ambiente e società trovano sintesi ed espressione cogente nella questione del rischio. Non ci porremmo gli attuali problemi su tecnica, scienza e ambiente, e non li riterremmo decisivi per la nostra società e per la nostra vita individuale, se essi non fossero associati a dei rischi, veri o presunti. Perciò un fatto è certo: nella nostra società, nella "società del rischio", l'individuazione, la comprensione e il controllo del rischio costituiscono uno degli snodi più importanti della dialettica democratica [35]".

A questo punto qualcuno potrebbe obiettare: "Cosa c'entrano col grey goo lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi, la clonazione o i cambiamenti climatici? Questi ultimi sono rischi reali, comprovati, mentre la cosiddetta poltiglia grigia è soltanto la rappresentazione mentale di un rischio e quasi certamente non corrisponderà mai a niente di reale".

Il punto è esattamente questo: il grey goo, in quanto rappresentazione, racconto, simbolo del rischio nanotecnologico, è diventato una chiave di lettura collettiva attorno alla quale costruire il dibattito pubblico necessario per tracciare gli sviluppi reali della nanotecnologia. L'affermazione potrebbe sembrare azzardata, ma se si ripercorre mentalmente la successione degli eventi che hanno seguito il discorso del Presidente Clinton del gennaio 2000, ci si potrà facilmente rendere conto di come il grey goo abbia svolto un ruolo tutt'altro che fittizio.

Esso ha attecchito perché i suoi semi sono stati gettati in un terreno molto fertile. Come vedremo nel prossimo paragrafo, infatti, "le narrazioni sul rischio tecnologico sono miti della

modernità e, come tali, costituiscono un terreno di confronto per interessi e valori contrapposti che sono alla base dei dibattiti pubblici nella società del rischio [32]”.

3.2 Sulla scia di Frankenstein

Il primo è una creatura assemblata con pezzi di cadaveri; il secondo è un insieme di nanobot assemblati con atomi di carbonio e silicio. Il primo ha le sembianze di un mostro; il secondo è una viscida poltiglia grigia. Il primo si ribella contro il suo creatore; il secondo annienterà tutta l'umanità.

Frankenstein e il Grey Goo: tanto diversi, eppure così simili. Certo, la creatura mostruosa dipinta da Mary Shelley decide coscientemente di uccidere il dottor Frankenstein, mentre il Grey Goo obbedisce a un “istinto” di sopravvivenza di tipo meccanicistico e assolutamente disinteressato. Il mostro poi vive in un romanzo, mentre la melma grigiastra in un saggio, che risulta sì di fantascienza, ma conserva pur sempre il rigore di una pubblicazione scientifica. Le differenze potrebbero certamente continuare.

Quello che invece ci interessa sottolineare qui è una sorprendente identità di fondo tra le due figure: entrambe ripropongono il tema antico del potere e dei rischi della conoscenza applicati alla creazione della vita e, più in generale, alla manipolazione della materia.

Quello che faremo da qui alla fine allora, sarà approfittare di Frankenstein per parlare in realtà del Grey Goo: mostrando sovrapposizioni e scostamenti, cercheremo, cioè, di evidenziare le ragioni che fanno del Grey Goo, inteso come narrazione di un rischio tecnologico, un mito della modernità alla stregua di Frankenstein.

Nel tracciare questo percorso faremo spesso riferimento ai lavori di diversi studiosi che nel corso degli anni si sono occupati, in generale, delle rappresentazioni sociali della scienza, e in particolare, della figura di Frankenstein. Non bisogna certo dimenticare, infatti, che se il Grey Goo ha mosso i suoi primi passi all'alba del terzo millennio, nel 2008 la creatura di Mary Shelley compie centonovanta anni.

Nella cultura moderna, il termine “mito” ha assunto un'accezione spregiativa, finendo per indicare tutto ciò che è frutto di mistificazione, distorsione, illusione, irrazionalità, e in definitiva ciò che non appartiene al mondo dei fatti reali o verificabili. In altre parole, al mito associamo una visione del mondo che potremmo definire pre-scientifica. Tuttavia, recuperando l'originaria accezione greca, il mito può anche essere considerato un potente strumento “per accedere a una verità che si cela in qualche modo al di là della comune esperienza quotidiana [36]”.

