

Design Philosophy for Collaborative Intelligent Machines

Filosofia progettuale per macchine intelligenti collaborative

Massimiliano Moruzzi e Davide Bearzi

Abstract

The development of systems based on Artificial Intelligence (AI) capable of collaborating effectively with humans is a crucial research topic in contemporary societies, where the decision-making processes are progressively being delegated to algorithms. The conception of AI as free from the flaws of human reasoning and capable of arriving at objective and neutral decisions is false from an epistemological point of view. Besides, it is dangerous from a practical point of view too as it pushes organizations and work teams towards algocratic forms of governance that impoverish the cognitive dimension of such organizations. Based on the study of the conception, design and realization of the robot Maxwell, the article attempts to outline a design philosophy for collaborative intelligent machines that abandons the myth of the infallibility of AI and develops a perspective of true integration between man and machine. This perspective is tackled both from a technical-scientific point of view, relating to how to create machines capable of interacting with humans, and a socio-organizational one, relating to the kind of impact these machines can have on human work.

Lo sviluppo di sistemi di Intelligenza Artificiale (AI) capaci di collaborare in maniera effettiva con l'uomo è un tema di ricerca cruciale in una società e in una economia i cui processi decisionali vengono progressivamente delegati agli algoritmi. La concezione dell'AI come libera dai difetti del ragionamento umano e in grado di giungere a decisioni oggettive e neutrali è falsa dal punto di vista epistemologico e, inoltre, pericoloso dal punto di vista pratico in quanto spinge le organizzazioni e i team di lavoro verso forme di governo algocratiche che ne impoveriscono la dimensione cognitiva. Attraverso lo studio della ideazione, progettazione e realizzazione del robot Maxwell, l'articolo prova a delineare una filosofia progettuale per macchine intelligenti collaborative che rompe con il mito dell'infallibilità dell'AI e che introduce una prospettiva di vera e propria integrazione fra umano e macchina. Questa prospettiva è affrontata sia dal punto di vista tecnico-scientifico, relativo al come realizzare macchine con questa predisposizione, sia dal punto di vista socio-organizzativo, relativo al tipo di impatto che tali macchine possono avere sul lavoro umano.

Keywords

Artificial Intelligence, Human-Machine Collaboration, Cognitive Diversity, Tacit Knowledge, Experiential Learning

Intelligenza artificiale, collaborazione uomo-macchina, diversità cognitiva, conoscenza tacita, apprendimento esperienziale

Introduzione

Lo scopo di questo articolo è quello di illustrare, attraverso un caso reale, alcuni principi che stanno alla base di una “filosofia progettuale” capace di guidare la realizzazione di “macchine intelligenti” idonee ad una effettiva collaborazione con l’essere umano e non sostitutive di esso. Il caso in questione riguarda l’ideazione, lo sviluppo e la realizzazione del robot Maxwell, progetto diretto da Massimiliano Moruzzi, coautore delle pagine che seguono.

Il robot Maxwell è quella che Paolo Benanti, esperto nel rapporto tra teologia morale, bioingegneria e neuroscienze, definirebbe una “machina sapiens”. Ovvero una macchina che, per mezzo dell’intelligenza artificiale, è in grado di produrre una diversa percezione e cognizione del mondo. Maxwell, dunque, appartiene a quella classe di tecnologie il cui potenziale dirompente è legato alla loro capacità di aprire nuove strade all’innovazione e di trasformare le relazioni sociali sul luogo di lavoro (Benanti 2018).

In particolare, Maxwell è stato pensato e sviluppato per poter rendere ottimale la sua partecipazione attiva ai processi di *problem solving* e di produzione della conoscenza dei team e delle organizzazioni che intendono avvalersi delle sue prestazioni. Si tratta, nello specifico, di un “cyber collaborator” che beneficia delle ultime innovazioni tecnologiche relative ai sensori e ai controlli industriali ad alta capacità di calcolo e ad alta elaborazione dei dati. A tal proposito, vogliamo da subito specificare che il team che si è occupato dell’ideazione e della realizzazione di Maxwell ha fatto ricorso alla scienza e alla teoria elettrodinamica in un senso decisamente ampio, ponendola a fondamento tanto degli aspetti motori e di controllo del robot quanto della sua “cognizione sintetica”. Il termine “cognizione sintetica” è stato scelto volutamente per segnare una distanza dalla “cognizione umana” e per rendere da subito esplicito come l’obiettivo del progetto non fosse la “clonazione” di alcune facoltà intellettive degli esseri umani, ma la messa a punto di una “intelligenza” di tipo digitale, capace di offrire un punto di vista alternativo e, allo stesso tempo, integrativo rispetto ai compiti da svolgere.

