Giocare a scacchi con la morte. Cinque vie per la longevità radicale

di Tommaso Tosi

La ribellione originaria

L'essere umano ha desiderato estendere la propria vita e superare la propria finitezza sin dalla notte dei tempi. L'idea della morte come trauma originario, come salto verso l'ignoto, lo ha spinto tragicamente a difendersi dal dolore e dall'oblio. Sebbene non manchino esempi cronologicamente anteriori o geograficamente lontani – si pensi rispettivamente al Gilgameš dell'omonima epopea classica babilonese, il leggendario re sumero di Uruk «che scrutò i confini del mondo alla disperata ricerca della vita eterna», o al primo sovrano della Cina imperiale Qín Shǐ Huángdì, iniziatore della muraglia cinese e ossessionato dall'idea di ottenere l'immortalità – il tema assume una connotazione ancor più forte e del tutto peculiare all'interno della cultura europea e occidentale a partire dai greci.

Durante il passaggio dal sapere mitico a quello razionale, filosofico, avvenuto in concomitanza con il passaggio alla cultura della scrittura contro all'oralità mimetico-poetica omerica grazie all'opera di Platone, l'atteggiamento dell'umanità nei confronti della morte comincia a configurarsi diversamente: se prima si tentava di difendersi dalla sua presa tramite l'evocazione degli avi o il solo affidamento a una divinità, in una prospettiva mitologico-religiosa, da quel momento in poi venne concepita l'idea di affrontarla razionalmente, con le credenze teologiche ad assumere eventualmente validità solo se giustificabili logicamente. La stessa affermazione aristotelica secondo la quale la filosofia nascerebbe dalla "meraviglia" è tanto nota quanto fraintesa: il *thaûma* non è infatti un candido ed entusiastico sconcerto intellettuale, ma piuttosto un "angoscioso stupore" o, ancora più chiaramente, un "terrore". Precisamente, come riconosciuto anche da Severino, quello provato nei confronti della caducità delle cose naturali e del divenire del mondo (Severino, 1989), che l'uomo apprende razionalmente e da cui tenta prometeicamente di emanciparsi, come già prefigurato da Eschilo, tramite l'applicazione sistematica del sapere epistemico; in una parola, tramite la tecnica. Le faticose prove affrontate da Psiche per poi divenire immortale e vivere eternamente assieme ad Amore, la ricerca della pietra filosofale quale "elisir di lunga vita" nell'alchimia rinascimentale, il patto diabolico che il Faust goethiano stipula con Mefistofele per salvaguardarsi dalla propria natura mortale e accedere alla conoscenza e alla felicità assolute esprimono la tendenza umana, e in particolar modo europea, all'autotrascendimento perpetuo, all'anelito titanico di vivere oltre la storia.

È ciò che Hegel, nella *Fenomenologia dello Spirito*, esplicita filosoficamente, trattando della dialettica signoria-servitù, quale carattere proprio dell'uomo e della sua autenticità: solo chi apprende il pericolo supremo della morte e l'affronta, riconoscendo il valore oltre la semplice sopravvivenza, potrà divenire *authéntēs*, signore (ovvero soggetto razionalmente autonomo), mentre chi ne verrà soggiogato diverrà servo, legato, come l'animale, alla sopravvivenza biologica come unico valore (Hegel, 2015); è ciò che immaginificamente Bergman esprime nella scena chiave de *Il settimo sigillo*, dove il protagonista Antonius Block, temerario cavaliere, è intento a sfidare la morte in una partita a scacchi. Ed è anche ciò che sopravvive, ancorché in forma talvolta ingenua o spuria, nelle posizioni immortaliste o longeviste radicali degli esponenti delle varie sottocorrenti dei tecno-utopismi di oggi, che sostengono l'auspicabilità e la realizzabilità dell'estensione radicale della vita: la tenacia dell'umanità nella sua ribellione originaria contro la consunzione del divenire.

Specificazioni sulla "longevità radicale"

Generalmente, nelle comunità longeviste, per *estensione radicale* (o indefinita) *della vita* si intende la possibilità di non morire a causa dei processi biologici legati all'invecchiamento. Talvolta si usano più evocativamente i termini di "immortalità" ed "eterna giovinezza", per indicare l'estrema lunghezza della vita di un individuo che riesca e decida di usufruire di determinate tecnologie capaci di porre rimedio ai suddetti processi (benché al momento, essendo la questione del destino ultimo dell'universo ancora aperta e lontana dalla soluzione sul piano cosmologico, non sia possibile dimostrare né che un'effettiva immortalità per un essere intelligente sia possibile né che sia impossibile) nonché il ringiovanimento fisico che ne deriverebbe – già dimostrabile come scientificamente possibile (De Grey, 2007; Carlson *et al.*, 2009). Nonostante molte delle terapie e delle tecnologie che risulteranno utili a tale fine si stiano ancora sviluppando e vedranno probabilmente notevoli progressi nei prossimi decenni, scienziati e tecnologi noti nei loro ambiti come Stephen Wolfram (Cfr. Fass, 2016) e Raymond Kurzweil (2008) si sono espressi chiaramente a riguardo affermando che prima o poi *indubitabilmente* la longevità estrema sarà raggiunta, con probabilità significative che accada entro questo secolo.