L'intera storia dell'uomo si potrebbe rileggere come un'ininterrotta successione di miti, ciascuno dei quali sostituisce o reinterpreta i precedenti. Oggi cyborg e androidi hanno preso il posto del Golem e degli automi meccanici sognati da Dedalo, biotecnologie e clonazione perseguono le ambizioni del dottor Frankenstein, il segreto dell'atomica è il fuoco che l'uomo di scienza ha strappato agli dei e, con le nanotecnologie, si rinnova il sogno alchemico di trasformare la materia a piacimento.

La storia di Frankenstein si inserisce nel filone narrativo che illustra i rischi legati al controllo della conoscenza. Perché se la conoscenza è potere, è vero anche che il potere va governato con saggezza: non bastano le competenze, occorre anche responsabilità. Le *Foresight Nanotech Institute Guidelines for Responsible Nanotechnology Development* [11] in fondo rappresentano proprio questo: un invito, un'esortazione, ma allo stesso tempo un monito a vigilare sempre e in maniera responsabile sullo sviluppo nanotecnologico, proprio perché se ne avvertono le incredibili potenzialità e di conseguenza i rischi.

In questo filone narrativo, che può essere fatto risalire al mito di origine egizia dell'apprendista stregone, rientrano il Golem della tradizione giudaica o il mito greco di Pigmalione, che affrontano quello che è forse il più grande dei poteri della conoscenza: il dono di infondere vita alla materia inerte.

A questo riguardo va fatto notare che la scelta di Drexler di intitolare il suo saggio *Engines of Creation*, ovvero Motori di Creazione non può essere casuale. Sebbene lo scienziato americano, pur traendo ispirazione dalla natura, non intende infondere la vita alla materia nel senso biologico del termine, non può certo sfuggire la scelta dei campi semantici ai quali appartengono le parole utilizzate nel titolo dell'opera: i "Motori" non possono che richiamare il mondo della meccanica, dell'ingegneria, della *tecnica*; la "Creazione", invece, è il termine biblico per eccellenza e non può non rimandare al concetto di sacralità della vita. Tecnica e vita: nel testo la mescolanza di questi due campi semantici è fortissima.

Questo è un punto centrale della nostra trattazione. Perché se è vero, come sostiene Luciano Gallino, che "le immagini e le credenze guidano i comportamenti sociali, influenzano scelte politiche e decisioni economiche, condizionano lo sviluppo di ricerca scientifica e industria [37]", capiamo come mai le idee drexleriane, Grey Goo in testa, abbiano già lasciato un segno indelebile nella pur breve storia delle nanotecnologie. Il linguista George P. Lakoff sostiene che "in ogni controversia ha la meglio chi riesce a imporre il proprio linguaggio, perché il linguaggio trasmette una precisa visione del mondo [38]". Ne sono certo ben consapevoli gli attivisti di Greenpeace ogni volta che, con i loro gommoni, affrontano un bastimento di sementi transgeniche, riproponendo in chiave simbolica il duello biblico tra Davide e Golia. E

di sicuro ne era altrettanto consapevole il premio Nobel Walter Gilbert quando, allo scopo di attirare gli ingenti finanziamenti necessari, definì il Progetto Genoma Umano “il Santo Graal della genetica”, usando un simbolo di immortalità della mitologia religiosa per alludere a un’implicita promessa di futuri benefici in campo medico [39].

Da questo punto di vista la vicenda di Eric Drexler diventa decisamente unica. Se infatti i tanto agognati finanziamenti per avviare la fabbricazione molecolare non arrivano, gran parte della colpa, in fondo, si deve proprio al Grey Goo. L’ingegnere americano, insomma, è stato vittima del suo stesso linguaggio, o meglio, della forza con la quale esso ha attecchito nella società.