Per facilitare il lettore, proviamo a fornire alcune delle specifiche tecniche costruttive che la contraddistinguono. Maxwell è un robot antropomorfo a cinque gradi di libertà capace di operare all’interno di un volume di lavoro di tre metri per tre metri per due metri. Pesa una tonnellata e mezza e può manipolare oggetti fino a settanta chilogrammi di peso (payload - portata al polso). Il suo sistema di controllo è basato su dispositivi hardware elettronici formati da circuiti integrati le cui funzionalità logiche di elaborazione sono appositamente programmabili e modificabili tramite specifici linguaggi di descrizione hardware (CRIO - FPGA). La sua accuratezza, ovvero la precisione dei suoi movimenti, è caratterizzata da un errore di più o meno venti micrometri. La

sua ripetibilità, ovvero la capacità di ritornare in uno stesso punto d'inizio dopo aver eseguito vari movimenti degli assi, presenta un errore di più o meno un micrometro.

Da un punto di vista ingegneristico, il grado di accuratezza e ripetibilità presentati da Maxwell sono decisamente migliori rispetto a quelli mostrati da un qualsiasi altro robot industriale antropomorfo o da una qualsiasi macchina cartesiana a controllo numerico, ovvero delle tecnologie che fino ad oggi hanno dominato il mercato del manufacturing ad alta precisione. A termine di paragone, si consideri che, normalmente, un robot commerciale avente un payload di circa 70-90Kg e operante in un volume di lavoro pari a un metro e ottanta per un metro e ottanta per un metro e mezzo, presenta un grado di accuratezza (precisione nel movimento) caratterizzato da un errore medio di più o meno seicento micrometri, ovvero trenta volte più grande di quello di Maxwell. Possiamo affermare che la "machina sapiens" che stiamo presentando ha una accuratezza che è maggiore di più di un ordine di grandezza rispetto a quanto è offerto oggi dal mercato.

L'elevatissima accuratezza è il fattore che consente a Maxwell di accrescere l'ambito delle possibili applicazioni industriali di un robot antropomorfo. Nella gamma di impieghi abilitati da questo robot troviamo attività come la rivettatura, la foratura e la fresatura, ma anche operazioni più complesse come la saldatura al laser, la stampa 3D su larga scala e l'ispezione della qualità delle lavorazioni effettuate sul prodotto.

Progettare una partecipazione attiva ai processi di produzione della conoscenza

Come si è detto in precedenza, Maxwell è stato pensato per rendere ottimale la sua partecipazione attiva ai processi di *problem solving* e di produzione della conoscenza. Per comprendere cosa significa "partecipazione attiva" è necessario fare una premessa di natura filosofica. La premessa in questione è la seguente: "ogni tentativo di ottenere una conoscenza oggettiva e neutrale dei fenomeni indagati, da un uomo piuttosto che da una macchina, è tanto illusorio quanto infondato".

Questa affermazione è giustificata dal fatto che ogni conoscenza prodotta, per quanto universale possa essere il suo valore, è in ultima istanza determinata da un numero finito di azioni, specifiche e particolari, che sono compiute più o meno arbitrariamente da un soggetto conoscente, sia questo un robot o un essere umano in carne e ossa. Il soggetto conoscente, date queste premesse, non si limita a scoprire, come un demone laplaceano, le regole che governano i fenomeni oggetto della sua indagine, ma impone a questi, per mezzo del suo agire preliminare, delle restrizioni che sono necessarie per la produzione della sua conoscenza.

Nei fatti, attraverso queste azioni specifiche, particolari e finite, vengono a determinarsi quelle “condizioni al contorno” dentro le quali il fenomeno posto sotto attenzione può “mostrare” al soggetto conoscente delle fattispecie di comportamenti che sono per lui intellegibili. Se si accetta questo presupposto epistemologico si può affermare che ogni processo di produzione della conoscenza è governato da due principi distinti e gerarchicamente ordinati.

Il principio superiore è quello inerente all’organizzazione delle azioni compiute dal soggetto conoscente per determinare le così dette “condizioni al contorno”, mentre il principio inferiore riguarda le regole che governano il fenomeno esplorato, così come si manifestano sotto le restrizioni imposte (Polanyi 1969).