Le tecnologie che più probabilmente riusciranno a dare all'uomo l'estensione radicale della vita gettano le basi in alcuni dei più fiorenti e interessanti ambiti di ricerca scientifica e tecnologica, e solo esplorarne una parte significativa richiederebbe più di un libro. Numerose sarebbero, inoltre, le questioni non strettamente tecnico-scientifiche connesse a questo tema che meriterebbero ampia trattazione, da quelle etiche (il ruolo della morte nell'esistenza umana e nella vita intelligente in generale), a quelle antropologiche (la considerazione di un'umanità "post-naturale" non vincolata ai processi biologici dell'invec-

chiamento) fino a quelle sociali (la percezione diffusa sul senso della vecchiaia e i conflitti generazionali), economiche (l'impatto dell'invecchiamento globale sul mercato del lavoro e l'accesso pubblico alle terapie *anti-aging*) e demografiche (il tema di un'eventuale sovrappopolazione e il rapporto tra crescita demografica, tasso di alfabetizzazione ed industrializzazione di una società), che delineano uno scenario tutt'altro che semplice da pensare, ma non certo privo di soluzioni programmatiche applicabili. In questa sede, tuttavia, ci limitiamo a offrire un quadro generale ma chiaro, scientificamente aggiornato ma senza pretesa di esaustività, sulle tecnologie che potrebbero permettere, nei prossimi decenni o quantomeno durante il corso del XXI secolo, di intervenire radicalmente sul processo d'invecchiamento al fine di liberare l'essere umano dalle condizioni avverse che i suoi effetti tipicamente presentano, permettendogli in linea di principio di decidere autonomamente la durata della propria esistenza. Alcune di queste tecnologie sono già oggi in fase di sperimentazione, altre sono in fase embrionale, altre ancora sono state concepite solo in via teorica, ma risultano comunque realizzabili e futuribili.

Terapie anti-aging e ingegneria genetica

Questo è il campo in cui lavorano i ricercatori biomedici, i genetisti e i gerontologi. Vi sono fondamentalmente tre approcci, legati alle modalità di intervento finalizzato alla sconfitta dell'invecchiamento: quello geriatrico, che punta a modificare opportunamente il *metabolismo* umano, quello gerontologico, che punta a curare le *patologie* derivanti dai danni che esso produce naturalmente, e quello ingegneristico, che punta alla minimizzazione e al progressivo *azzeramento* di questi stessi danni.

Ad esempio, il principio fondante adottato da Aubrey De Grey, a capo del progetto SENS (*Strategies for Engineered Negligible Senescence*) che si propone di arrivare a mettere a punto terapie in grado di curare l'invecchiamento, è che la causa di quest'ultimo sia dovuta all'accumularsi, a livello molecolare e cellulare, di effetti collaterali prodotti dal metabolismo e che il metabolismo stesso non è in grado di eliminare; la morte, dunque, sarebbe semplicemente la naturale conseguenza di tale processo. Secondo De Grey, il metodo più rapido per la conquista della longevità non sta nel rallentare o impedire l'accumulo di tali danni, come procede a fare invece la gerontologia classica, perché ciò implica la necessità di modificare il funzionamento del metabolismo e quindi conoscere con sufficiente precisione i complessi processi biologici che lo definiscono nella sua totalità. Sostiene piuttosto che sia più conveniente per il momento accettare il fatto che tali danni si accumulino per lavorare sulla progettazione e sullo sviluppo di specifiche terapie in grado di riparare ognuno di essi prima che scatenino conseguenze patologiche per l'organismo (De Grey e Rae, 2007). Così facendo, grazie a tali terapie sarebbe possibile vivere per un tempo indefinito, spostando le "lancette" del proprio orologio biologico sempre indietro

di decenni recuperando giovinezza ed efficienza, fino a quando non si saranno compresi totalmente i meccanismi che sottostanno al fenomeno della senescenza potendo così intervenire in modo radicale e definitivo.