Se nei miti dell’antichità infondere la vita era possibile soltanto per intercessione divina, gli alchimisti medievali al contrario aspirano a fare tutto da soli e progettano di creare artificialmente un essere umano in miniatura, l’*homunculus*, combinando tra loro gli elementi naturali.

Nei secoli successivi sarà la scienza a coltivare questo sogno proibito e a tracciare la strada sarà il capolavoro della letteratura romantica di Mary Shelley, *Frankenstein, or the modern Prometheus* (Frankenstein, o il moderno Prometeo), pubblicato per la prima volta a Londra nel 1818. Il protagonista, il giovane e ambizioso Victor Frankenstein, è infatti uno studioso, uno scienziato che viene travolto dall’ossessione di svelare il segreto della vita:

Il mondo per me era un mistero da scoprire. Curiosità, bruciante volontà di impadronirmi delle leggi segrete della natura, e una felicità vicina all’estasi quando esse mi si svelavano.

Questo Victor Frankenstein è davvero un moderno Prometeo, un eroe totale, che per dissetare la sua sete di conoscenza decide addirittura di sconfiggere la morte.

Ma come osserva Jean-Pierre Vernant, la conquista del fuoco da parte del Prometeo autentico nascondeva già per i greci un lato oscuro e selvaggio:

Il fuoco di Prometeo, rubato con astuzia, è proprio un fuoco “tecnico”, un processo intellettuale che differenzia gli uomini dalle bestie e ne consacra il carattere di creature civilizzate. E tuttavia, nella misura in cui il fuoco umano, contrariamente a quello divino, ha bisogno di alimentarsi per vivere, ricorda anche l’aspetto di una belva che, quando si scatena, non può più fermarsi. Brucia tutto, non solo il nutrimento che gli viene dato, ma si appicca alle case, alle città, alle foreste; è come una bestia che arde, affamata, e che niente riesce a saziare [40].

Il linguaggio utilizzato dallo studioso francese e il meccanismo della devastazione dovuta alla perdita di controllo del fuoco da lui descritto, ricorda veramente da vicino le dinamiche di devastazione proprie dello scenario grey goo: sciame formato da miliardi di nanoreplicatori

che si moltiplicano esponenzialmente e che per farlo inghiottono, decompono, qualsiasi forma di vita presente sul pianeta. Per descrivere l'invasione dal Grey Goo, Freitas ha paragonato la biosfera alla "capocchia di un fiammifero che brucia nel giro di qualche secondo".

Il sogno del dottor Frankenstein si corona in una stanzetta solitaria all'ultimo piano della sua abitazione, quando egli riesce finalmente ad animare la sua creatura. Presto, però, quel sogno si rivelerà un vero e proprio incubo, perché la creatura, dai tremendi tratti mostruosi, si ribellerà al suo creatore.

Il romanzo di Mary Shelley segna una rottura con le narrazioni precedenti perché Frankenstein non ricorre a poteri magici o divini, bensì anima la materia grazie alle sue conoscenze scientifiche. Il saggista britannico Jon Turney, che per lungo tempo si è occupato delle rappresentazioni sociali legate alle scienze della vita, scrive:

E' precisamente l'elettrificazione di Paracelso che individua Frankenstein come punto di svolta nella transizione dal fantastico soprannaturale al plausibile scientificamente [41].

Il dottor Frankenstein non ha bisogno di scendere a patti col diavolo per ottenere il successo ed è soltanto grazie alla scienza che ottiene il segreto della vita, così come è la sete di conoscenza a renderlo cieco di fronte alle conseguenze [32].

Ed è proprio su questo ultimo punto, cioè sulla consapevolezza del rischio, che si fonda il distacco tra l'opera di Drexler e quella di Shelley. Come abbiamo sottolineato sin dalla fine del primo capitolo, se Frankenstein e il Grey Goo ci sono subito parsi parenti stretti, Drexler e Shelley non si somigliano affatto.



Figura 11. Mary Shelley (intorno al 1830) ed Eric Drexler (all'inizio degli anni Novanta).