Ora dovrebbe apparire evidente come la partecipazione attiva di una “machina sapiens” ai processi conoscitivi di un gruppo di lavoro o di una organizzazione, dipenda sì dalla sua capacità di scoprire schemi e strutture nei dati (principio inferiore) ma ancor più dalla sua abilità di creare delle “condizioni al contorno” (principio superiore) che siano nuove, insolite e originali. È attraverso queste ultime che, parafrasando Ruggero Bacone, si possono torturare i fenomeni inquisiti affinché confessino i loro segreti.

Se per il soggetto conoscente, uomo o macchina che sia, imporre “condizioni al contorno” significa sostanzialmente operare in un modo limitato (nel tempo e nello spazio), peculiare e definito, crediamo sia chiaro come il potenziale e la qualità di questo agire dipenda in larga parte dalla capacità del soggetto conoscente stesso di interfacciarsi con la realtà per mezzo delle sue componenti fisiche e del repertorio di interazioni che a queste è associato.

Uno dei due autori di questo articolo, Massimiliano Moruzzi, che ha presieduto lo sviluppo del robot Maxwell, è solito ricorrere, per spiegare questo concetto, alla metafora del “robot contento”. La contentezza in questione non ha nulla a che vedere con gli stati d’animo umani che sono legati ai sentimenti di felicità, allegria o soddisfazione. La contentezza del robot è legata alla sua possibilità di muoversi liberamente nel mondo, di scegliere quali azioni compiere all’interno di una gamma di opzioni più o meno ampia. Tanto maggiori sono le opzioni a disposizione del robot tanto più grande sarà il suo livello di “contentezza”. Possiamo dire che, per un robot come Maxwell, la “contentezza” è direttamente proporzionale alla libertà d’azione e che libertà d’azione è il fattore che determina il numero e la varietà di “condizioni al contorno” che possono essere imposte ad un fenomeno per poterlo studiare. In altri termini, un “robot contento” è un robot che può fare esperienze diverse del medesimo problema, che può esplorarlo da punti vista differenti e che può risolverlo seguendo direttrici alternative ed equivalenti.

A questo punto dovremmo essere riusciti a collocare il nostro concetto di “*machina sapiens*” al di fuori dei miti speciosi della rigida esattezza e della fasulla separazione tra la parzialità dell’esperienza e la ferrea logica della ricerca. Maxwell non è stato progettato per rispecchiare la verità oggettiva e neutrale dei fenomeni che sono sottoposti alla sua attenzione, non è stato pensato per essere, prendendo a prestito un’espressione del filosofo Richard Rorty, un “occhio di Dio” (Rorty 1979). Al contrario è stato sviluppato per potersi implicare con i problemi che è chiamato a risolvere, per esperirli in maniera diretta e propria e per elaborarne una cognizione caratteristica e particolare. Il suo sguardo sul problema non è, per citare il filosofo Thomas Nagel (2018), “uno sguardo da nessun luogo”, ma uno sguardo dai luoghi che ha potuto raggiungere attraverso le sue azioni.

Conoscenza personale di tipo macchinico

Con molta prudenza – e ricordando sempre che la macchina, a differenza dell’uomo, non ha coscienza di sé, né ha desideri, emozioni e passioni – ci spingiamo ad affermare che la conoscenza prodotta da Maxwell è, seppure in un’accezione obbligatoriamente diversa da quella umana, necessariamente “personale”. Quello che proponiamo, a questo punto, è l’adozione della definizione di “personale in senso macchinico”.

Il concetto di “conoscenza personale” è stato messo a punto dallo scienziato ed epistemologo Michael Polanyi con riferimento all’attività conoscitiva umana. Nel suo capolavoro, *Personal Knowledge*, Polanyi spiega come nell’agire che produce conoscenza rientri inevitabilmente il “contributo appassionato” di chi “conosce ciò che viene conosciuto”. Questo contributo non è da considerarsi come un difetto del processo conoscitivo, ma come “un fattore vitale della conoscenza” (Polanyi 1959).