La *SENS* ha già proposto almeno una possibile soluzione per ognuna delle cause a oggi note dell'invecchiamento, riconducibili a sette categorie individuate da ormai circa 30 anni e ritenute probabilmente le uniche effettive, considerando l'avanzamento della ricerca nel campo e lo sviluppo di nuove tecniche finalizzate a individuarne di nuove. Uno degli aspetti che spesso non vengono considerati, invece, è genetico. Consiste infatti nell'*antagonismo pleiotropico*, utilizzato da Williams per spiegare la senescenza a livello evolutivo: c'è un tempo durante l'esistenza dell'individuo in cui l'espressione di determinati geni è utile, e oltre il quale diventa inutile o dannosa (Williams, 1957). Arrivare a comprendere il motivo di questa ambivalenza porta a vedere l'invecchiamento come l'espressione di una funzione biologica in esaurimento: considerare quindi l'invecchiamento *in toto* come una malattia qualunque non è lecito dal punto di vista della biologia evoluzionistica, ma le sue cause possono benissimo essere considerate alla stregua di malattie sul piano medico.

Per i motivi suddetti il lavoro di ricerca di De Grey non punta attualmente, tuttavia, a intervenire sul piano genetico come primo obiettivo; considerando però che alcuni danni sono strutturali, ossia *genomici* e appunto genetici, una certa modificazione del DNA dovrà essere perseguita in ogni caso al fine di risolvere la questione alla radice tramite una strategia preventiva. Una di queste possibilità risiede nella cosiddetta terapia genica, che consiste nella sostituzione di un unico gene con un altro determinato a priori. Il problema principale di questo approccio, che abbatté gli iniziali entusiasmi, risiede nel *carrier*, ovvero il vettore (un virus) che dovrebbe trasportare il gene sano nelle cellule dell'organismo malato. Un organismo biologico tende naturalmente al raggiungimento di una relativa stabilità interna delle proprietà chimico-fisiche, restando quindi in *omeostasi*, e fargli accettare un nuovo gene si è rivelato un risultato più complesso delle aspettative, a partire dalla *tolleranza immunitaria* dei virus che possono essere usati come carrier. Sono da tenere in considerazione anche altre problematiche notevoli, come la condizione di mantenimento del gene sano integratosi nel genoma del paziente, l'effettiva efficienza del gene (che dipende anche dalla posizione all'interno del DNA dopo la sua integrazione) e il limitare l'integrazione solo alle cellule in cui il gene ha un ruolo, per evitare il rischio di tumori derivanti dalla terapia.

Per quanto riguarda le terapie geniche e quindi l'ingegneria genetica, tuttavia, la nuova tecnica di editing *CRISPR/Cas9,* molto veloce ed economica*,* dimostra enormi potenzialità e sembra un approccio promettente non solo nel tagliare il DNA nei punti giusti, eliminando le sequenze indesiderate e sostituendole con quelle volute, ma anche nel risolvere o aggirare alcune delle problematiche appena citate (Tool, 2014); oltre a ciò, notevoli e fondamentali risultati si possono ottenere anche a partire da una recente nuova branca della medicina, di cui andiamo adesso a parlare.

Nanotecnologie applicate alla biomedicina

La nanotecnologia rappresenta una branca della scienza applicata e della tecnologia che si occupa di realizzare dispositivi su scala nanometrica (in genere tra 1 e 100 nanometri), derivata dalle conoscenze acquisite dalla *meccanica quantistica* nello scorso secolo, che permettono, realizzando i congegni opportuni, di manipolare la materia alle microscale fino alla modificazione strutturale di molecole e, potenzialmente, perfino dei singoli atomi. Agli albori, la disciplina fu teorizzata speculativamente da Richard Feynman, che suggerì un modo per sviluppare l'abilità di manipolare atomi e molecole direttamente, il cosiddetto *scale-down*. Tale metodo si esplicitava nella progettazione di una serie di macchine utensili in scala 1:10, utilizzate poi per sviluppare e controllare la generazione successiva di utensili, in scala 1:100, dunque reiterare il processo nel quale l'ordine di grandezza della scala diminuiva di un'unità ad ogni iterazione. A causa della riduzione delle dimensioni risulta necessario anche ridisegnare alcuni utensili, poiché varia il rapporto tra le forze interagenti interne al sistema col venir meno della condizione di similitudine dinamica. Man mano che le dimensioni diminuiscono, infatti, il contributo della gravità diviene sempre meno predominante, mentre un maggior rilievo assumono i contributi della tensione superficiale e delle forze di Van der Waals.