Se in Frankenstein la figura dello scienziato è interpretata da un personaggio del romanzo, in *Engines of Creation* la figura dello scienziato è interpretata dall'autore; se Mary Shelley vive

gli albori della Prima rivoluzione industriale, Drexler è a tutti gli effetti un cittadino della società del rischio. Basti pensare che il suo libro viene pubblicato due mesi dopo il disastro di Chernobyl. Tutto questo ha conseguenze molto profonde.

Drexler è un ingegnere molecolare del Mit, uno dei luoghi in cui, per antonomasia, si *fa* la scienza. Il fatto che sia una figura di questo tipo a delineare scenari fantascientifici, mantenendo tuttavia il rigore scientifico nelle proprie argomentazioni, trasforma, agli occhi del grande pubblico, quel *plausibile scientificamente*, utilizzato da Turney per descrivere Frankenstein, in un *altamente probabile*. Non basta.

Drexler infatti è conosciuto dalla comunità scientifica come un inguaribile ottimista, un vero e proprio profeta del progresso. Il fatto che sia proprio lui a dipingere lo scenario di devastazione del Grey Goo, quale rischio supremo da evitare a ogni costo, fornisce una sorta di credibilità a tutta la sua narrazione, anche agli occhi dei suoi più acerrimi detrattori. Il motivo è che nella società del rischio, come abbiamo sottolineato in precedenza, la valutazione delle conseguenze degli sviluppi tecnologici costituisce un vero e proprio dato culturale. Soprattutto per chi si occupa di scienza.

Qualcuno forse potrebbe obiettare: “Ma il fatto che sia proprio uno scienziato ad aver partorito un’idea come quella del Grey Goo, non costituisce una sconfitta per la comunità scientifica? Invece di regalare immagini prive di fondamento scientifico, uno scienziato non dovrebbe piuttosto preoccuparsi di fornire certezze, con la massima confidenza possibile?”

A meno di “pericolose” derive alle quali accenneremo nella conclusione, riteniamo che le narrazioni su scienza e tecnologia, e a maggior ragione quelle elaborate da uno scienziato, sono la prova di come, oggi più che mai, la scienza sia profondamente radicata nella società:

La scienza è cultura: come tale, si propaga non solo e non tanto nella forma di nozioni, concetti, affermazioni, ma anche per mezzo di storie, di metafore, di sogni, di rappresentazioni mentali sotterranee complesse nelle quali l’ambivalenza gioca un ruolo cruciale [42].

Scrivo a questo proposito Giancarlo Sturloni: “Del resto la dialettica degli opposti è uno schema ricorrente nelle narrazioni mitologiche, e l’immaginario scientifico ha acquisito una forte valenza mitica. Ciò non dovrebbe sorprendere: la scienza è prima di ogni altra cosa conoscenza, e le storie che ne illustrano i rischi e i benefici hanno finito per sovrapporsi e sostituirsi ai racconti precedenti, costituendo terreno fertile per l’affermarsi di una vera mitologia della modernità [32]”.

Secondo Turney, la storia di Frankenstein è un mito moderno perché “affresca un’impresa umana fuori controllo e una creatura che si rivolta contro il suo creatore [...], dando

espressione a molte delle paure e dei desideri più profondi circa la modernità, fondandoli sulla scienza e non sul soprannaturale [41]”.

Alla luce delle argomentazioni addotte, riteniamo che le parole di Turney siano valide anche per lo scenario del Grey Goo. Se abbiamo ragione, forse abbiamo trovato anche la risposta alla domanda che ci ha portato fin qui: il Grey Goo trova piena cittadinanza nei documenti della Comunità europea rivolti al pubblico, perché è diventato un mito della modernità, in quanto narrazione del rischio nanotecnologico.

Conclusioni

Scrivere oggi un libro sulle nanotecnologie è un po' come stendere il resoconto di un viaggio intorno al mondo in barca a vela appena una settimana dopo essere partiti.

Sappiamo molto sulle tecniche di navigazione e sul modo di sfruttare i venti, conosciamo i dettami del progetto dello scafo, i materiali avanzati usati per le vele, i sofisticati sistemi di orientamento. Possiamo descrivere la rotta presunta e il percorso che abbiamo seguito finora. E conosciamo le previsioni atmosferiche per i prossimi cinque giorni.