Per l’autore la conoscenza è sempre intrecciata con il vissuto e con le esperienze concrete realizzate dal soggetto conoscente ed è per questo che è sempre una conoscenza di tipo personale. Il soggetto conoscente, di conseguenza, partecipa con tutto se stesso, comprese le sue passioni, alla soluzione dei problemi che è chiamato ad affrontare. La conoscenza che ne deriva, se il suo impegno è rivolto a stabilire un confronto onesto con la realtà e a produrre un sapere che ambisca ad avere una validità generale, non può essere tacciata né di scadere nel mero arbitrio né di scivolare nel più selvaggio soggettivismo. Arbitrio e soggettivismo sono evitati dal momento in cui il soggetto conoscente, correttamente, si mette alla ricerca di nuove soluzioni o nuove conoscenze considerandole potenzialmente preesistenti. Questo presupposto, da un lato, elimina la discrezionalità relativa al risultato del suo conoscere e, dall’altro, apre a una possibile accettazione universale dello stesso. In altri termini, nella misura in cui il soggetto co-

noscente ammette l'esistenza di esigenze indipendenti da sé, la sua conoscenza rimane personale senza scadere nell'arbitrio o nel soggettivismo (Polanyi 1959).

Ricordando che in ogni analogia gli elementi di dissomiglianza sono maggiori di quelli di somiglianza e che agli autori di questo articolo sono ben chiare le differenze radicali fra un uomo e una macchina, gli stessi ritengono comunque particolarmente fertile provare a tracciare un parallelismo fra la "conoscenza personale umana", così come è stata delineata da Polanyi, e una proposta di "conoscenza personale macchinica".

Nella teoria di Polanyi, come abbiamo visto, la dicotomia soggettivo-oggettivo è superata e trascesa dal concetto di "personale" che, nel caso degli esseri umani, è fortemente connaturato alle passioni (Polanyi 1959). Nella nostra proposta, conserviamo l'uso del concetto di "personale", come mezzo per aggirare l'aporia contenuta nella distinzione fra soggettivo e oggettivo, ma lo caratterizziamo in senso macchinico, sostituendo le passioni, che la macchina non può esperire, con i livelli di libertà di azione che le sono consentiti dalle sue strutture ed elaborazioni e con il conseguente livello di complessità delle sue potenziali mosse conoscitive.

Dopo questi doverosi chiarimenti possiamo tornare con maggiore fiducia alla metafora promossa da Massimiliano Moruzzi di "robot contento" e dire che: "Maxwell partecipa alla risoluzione dei problemi e alla produzione di nuova conoscenza con tutto se stesso, con tutta la libertà o, se si preferisce, la "contentezza" che lo caratterizzano e quindi attraverso modalità che sono, in qualche misura, uniche e originali".

L'unicità e l'originalità delle soluzioni proposte da Maxwell sono garantite dalla unicità e dalla originalità della sua esperienza del mondo e dei problemi. A sua volta l'unicità e originalità della sua esperienza è garantita dalla unicità e originalità delle sue mosse conoscitive, le quali si fondano sull'unicità e originalità del modo con cui sono combinati i dispositivi che lo costituiscono come soggetto conoscente (arti, sensori, motori, processori, ecc.).

Ma questo non basta, perché la partecipazione di Maxwell al gioco conoscitivo sia veramente attiva bisogna far sì, che nella scala appena descritta, i livelli superiori, pur radicandosi nei livelli inferiori, non possano mai essere spiegati completamente da questi ultimi. Ad esempio, l'unicità e originalità delle soluzioni (livello più alto) non deve poter essere predetta completamente dall'unicità e originalità della combinazione dei dispositivi (livello più basso). Se così non fosse, Maxwell non presenterebbe alcun vero grado di libertà, ma si limiterebbe ad essere un complicato meccanismo deterministico.

Come fuggire allora dalla trappola deterministica? Qui entra pesantemente in gioco l'intelligenza artificiale e più specificamente quel particolare oggetto matematico che sono le reti neurali artificiali. Imitando, seppur grossolanamente, il comporta-

mento dei neuroni biologici del cervello, le reti neurali artificiali consentono ad una “machina sapiens” di “aggiungere il mondo” (Eagleman 2020), con tutta la sua dose di volatilità, incertezza, ambiguità e complessità, ai meccanismi che governano il suo funzionamento.

Sempre ricordando al lettore tutti i limiti intrinseci ad ogni analogia, ci paiono interessanti alcune idee espresse del neuroscienziato David Eagleman. Nel tentativo di fornire una spiegazione del perché Albert Einstein sia riuscito nelle sue imprese intellettuali e scientifiche, Eagleman sottolinea come, oltre alla genetica, abbiano avuto un ruolo decisivo tutte le singole esperienze vissute dal padre delle due teorie della relatività. L'elenco fornito dal neuroscienziato va dal suono del violino al rapporto con gli insegnati a scuola, dalle delusioni sentimentali al lavoro presso l'ufficio brevetti di Berna, dai problemi di matematica alle letture dei libri più disparati e molto altro ancora. Insomma, il cervello di Einstein è stato modellato dall'insieme di questi eventi ed è per questo che, nonostante ogni anno nascano migliaia di bambini con il potenziale genetico del fisico di Ulma, pochissimi possono ambire a raggiungere i suoi risultati. Quello che mancherà alla maggior parte di essi sarà l'esposizione a quei fattori sociali, culturali e ambientali che hanno plasmato il sistema nervoso di Einstein in modo positivo rispetto agli obiettivi che questi ha raggiunto (Eagleman 2020).