La nanomedicina, tramite il contributo fondamentale delle nanotecnologie, mira a fornire un insieme di strumenti di ricerca e di dispositivi clinicamente utili nel prossimo futuro. Nel campo del futuribile, la nanotecnologia molecolare "speculativa" tende a sostenere che delle particolari macchine riparatrici di cellule dette *assemblatori molecolari* potranno rivoluzionare la medicina. In quest'ottica, l'applicazione tecnologica delle nanotecnologie in medicina rappresenta un'occasione per l'utilizzo proficuo delle più recenti scoperte della genomica e della proteomica. Le applicazioni nanotecnologiche alla medicina hanno permesso l'immissione nel mercato della grande industria della nanomedicina, il cui fatturato totale è arrivato a 6,8 miliardi di dollari nel 2004, con oltre 200 compagnie e 38 prodotti nel mondo. Nell'aprile 2006, la rivista *Nature Materials* stimava che fossero stati sviluppati nel mondo circa 130 tra farmaci basati sulla nanotecnologia e sistemi di distribuzione di farmaci (Nature Editorial, 2006) e un minimo di 3,8 miliardi di dollari viene investito per lo sviluppo e la ricerca ogni anno (Ratner & Ratner, 2003). Inoltre, il *National Nanotechnology Initiative*, un programma di ricerca statunitense nel campo delle nanoscienze, profila già da tempo innovative applicazioni commerciali di queste tecnologie nel campo dell'industria farmaceutica, potenzialmente includenti sistemi avanzati di erogazione di farmaci, progressi nella diagnostica per immagini fino a giungere a nuove terapie (Coombs e Robinson, 1996).

Per quanto riguarda la lotta all'invecchiamento, la nanomedicina svolgerà un notevole contributo nel rendere possibile la manipolazione di singole macromolecole, intervenendo sui processi di sintesi e degrado a cui provvedo-

no rispettivamente *anabolismo* e *catabolismo*, modificazione delle proteine e dei *meccanismi ribosomici* atti a produrle, fino ad arrivare alla modificazione dei geni espressi nel DNA nucleare e dei tessuti cellulari in generale. Per raggiungere questi risultati però serviranno ulteriori innovazioni e progressi per quanto riguarda la costruzione di macchine atte all'intervento medico su scala micrometrica e nanometrica; e proprio accennando ad esse passiamo alla prossima sezione.

Biomeccatronica, robotica umanoide, neocibernetica

La branca della meccatronica è decisamente recente, il suo stesso nome è stato coniato alla fine degli anni Sessanta dello scorso secolo dal giapponese Tetsuro Mori in riferimento al lavoro che svolgeva nella sua azienda di prodotti elettromeccanici, la Yaskawa, e si incentra sullo studio, sulla progettazione, implementazione, costruzione, automazione e realizzazione di macchine, dispositivi, congegni e loro sistemi di controllo a partire dalle discipline classiche dell'ingegneria meccanica, dell'ingegneria elettronica e dell'ingegneria informatica. Infatti, come branca *interdisciplinare* della tecnologia la meccatronica permette l'integrazione di sistemi meramente meccanici con componenti elettronici e li dota di un sistema di controllo governato informaticamente, mediante il quale è possibile implementare dei programmi con cui manipolare il sistema meccatronico nello svolgimento della propria funzione. Le tecnologie meccatroniche stanno ottenendo una richiesta sempre maggiore sul mercato, sia a causa dell'estrema versatilità del loro ambito di applicazione, sia per la sempre maggiore tendenza a integrare sistemi meccanici e sistemi elettronici in un unico prodotto uniforme che sia governato da un sistema di controllo: esse possono consistere nell'automazione di macchine industriali o in particolari congegni elettrodomestici, nella componentistica di un autoveicolo o in veri e propri robot dagli innumerevoli usi, fino all'uso biomedico e cibernetico nell'essere umano.

A proposito delle tecnologie che aiuteranno a sconfiggere l'invecchiamento, la meccatronica sarà utile sostanzialmente in tre modi:

Biomeccatronica e robotica umanoide: costruzione di tessuti, organi, apparati o parti anatomiche artificiali volte a rimpiazzare eventuali controparti naturali che hanno ormai esaurito le loro funzioni biologiche, da integrare nel corpo umano giungendo a una sua parziale ibridazione e *cyborghizzazione*.

Nanomeccatronica: utilizzo di eventuali *nanorobot*, potenziali sistemi meccatronici su scala nanometrica o quasi-nanometrica utilissimi in ambito biomedico per il miglioramento dell'efficienza e della precisione delle operazioni chirurgiche, della manipolazione dei tessuti, delle cellule e delle molecole degli organi interni, nonché per un'eventuale modificazione del genoma umano fornendo strumenti di applicazione all'ingegneria genetica.