Ma su quanto durerà il viaggio, se incontrerà lunghi periodi di bonaccia o viaggerà invece filato con gli alisei in poppa, se sarà ostacolato o addirittura interrotto da violente burrasche, se dovrà confrontarsi con sbuffiate, rotture dell'albero o del timone, be', su tutto questo non possiamo che speculare, immaginare, sperare [7].

Con queste parole Gianfranco Pacchioni, un *insider* del nanocosmo, descrive le difficoltà che si incontrano oggi nel raccontare gli sviluppi di una disciplina, che somiglia molto da vicino a un adolescente che non ha ancora deciso cosa vuole fare da grande perché gli riescono già bene un sacco di cose.

In questo lavoro di tesi abbiamo fatto capolino nelle nanotecnologie dall'esterno, concentrandoci sull'immaginario pubblico legato a questa disciplina, nella convinzione che esso possa determinare gran parte delle "burrasche" reali o presunte di cui parla Pacchioni.

Riteniamo di aver dimostrato che scienziati e grande pubblico condividano lo stesso immaginario quando si parla di nanotecnologie.

Riteniamo inoltre che l'origine di questo immaginario comune debba essere rintracciata nelle idee, nelle immagini e nelle suggestioni coniate nel 1986 da Eric Drexler nel suo saggio di divulgazione, *Engines of Creation*.

Per arrivare a queste conclusioni abbiamo analizzato l'opera, gli orientamenti del mercato editoriale non specialistico successivo alla sua pubblicazione, il dibattito pubblico innescato all'interno della comunità scientifica dalla diffusione delle idee di Drexler e il contesto culturale nel quale si è inserita la narrazione di queste ultime.

Crediamo nella bontà delle nostre conclusioni perché ci è parso che *Engines of Creation*, e Drexler con esso, possano fregiarsi di almeno tre "primati": storico-linguistico, scientifico e culturale.

Il primato storico di *Engines of Creation* consiste non solo nell'essere il testo in cui per la prima volta si parla esplicitamente e diffusamente di nanotecnologia, ma anche nell'essere il

“luogo” in cui vengono definiti gran parte dei paradigmi attorno a cui ruotano le nanotecnologie, come per esempio nanobot, fabbricazione molecolare o grey goo.

Sebbene spesso bistrattato dal punto di vista scientifico, Drexler è stato il primo scienziato a ragionare, seppur in via del tutto speculativa, di sistemi non viventi in grado di organizzarsi in maniera spontanea per costruire nano-dispositivi. Egli è inoltre il padre spirituale di quella che oggi chiamiamo nanomedicina: il linguaggio e le immagini preconizzati in *Engines of Creation* più di venti anni fa, infatti, fanno parte del Dna di quanti oggi operano in questo settore.

Terzo e ultimo, il “primato” culturale. Avendo ipotizzato lo scenario del Grey Goo, quale simbolo del rischio nanotecnologico, Drexler è diventato, suo malgrado, il primo scienziato ad aver contribuito in maniera decisiva alla costruzione di quello che abbiamo definito uno dei miti della modernità.

Il combinato disposto di questi tre “primati” ci consente di affermare che *Engines of Creation* è stata la sede naturale in cui hanno preso vita tutti i paradigmi che oggi dominano l’immaginario pubblico delle nanotecnologie.

Ma Drexler, come abbiamo ripetuto, non è uno scrittore di fantascienza, un giornalista o un politico. Era e resta uno scienziato. Alla luce di questo studio non è semplicistico, allora, sostenere che sia stata proprio la sua cittadinanza scientifica a far sì che in alcuni casi gli scenari fantascientifici da lui proposti abbiano trovato dei riferimenti in laboratorio, con il linguaggio e le suggestioni usate dai ricercatori che si sono spesso confuse con quelli veicolati per il grande pubblico.