Quello che ci interessa far notare è che ciò che può essere in parte vero per un essere umano è quasi certo per una “machina sapiens” in cui l'assenza di ogni aspetto mentale o spirituale è fuori discussione. È il fatto che le reti neurali artificiali si lascino plasmare, nella loro struttura interna, dai dati che provengono dal mondo esterno a permettere a Maxwell e ai suoi simili di intraprendere percorsi di scoperta non rigidamente deterministici. Grazie alla flessibilità di questo tipo di intelligenza artificiale, gli eventi che riempiono l'esperienza di Maxwell finiscono per integrarsi direttamente nella complessa trama dei suoi processi decisionali. Siamo di fronte ad un tipico ciclo di feedback di rinforzo. La molteplicità delle mosse conoscitive possibili alla macchina arricchiscono la dieta della sua rete neurale artificiale in termini di dati. La ricchezza dei dati forniti complessifica la rete neurale artificiale stessa che, a sua volta, aumenta le possibilità del robot di compiere azioni di tipo conoscitivo.

Per ottenere tutto questo, come abbiamo già detto, è necessario che Maxwell entri in un contatto in qualche modo “personale” con i problemi alla cui soluzione deve fornire un contributo. Questo non può avvenire, però, se prima il robot non sviluppa una cognizione di se, intesa come cognizione delle parti che lo costituiscono e delle funzioni che queste possono svolgere sia in maniera isolata che in combinazione fra di loro.

Per questa ragione, la prima sfida del progetto è stata quella di mettere Maxwell in grado di possedere una cognizione, che fosse veramente profonda, del proprio corpo e delle sue caratteristiche di elasticità, di risposta dinamica e di sensibilità ai fatto-

ri ambientali, come ad esempio la temperatura all'interno dell'area di lavoro. Questa cognizione profonda, o in altri termini "intelligenza", è stata ottenuta attraverso due fattori chiave: *a)* una struttura ingegnerizzata ed ottimizzata, attraverso algoritmi di Generative Design, nella quale operano motori elettrici a trasmissione diretta; *b)* una serie di algoritmi, appartenenti alla famiglia del Deep Artificial Neural Network, che realizzano il vero e proprio apprendimento della macchina rispetto alle sue possibilità di movimento e di azione.

La combinazione di questi due fattori è risultata cruciale per raggiungere il grado di accuratezza e ripetibilità mostrati da Maxwell nel suo operare. La sola struttura meccanica, seppur caratterizzata da un grado di incertezza ridotto, dovuto alla trasmissione diretta del movimento dei vari giunti, all'assenza di giochi o scorrimenti meccanici e a una struttura ottimizzata in termini di inerzia e rigidità, non avrebbe mai potuto garantire il raggiungimento dei suoi limiti, riguardo alle capacità elasto-meccanico-dinamiche, senza quel "controllo cognitivo" con cui Maxwell ha imparato e impara dai comportamenti della struttura stessa.