Biocibernetica e neurobionica: l'ibridazione uomo-macchina portata ad un livello superiore, con un sistema di controllo artificiale che permetta il governo e la regolazione dei vari sistemi meccatronici che rimpiazzano le parti naturali danneggiate e ne ricoprono le funzioni, e che sia intimamente collegato e gestibile a partire da un'interfaccia neurale connessa direttamente col sistema nervoso centrale.

Se la robotica risulta essere una branca della meccatronica votata alla progettazione, all'automazione e all'implementazione e programmazione di particolari sistemi mobili, la parola stessa *cibernetica* deriva dal greco *kybernetiké téchne*, ovvero l'arte di governare (espressione già utilizzata da Platone nella *Repubblica*), e fu il matematico Norbert Wiener a coniare negli anni Cinquanta il termine moderno nel suo *Introduzione alla cibernetica. L'uso umano degli esseri umani* (Wiener, 1970). Tuttavia ad oggi, dopo le rivoluzioni elettroniche e informatiche avvenute nella seconda metà del Novecento e della scissione tra le scienze computazionali e le scienze cognitive, superati gli approcci della cibernetica degli anni Cinquanta e Sessanta anche nell'ambito dell'intelligenza artificiale, si può parlare di *neocibernetica*, cioè di un ambito di studi interdisciplinare riguardante l'ingegneria, l'informatica, l'elettronica, la logica, l'intelligenza artificiale, la linguistica, la biochimica e la psicologia all'interno di progetti quali lo Human Brain Project, per il quale la Commissione europea ha stanziato 1,19 miliardi di euro da distribuire nell'arco di dieci anni, oppure per le ricerche riguardanti la mappatura del cervello umano come lo Human Connectome Project, già in avvio e destinate a svilupparsi nei prossimi anni, per cui gli USA hanno speso circa 100 milioni di dollari.

L'obiettivo della neocibernetica in progetti di questo genere è quello di *connettere* un cervello umano con un calcolatore, un problema tanto di ingegneria meccatronica e di scienza dei materiali quanto di biologia: esso consiste soprattutto nell'intrinseca difficoltà che si ha nel costruire un'interfaccia abbastanza delicata da non danneggiare i tessuti nervosi, e contemporaneamente abbastanza resistente da durare per tempi prolungati, come decenni. Nonostante il progresso non sia mancato affatto, non ci sono ancora soluzioni definitive per la creazione di dispositivi stabili e duraturi che non suscitino almeno delle minime reazioni deleterie dai tessuti nervosi. Così come i recenti progressi nella comprensione delle risposte date dalle relazioni tra il tessuto nervoso e i congegni microelettronici vengono alla ribalta nell'ambito dell'ingegneria neurale, gli avanzamenti di queste tecnologie stanno raggiungendo le loro limitazioni imposte dalle dimensioni, dalla flessibilità, dalla resistenza, dalla biocompatibilità e dai *trade-off* elettrici di materiali tradizionali come metalli, vetro e silicio.

Al fine di giungere ad innovazioni fondamentali nelle microtecnologie meccatroniche, e più in particolare in questo caso, nella costruzione di microelettrodi neurali, è necessario riunire una nuova serie di materiali per creare elettrodi impiantabili funzionali che siano molto più piccoli e molto più flessibili, ma allo

stesso tempo che siano sufficientemente robusti e che sia le caratteristiche elettriche sia le *superfici bioattive* finalizzate al controllo degli intrinseci processi biologici coinvolti nello svolgimento della loro funzione risultino complessivamente migliorate (Takashi *et al.*, 2012). Degli impianti neurali microelettronici a lunga durata sono necessari per il progresso nello studio, nella costruzione e nell'implementazione di interfacce neurali funzionali ed efficienti. Tuttavia molte sono anche le risorse provenienti da uno sviluppo biologico *tout court* dei tessuti e degli organi umani, di cui parleremo nella prossima sezione.