Questo fatto, che rappresenta una vera novità nella storia della comunicazione della scienza, è la prova, a nostro giudizio, di come, oggi più che mai, lo sviluppo di una disciplina scientifica sia frutto di un processo di elaborazione collettivo, che testimonia quanto la scienza sia profondamente radicata nella società.

Prima di terminare bisogna osservare che *Engines of Creation* può fregiarsi di un ulteriore primato: è probabilmente la prima opera nella quale uno scienziato ricorre in maniera sistematica allo strumento dello *scenario*.

Come abbiamo avuto modo di osservare, ipotizzare scenari è diventata una prassi largamente diffusa, non soltanto nella letteratura futurologa o transumanista, che abbiamo visto essere largamente seguita. Questa prassi finisce per esporre il pubblico esclusivamente alle personali speranze o paure degli esperti, i quali, a loro volta, sono ben consapevoli di fare leva sulle personali speranze o paure del proprio pubblico.

Restringendo il campo, per esempio, alla nanomedicina, potrebbe essere interessante, allora, andare a studiare quante parte della attuale comunicazione pubblica fatta dagli esperti, che come abbiamo visto è intrisa di echi drexleriani, trova effettivamente riscontro nei laboratori di ricerca.

Bibliografia

- [1] Gianfranco Pacchioni, *Idee per diventare uno scienziato dei materiali*, Zanichelli, Bologna 2005.
- [2] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_brochure_it.pdf
La nanotecnologia. Innovazione per il mondo di domani. Opuscolo sulle nanotecnologie redatto dalla Comunità europea nell'ambito di un progetto finanziato dal Ministero federale tedesco dell'Istruzione e della ricerca (BMBF) e realizzato dall'Associazione tedesca degli ingegneri - Centro di tecnologia (VDI-TZ), 2006.
- [3] Gilberto Corbellini, Pino Donghi e Armando Massarenti, *BibliOETICA. Dizionario per l'uso*, Einaudi, Torino 2006.
- [4] Eric K. Drexler, *Engines of Creation. The coming era of nanotechnology*, Anchor Books, 1986.
- [5] www.estropico.com/id171.htm, *Motori di Creazione. L'era prossima della nanotecnologia*, traduzione di Vincenzo Battista.
- [6] <http://www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html>, testo del discorso tenuto dal fisico statunitense Richard Feynman in occasione del meeting annuale dell'American Physical Society al California Institute of Technology (Caltech), 29 Dicembre 1959.
- [7] Gianfranco Pacchioni, *Quanto è piccolo il mondo*, Zanichelli, Bologna 2008.
- [8] http://www.forbes.com/2006/01/10/apple-nano-in_jw_0109soapbox.inl.html, *Top Nano Products Of 2005*, rivista statunitense di economia e finanza *Forbes*.
- [9] Eric K. Drexler, *Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation*, Proc. Nat. Acad. Sci. USA 78, 5275-5278 (1981).
- [10] Dario Narducci, *Le nanotecnologie. Cosa sono, perché cambieranno la nostra vita, come la stanno già cambiando*. Alpha Test, Milano 2005.
- [11] <http://www.foresight.org/guidelines/current.html>, Foresight Nanotech Institute Guidelines for Responsible Nanotechnology Development, 1999-2006.
- [12] Paola Emilia Cicerone, *Gigante di un nano*, L'Espresso, pp. 198-202, 3 maggio 2007.
- [13] Michael Crichton, *Preda*, Garzanti Libri, Milano 2002.
- [14] Eric K. Drexler, *Nanosystems: Molecular machinery, manufacturing and computation*, Wiley Interscience 1992.
- [15] Richard E. Smalley, *Of chemistry, love, and nanobots - How soon will we see the nanometer-scale robots envisaged by K. Eric Drexler and other molecular nanotechnologists? The simple answer is never.*, Scientific American 285, 76-77, 2001.