Per comprendere bene come sia avvenuto e avvenga questo apprendimento, anche stavolta ci viene in aiuto il lavoro di Eagleman. Descrivendo come i neonati imparano a parlare, l'autore de *L'intelligenza dinamica*, sottolinea sarcasticamente come questo non avvenga grazie alla genetica o consultando Wikipedia. L'apprendimento avviene attraverso un processo di prova ed errore che comunemente chiamiamo balbettamento. I neonati emettono con la bocca dei suoni che catturano con le orecchie. Il loro cervello è dunque messo nelle condizioni di paragonare i suoni da essi prodotti con quelli prodotti dai genitori e da altri adulti che li circondano. Tutto questo è rafforzato dal fatto che alcuni suoni sono seguiti da reazioni positive da parte della madre o del padre mentre altri no. Questo sistematico ciclo di retroazioni permette ai neonati di perfezionare le loro abilità nel linguaggio parlato e nel tempo a renderli padroni di una o più delle settemila lingue utilizzate nel mondo. Per Eagleman la stessa cosa avviene per quanto riguarda il controllo del corpo e a tale proposito conia l'espressione "*balbettamento motorio*". L'attenzione si sposta, dunque, su alcuni gesti tipici del neonato come il succhiarsi l'alluce, l'afferrarsi i capelli, il piegare le dita o il picchiarsi le mani sulla fronte. Questo repertorio di azioni è un processo di scoperta della corrispondenza fra l'output motorio e la retroazione sensoriale che ne deriva. È questa la modalità con cui il neonato apprende il linguaggio del proprio corpo, ovvero come da un dato output derivino gli input successivi. Si tratta di una modalità di apprendimento che nel tempo il bambino utilizza per fare cose sempre più complesse come portarsi il cibo alla bocca, camminare, giocare, nuotare o fare le capriole all'ora di ginnastica. Inoltre, evidenzia l'autore, è sempre lungo questa via che gli esseri umani imparano ad aggiungere estensioni al proprio corpo come, ad esempio, una bicicletta. Il nostro codice genetico

non contiene istruzioni su come andare in bicicletta a differenza di altre attività come l'arrampicarsi sugli alberi, il trasportare il cibo o il costruire rudimentali utensili. Per farlo è necessario accettare nuove sfide come quelle del bilanciamento del busto, la modificazione del senso di marcia attraverso le braccia o l'arresto mediante la chiusura della mano. Anche di fronte a queste complicazioni, un bambino in età scolare riesce ad aggiungere al catalogo delle sue abilità motorie questi nuovi "controlli" senza grandi difficoltà (Eagleman 2020).

La descrizione che il neuroscienziato fornisce dell'apprendimento esperienziale del neonato, e dell'essere umano più in generale, è molto simile, in senso pratico, alle modalità con cui Maxwell è stato messo in grado, da Massimiliano Moruzzi e dal suo team, di auto-comprendere quali sono i suoi reali livelli di libertà e le sue effettive possibilità di realizzare azioni utili al processo conoscitivo e di *problem solving*. In entrambi i casi, quello del neonato e quello del robot, il training è centrato attorno all'acquisizione di una serie di esperienze motorie-esplorative. Queste esperienze sono atte a consentire al cervello biologico del neonato di imparare a conoscere il proprio corpo e al "cervello sintetico" di Maxwell di imparare a conoscere la propria struttura elasto-meccanica-dinamica.

Nel caso di Maxwell, l'esperienza motorio-esplorativa viene generata da un algoritmo di tipo "quasi-stocastico", ovvero da una procedura computazionale che per raggiungere i suoi obiettivi combina scelte casuali e calcolo della probabilità. Questo algoritmo determina una nuvola di punti, o per meglio dire di posizioni e di orientamenti, relativi allo stato del corpo del robot all'interno del volume di lavoro. Un sistema di misura ad alta precisione, basato su raggio laser (*laser tracker*), è collocato di fronte alla macchina per registrare la posizione di tutti i suoi giunti e del suo *robot tool center point* (punto caratteristico dello strumento impiegato). Questa misurazione è resa possibile grazie ad una serie di *laser targets* (bersagli del raggio) montati su ognuno degli elementi menzionati. Ogni volta che Maxwell raggiunge una posizione all'interno della nuvola di punti calcolata dall'algoritmo "quasi-stocastico", il laser tracker invia un raggio verso i laser targets montati e ne registra la posizione rispetto ad un sistema di assi assoluto, che nel caso specifico coincide con quello che viene chiamato "Sistema Assi Macchina". Il compito del laser tracker non è solo quello di catturare i dati necessari per il training della rete neurale, ma anche quello di fungere da arbitro nella definizione del corretto valore della posizione di ogni particolare punto. Questo aspetto è cruciale per quella che è la fase più critica del lavoro di ogni rete neurale, ovvero la fase di *rewarding* e di *auditing*. Per una rete neurale, infatti, è molto importante capire come ed in che misura premiare i neuroni che la compongono ed i diversi percorsi che li collegano. Ecco perché è decisivo avere a disposizione un arbitro capace di definire in maniera "assoluta" sia la posizione del *robot tool center point* che quella

dei giunti che costituiscono Maxwell. Da un punto di vista operativo, è proprio in questo modo che la rete neurale è messa in grado di capire tanto qual è il proprio grado di errore, quanto quali sono le azioni da intraprendere per migliorarlo.