Medicina rigenerativa e ingegneria tessutale

La medicina rigenerativa è una branca a cavallo tra la biologia molecolare e l'ingegneria tessutale, che si occupa dei processi di sostituzione, ingegnerizzazione di cellule, tessuti o organi per ripristinare o istituire le loro funzioni naturali. In questo ambito di ricerca, si tenta di ingegnerizzare tessuti e organi danneggiati attraverso la stimolazione degli stessi meccanismi di riparazione del corpo umano, al fine di curarli ripristinandone le funzionalità che altrimenti risulterebbero irreparabili. Essa comprende anche la possibilità di sviluppare e far crescere tessuti e organi in laboratorio, per poi impiantarli chirurgicamente in modo sicuro quando le loro controparti naturali non sono più in grado di mettere in atto i suddetti meccanismi di riparazione. Se le cellule dell'organo rigenerato derivassero da tessuti o cellule del paziente a cui è destinato, si risolverebbe potenzialmente il problema della carenza di organi disponibili per la donazione, e il problema del rigetto del trapianto d'organo stesso (Stolz *et al.*, 2012).

La medicina rigenerativa si presenta in un determinato numero di approcci biomedici alle terapie cliniche, che possono comportare l'uso di cellule staminali. Alcuni esempi sono rappresentati dall'iniezione di cellule staminali o *cellule progenitrici* (costituenti le terapie cellulari); dall'induzione di rigenerazione attraverso molecole *biologicamente attive* somministrate da sole o come una secrezione di cellule instillate (costituenti le terapie immunomodulanti) e dal trapianto di organi e tessuti cresciuti in vitro. Le cellule staminali interne al sangue del cordone ombelicale, dette *cellule ematopoietiche*, possono essere tranquillamente infuse nuovamente dentro la stessa persona senza essere respinte dal sistema immunitario del corpo, e per questo sono un *focus* crescente della ricerca in medicina rigenerativa, in concomitanza del loro possedere caratteristiche uniche rispetto ad altre cellule staminali dalla diversa fonte. Se tuttavia l'utilizzo terapeutico delle cellule staminali ematopoietiche risulta invalso da molti anni, lo sfruttamento di cellule staminali prelevate da embrioni fecondati in vitro, di tipo *totipotente* o *pluripotente* è già in fase di studio negli esseri umani a fine terapeutico per trattare, ad esempio, lesioni cerebrali o del midollo spinale, diabete di tipo 1, malattie genetiche del sangue e del sistema

immunitario, cancro, morbo di Parkinson, cecità e lesioni del midollo spinale. Mediante l'uso e il potenziale impianto di cellule autologhe, cioè appartenenti allo stesso essere umano, non vi è il rischio di un loro possibile rigetto da parte del sistema immunitario, e dunque i ricercatori e i medici stanno effettuando questo tipo di terapie solamente su neonati le cui cellule staminali sono disponibili (Mahla, 2016).

Le implicazioni sulla lotta alla senescenza a partire da questo ambito di ricerche sono del tutto evidenti, dato che sarà possibile, in un futuro non troppo lontano, usufruire di tessuti e organi biologici sviluppati in laboratorio per sostituire le loro controparti naturali che presentano danni strutturali non riparabili o che hanno smesso definitivamente di svolgere le loro funzioni biologiche. Ma vi è un'ulteriore campo di studi i cui progressi risulteranno utilissimi per il monitoraggio clinico, per la diagnostica e per l'organizzazione delle procedure terapeutiche, che tratteremo nella prossima e ultima sezione.

Intelligenza artificiale e sistemi di simulazione computazionale

Molto brevemente, la cosiddetta intelligenza artificiale è la branca dell'informatica che si occupa di definire, studiare e progettare sistemi capaci di una qualche forma di apprendimento, sul modello delle funzioni cognitive umane ma non necessariamente simile ad essa nelle modalità e nelle funzioni. Sul piano pratico, l'intelligenza artificiale consiste perlopiù nel cosiddetto *machine learning* (apprendimento automatico), che riguarda lo studio, la costruzione e l'implementazione di algoritmi che permettano ai sistemi di calcolo sui quali sono implementati di imparare e fare previsioni in modo automatico a partire da un insieme di dati in ingresso, costruendo modelli previsionali e riducendo il peso degli errori in conclusione di ogni processo d'apprendimento.

Per la complessità e la vastità intrinseche al progetto che questa disciplina si propone di realizzare da tradizione storica, essa non può fare a meno di avere profonde connessioni con la filosofia della mente, la logica, la linguistica, la psicologia, le neuroscienze, l'ingegneria informatica e l'ingegneria elettronica. Per un profano o per un lettore meno attento essa può sembrare molto simile alla già citata meccatronica (e per certi versi ha vari punti di collegamento con quest'ultima), ma si differenzia dalla stessa per essere prettamente una branca dell'informatica, e non della tecnologia elettromeccanica (Russell e Norvig, 2009). I primi studi inerenti l'intelligenza artificiale hanno radici storiche ben precise, avendo come premessa gli studi di Turing sulla computazione e sulle prime implementazioni algoritmiche (da cui la nota *macchina di Turing*, agente capace di computare una determinata classe di algoritmi, cioè le funzioni dette *Turing-calcolabili*) e a cui si devono molti concetti dell'informatica teorica, passando per i contributi del pensiero di von Neumann, Minsky, Chomsky, Searle fino a Fukushima, Hopfield e Hinton.