- [16] Eric K. Drexler e Richard E. Smalley, *Chemical & Engineering News*, American Chemical Society, 2003.
- [17] Niels Boeing, *L'invasione delle nanotecnologie. Cosa sono e come funzionano i nuovi micro robot invisibili che colonizzeranno il mondo*, Orme, Milano 2005.
- [18] www.zyvex.com, home page della Nanotechnology research and development company.
- [19] Vincenzo Balzani, Alberto Credi e Margherita Venturi, *Molecular Devices and Machines: a Journey into the Nanoworld*, VCH-Wiley, Weinheim 2003.
- [20] http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1987/lehn-lecture.html, testo della Nobel lecture tenuta da Jean-Marie Lehn in occasione della consegna del premio nel 1987.
- [21] Robert A. Freitas, *Nanomedicine*, <http://www.nanomedicine.com/NMI.htm>, 1999-2002.
- [22] Robert A. Freitas, *Exploratory Design in Medical Nanotechnology: A Mechanical Artificial Red Cell*, *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobil. Biotech.* 26, 411-430, 1998.
- [23] Joachim Schummer, *Reading Nano: The Public Interest in Nanotechnology as Reflected in Book Purchase Patterns*, *Public Understand. Sci.* 14, 163-183, 2005.
- [24] Raymond Kurzweil, *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence*, Viking Penguin, 1999.
- [25] Richard Dawkins, *Il gene egoista. La parte immortale di ogni essere vivente*, Oscar Saggi Mondadori, Milano, Edizione originale 1976.
- [26] Neal Stephenson, *Diamond age*, Goldmann 1996. Traduzione italiana a cura di Giancarlo Carlotti in: *L'era del diamante. Il sussidiario illustrato della giovinetta*, Share edizioni underground, Milano 1997.
- [27] Freeman Dyson, *The future needs us!*, *The New York Review of Books*, 50, 13 Febbraio 2003.
- [28] Richard E. Smalley, Written statement, U.S. Senate Committee on Commerce, Science, and Transportation, <http://www.senate.gov/~commerce/hearings/hearin99.htm>, 12 Maggio 1999.
- [29] Bill Clinton, Presidential address at the California Institute of Technology, 21 January 2000, <http://www.columbia.edu/cu/osi/nanopotusspeech.html>.
- [30] Bill Joy, *Why the future doesn't need us*, *Wired*, April 2000, <http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>.

- [31] Richard Smalley citato in: W. Schulz, *Crafting A National Nanotechnology Effort*, Chemical & Engineering News, October 2000.
<http://pubs.acs.org/cen/nanotechnology/7842/7842government.html>.
- [32] Giancarlo Sturloni, *Le mele di Chernobyl sono buone*, Milano, Sironi Editore, 2006.
- [33] Gordon Rattray Taylor, citato in Jon Turney, *Sulle tracce di Frankenstein*, Edizioni di comunità, 2000.
- [34] Serge Moscoviti, citato in Giancarlo Sturloni, *Le mele di Chernobyl sono buone*, Milano, Sironi Editore, 2006.
- [35] Pietro Greco, “Prefazione” in Giancarlo Sturloni, *Le mele di Chernobyl sono buone*, Milano, Sironi Editore, 2006.
- [36] Guido Ferraro, citato in Giancarlo Sturloni, *Le mele di Chernobyl sono buone*, Milano, Sironi Editore, 2006.
- [37] Luciano Gallino, “Prefazione”, in Paola Borgna, *Immagini pubbliche della scienza*, Torino, Edizioni di comunità, 2001.
- [38] George Lakoff, citato in Giancarlo Sturloni, *Le mele di Chernobyl sono buone*, Milano, Sironi Editore, 2006.
- [39] Jeremy Rifkin, *Il secolo Biotech*, Milano, Baldini Castoldi Dalai, 2003].
- [40] Jean-Pierre Vernant, citato in Giancarlo Sturloni, *Le mele di Chernobyl sono buone*, Milano, Sironi Editore, 2006.
- [41] Jon Turney, *Sulle tracce di Frankenstein*, Torino, Edizioni di comunità, 2000.
- [42] Yuriy Castelfranchi, *Macchine come noi. La sfida dell'intelligenza artificiale*, Roma, Laterza Editori, 2001.