Ribadiamo come tutto questo sia, in termini pratici, molto simile al training esplorativo-motorio di un neonato. In questo caso, quello del neonato, il ruolo dell'arbitro non è ovviamente svolto da un laser tracker ma, nella maggioranza dei casi, dai genitori e dai parenti che supportano, sostengono e mostrano all'infante cose come il rimanere eretto o il muovere i primi passi. Per quanto riguarda l'algoritmo "quasi-stocastico", invece, il suo omologo biologico è l'innata curiosità che spinge il bambino ad esplorare, in un modo più o meno casuale, il mondo che lo circonda.

Una volta terminata l'acquisizione dei dati e il training della rete neurale, può iniziare la fase di "predizione", ovvero la rete neurale può calcolare la posizione e la configurazione ottimale di ognuno dei giunti che compongono Maxwell rispetto a una data posizione obiettivo, con lo scopo di minimizzare l'errore tra la posizione/orientazione predetta e quella reale misurata dal laser tracker.

Il completamento di questo vero e proprio "auditing sperimentale" del modello di machine learning che governa la parte motoria e dinamica del robot, mette il "cervello sintetico" di Maxwell in grado di produrre una serie di diagrammi vettoriali multidimensionali che consentono di valutare gli errori operati nel posizionamento del *robot tool center point* e di ogni giunto. Si apre così la fase chiamata di "Reinforcement Learning", in cui la macchina è messa nella condizione di valutare autonomamente quali sono le azioni migliori da compiere per il raggiungimento dei suoi obiettivi.

In sostanza, Maxwell, grazie alla sua rete neurale artificiale, non ha bisogno di essere programmato per scoprire la sua struttura fisica e le possibilità di movimento e di azione che da questa derivano. Come il neonato nell'esempio di Eagleman, il robot muove e agisce più o meno arbitrariamente i suoi dispositivi per poterne valutare le conseguenze. Ogni mossa genera dati che arricchiscono il modello che Maxwell ha di se stesso. Ovviamente questi esperimenti compiuti dal robot non avvengono in uno spazio astratto, concettuale e puramente matematico, ma nel contesto fisico e reale dell'ambiente in cui è inserito. Quella di Maxwell non è una simulazione ma una vera e propria esperienza del mondo e dei suoi problemi. Questa esperienza è in qualche modo "personale in senso macchinico" in quanto la macchina non opera in un modo teorico all'interno di un contesto generico, ma in un modo pratico all'interno di un contesto specifico e particolare.

Superato questo stadio, Maxwell prosegue il suo viaggio esplorativo attraverso nuove "esperienze" che lo portano al di là della cognizione della propria struttura meccanica e dinamica. Si tratta delle "esperienze" che lo indirizzano verso l'apprendimento di quei processi industriali che è chiamato a realizzare, quali la saldatura al

laser, le forature, le fresature, la stampa 3D, la rivettatura e l'ispezione della qualità. La dinamica di apprendimento, in tutti questi casi, è sostanzialmente la stessa che abbiamo descritto per la parte relativa alla "comprensione" delle proprie caratteristiche e capacità elasto-meccaniche-dinamiche.

Prendiamo il caso della saldatura al laser. Si tratta di un processo molto complesso, estremamente non lineare e descritto da una moltitudine di parametri. Ne citiamo alcuni per rendere, seppure vagamente, l'idea della difficoltà del compito: *laser power, feed rate, focal distance, wobble geometry, amplitude, frequency, material thermo-physical properties, beam absorptivity, intermetallic \ dissimilar material, thickness variation, joint type, clamp geometry, beam angle, beam shape* e *nozzle direction*. La corretta messa a punto di tutti questi parametri rappresenta una sfida tradizionalmente difficile e costosa in cui gli operatori umani sono impegnati ad effettuare numerosi tentativi secondo il metodo di prova ed errore. Maxwell, facendo esperienza diretta di questa attività raccoglie continuamente, attraverso i suoi sensori, nuovi dati relativi alle conseguenze del suo agire. Questi dati complessificano la sua rete neurale artificiale, premiando alcuni neuroni e alcune connessioni, fino a renderla in grado di elaborare dei veri e propri modelli del processo fisico di saldatura. I modelli elaborati consentono al robot di calcolare, in modo autonomo, quelli che, dal suo particolarissimo punto di vista, sono i diversi set di valori ottimali per i parametri che controllano l'attività in questione nella specifica circostanza che gli è sottoposta.