Nell'attuale ambito di ricerca a cavallo tra IA e neuroscienze computazionali, si tenta di comprendere se sia possibile la riproduzione o quantomeno l'emulazione delle funzioni cognitive tipicamente umane mediante l'utilizzo di *reti neurali*, particolari sistemi di calcolo distribuito parallelo, mirando a scoprire quale dei due schieramenti classici in materia, tra i sostenitori dell'*IA forte*, che reputano un computer eseguente funzioni correttamente programmate indistinguibile da una mente umana, secondo la concezione hobbesiana per la quale *ragionare è calcolare*, e quelli dell'*IA debole*, per i quali esiste un limite intrinseco alla possibilità di riprodurre computazionalmente i processi cognitivi a causa della loro complessità, riesca a spuntarla finalmente sull'altro (Tosi, 2015). Interessanti a tal riguardo sono le possibilità offerte dalla nascente computazione quantistica, che grazie alla nozione di *qubit* (versione quantistica del bit, che non codifica informazione a valori binari, ma addirittura tramite una combinazione lineare degli stessi), al principio di sovrapposizione degli stati nella meccanica quantistica nel formalismo di Dirac, a hardware costruiti appositamente per evitare processi di decoerenza quantistica troppo brevi (che impedirebbero la terminazione di ogni computazione) e ai numerosi algoritmi e programmi – opportunamente diversificati per finalità – già elaborati per tali calcolatori, ma soprattutto grazie al *parallelismo quantistico* come concepito da Deutsch e al *quantum machine learning*, permetterà di ridurre la complessità computazionale di tutta una serie di problemi estremamente onerosi per i computer classici, risolvendoli in tempistiche enormemente minori – più precisamente, in tempi polinomiali anziché (asintoticamente) esponenziali.

Per quanto riguarda le applicazioni dell'intelligenza artificiale alla conquista dell'eterna giovinezza, essa può contribuire principalmente e direttamente in due modi distinti, uno molto probabile e già *in fieri*, mentre l'altro ben più problematico.

Il primo è quello dell'*IA* per l'"*immortalità fisica*": lo sviluppo di intelligenze artificiali sempre più complesse permetterà di sostituire il lavoro svolto dalla mente umana in un significativo numero di ambiti, ma anche di comprenderla con maggior precisione (per confronto ed emulazione) e di svolgere mansioni molto complesse in un tempo immensamente più breve, in innumerevoli ambiti diversi: dalle diagnosi mediche e dal monitoraggio in tempo reale dello stato di salute di un essere umano tramite tecnologia indossabile alla simulazione dei processi degenerativi delle malattie o di funzioni specifiche dei processi cognitivi, alla computazione di sistemi biologici umani e umanoidi o loro parti, fino al delegare a un'IA la mansione di dimostrare teoremi (già esistenti, per quanto al momento non siano ancora capaci di distinguere i risultati banali da quelli significativi), di risolvere problemi di ottimizzazione, o addirittura, in un futuro lontano ma non troppo, di progettare nuove invenzioni e di costruire altre intelligenze artificiali con le stesse funzionalità.

Grazie al *deep learning*, ovvero il *machine learning* su reti neurali con un numero di strati interni maggiori o uguali a 2 e caratterizzate da funzioni di at-

tivazione non lineari, ad oggi è già stato possibile determinare strategie vincenti nel Go, individuare metodi di diagnosi rapida del cancro al seno, rilevare regolarità nelle sequenze di proteine nel DNA, modellizzare fenomeni finanziari tramite la considerazione di variabili macroeconomiche prima non individuate, riconoscere con precisione significativa pattern ricorrenti in immagini e suoni per i fini più disparati, tradurre comparativamente lingue diverse, e molto altro (Prati, 2017).

Tuttavia, se le intelligenze artificiali risultano ottime nell'aumentare la rapidità e la precisione di alcune previsioni scientifiche, quali la diagnosi medica (anche riuscendo a superare quelle dei medici attuali), molto diverso è il discorso relativo a eventuali intelligenze artificiali adibite alla scoperta scientifica: l'individuazione di correlazioni statistiche non implica necessariamente l'esistenza di nessi causali, ancorché le prime agevolino molto la scoperta dei secondi. Stando tuttavia alle metodologie attuali, l'idea di IA che compiono scoperte scientifiche all'avanguardia sembra distante di almeno un paio di decenni.

Il secondo metodo è quello dell'*IA* per l'"*immortalità digitale*": si specula sul fatto che in un futuro non troppo lontano i progressi in questo ambito, congiuntamente a rivoluzioni in ambito informatico e neuroscientifico, permettano non solo di costruire un'IA forte e "cosciente" di sé, ma anche di "caricare" come dei file le menti informatizzate degli esseri umani su supporti informatici, nella cosiddetta ipotesi del *mind uploading*.

Dmitry Itskov, un imprenditore russo, ha lanciato l'Iniziativa 2045, un progetto che vorrebbe ottenere proprio questo risultato, cioè far vivere una mente umana "in digitale" su un sistema informatico, entro l'anno di scadenza citato nel nome del progetto stesso. Questa proposta è però controversa e al momento di difficile realizzazione, non solo perché mancano ancora molti progressi per comprendere la natura neurobiologica della coscienza, ma perché potrebbero intervenire limiti di natura teorica, scientifica o tecnologica ad impedire la realizzabilità: ad esempio un'eventuale impossibilità teoretica di definire rigorosamente la coscienza e l'*ipseità* di ogni soggetto (il suo "senso di se stesso"), la possibile rilevanza di limitazioni conoscitive negli ambiti dell'informatica teorica, della meccanica quantistica, della teoria del caos deterministico e della teoria degli errori di misura, o eventuali impedimenti tecnici e ingegneristici che impediscano la costruzione di apparati e macchine sufficientemente complesse e adeguate a contenere una specifica coscienza.

Bibliografia

Aristotele, *Metafisica*, a cura di Giovanni Reale, Bompiani, Milano, 2016.

Carlson M.E., *Molecular aging and rejuvenation of human muscle stem cells*, «EMBO Molecular Medicine», 2009.

Coombs R., Robinson D. W., *Nanotechnology in Medicine and the Biosciences*, Gordon & Breach, Philadelphia (PA), 1996.
De Grey A., Rae M., *Ending Aging: The Rejuvenation Breakthroughs that Could Reverse Human Aging in Our Lifetime,* St. Martin's Press, New York, 2007.
Editorial, *Nanomedicine: A matter of rhetoric?*, «Nature Materials», vol. 5, nº 4, 2006.
Fass A., *Scientist Stephen Wolfram explains why technically it will absolutely be possible for humans to live forever*, «Inc», 2016: https://www.inc.com/allison-fass/stephen-wolfram-immortality-humans-live-forever.html
Hegel G.W.F., *Fenomenologia dello Spirito*, a cura di Vincenzo Cicero, Bompiani, Milano, 2015.
Liu H., *The Chinese Overseas*, Routledge Library of Modern China, Londra, 2006.
Kurzweil R., *La singolarità è vicina*, Apogeo, Milano, 2008.
Mahla R.S., *Stem Cells Applications in Regenerative Medicine and Disease Therapeutics*, «International Journal of Cell Biology», vol. 5, 2016.
Prati E., *Mente artificiale*, Egea, Milano, 2017.
Ratner D., Ratner M., *Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea*, Prentice Hall, Upper Saddle River (NJ), 2003.
Reale G., *Radici culturali e spirituali dell'Europa*, Raffaello Cortina, Milano, 2003.
Russell S., Norvig P., *Artificial Intelligence: A modern approach*, Prentice Hall, Upper Saddle River (NJ), 2009.
Sandars N.K. (a cura di), *L'epopea di Gilgamesh,* Adelphi, Milano, 1986.
Severino E., *Il giogo*, Adelphi, Milano, 1989.
Stolz J.F. *et al.*, *Introduction to regenerative medicine and tissue engineering*, «Bio-medical material and engineering», vol. 22, 2012.
Takashi D. *et al.*, *Ultrasmall implantable composite microelectrodes with bioactive surfaces for chronic neural interfaces*, «Nature Materials», vol. 11, 2012.
Tool M., *CRISPR/Cas9 and Targeted Genome Editing: A New Era in Molecular Biology*, New England Bio Labs, 2014.
Tosi T., *Genio naturale e artificiale,* «Futuri» n. 6, 2015.
Norbert Wiener, *Introduzione alla cibernetica. L'uso umano degli esseri umani*, Bollati Boringhieri, Torino, 1970.

Sitografia

2045 Initiative, Sito ufficiale: http://2045.com/
Human Brain Project, sito ufficiale: https://www.humanbrainproject.eu/en/
Human Connectome Project, sito ufficiale: http://www.humanconnectomeproject.org/