Integrazione della conoscenza personale meccanica con la conoscenza personale umana

Le difficoltà che sono in qualche modo assimilabili a quelle legate alla ricerca di una "giusta ricetta" per una saldatura al laser, come abbiamo visto, dipendono, il più delle volte, dal gran numero delle variabili in gioco. È vero però, che in questo tipo di circostanze, si nascondono, spesso, molteplici soluzioni concorrenti, nel maggior numero dei casi deliberatamente ignorate per evitare la fatica e il costo della loro scoperta. Si può, dunque, rilevare nelle organizzazioni e nei team, una specie di inerzia che favorisce l'adozione di quelle soluzioni che in passato hanno funzionato abbastanza bene (criterio soddisfacentista). Ma se queste "ricette collaudate" ci stessero in qualche modo impedendo di vedere nuovi e migliori modi per effettuare una particolare saldatura o un qualsiasi altro tipo di processo o attività? Maxwell, attraverso le sue esplorazioni, ha la capacità di allargare lo "spazio delle soluzioni" a disposizione dei gruppi di lavoro che lo adottano. Ogni volta che gli uomini descrivono alla macchina il problema che vogliono risolvere, questa non si limita a restituire loro la prima soluzione che individua

e neppure la soluzione ritenuta semplicemente la migliore. Al contrario, Maxwell restituisce ai suoi interlocutori umani la più ampia gamma possibile di soluzioni praticabili in quella specifica circostanza, lasciando alla sensibilità professionale di questi ultimi il compito di decidere quale via intraprendere. Quella che è stata progettata non è una macchina intelligente assertiva per la “chiusura artificiale della decisione”, ma una macchina intelligente dubitativa per la “apertura artificiale dello spazio delle possibilità”. Si tratta di un vero e proprio ribaltamento della scena rispetto alle normali aspettative sull’intelligenza artificiale. Nel caso che stiamo descrivendo, non è l’uomo ad interrogare l’intelligenza artificiale come fosse un oracolo, ma l’intelligenza artificiale ad interrogare l’uomo sui suoi progetti attraverso “proposte” esplicitate nella loro fattibilità e nelle loro conseguenze. Nel suo “dialogo” con l’uomo, Maxwell offre soluzioni non nella forma di “percorsi unici ottimali” ma nella forma di “vie concorrenti”, ciascuna con il suo bagaglio di vincoli e ripercussioni. In questo tipo di relazione è il feedback umano a restringere progressivamente il campo di azione della macchina e non viceversa come nelle dinamiche abituali in cui sono presenti forme di cognizione digitale.

Scoprendo il fianco a possibili critiche, troviamo il coraggio di affermare che Maxwell è una macchina progettata per dubitare di se stessa e per lasciare agli uomini con cui collabora e ai loro giudizi di valore e di fatto l’ultima parola sul da farsi. Il dubbio a cui ci riferiamo non è quello legato alle capacità semantiche o alle abilità sintattiche di più alto livello che servono al soggetto conoscente per “tematizzare” la sua presenza nel mondo e per mettersi in discussione fino al punto di superare il proprio contesto di partenza (Dreyfus 1988). Nessuna macchina concepita su basi fisiche ha dimostrato di poter collegare piani logici, sintattici e semantici tanto differenti e di poterli, allo stesso tempo, mettere in discussione (Rossi 1998). Più modestamente ci accontentiamo di sottolineare come Maxwell, nella sua operatività, non presuma di aver trovato, attraverso i suoi calcoli, la soluzione migliore ma, come già detto, una gamma di alternative potenzialmente e razionalmente praticabili. In questo senso pensiamo di avere assecondato gli auspici di Paolo Benanti, quando afferma che è necessario fornire alle intelligenze artificiali una specie di “*umiltà artificiale*”, affinché la macchina non finisca per soppiantare l’uomo e per costruire un ambiente ad esso inospitale (Benanti 2017). Aggiungiamo, a quelli di Benanti, un nostro specifico auspicio, ovvero che la “*umiltà artificiale*” esibita da un robot come Maxwell possa stimolare quella “*umiltà umana*” che troppe volte manca sia nei processi decisionali delle organizzazioni sia in quelli dei singoli individui.

La conoscenza personale macchinica e le sue componenti tacite

Ricorrendo a una ulteriore similitudine vogliamo far notare che l'apprendimento di Maxwell è più vicino a quello di un uomo che impara, provando e riprovando, a cucinarsi un uovo o a scolpire il marmo, piuttosto che a quello di un uomo che, attraverso la lettura di un libro, acquisisce una teoria economica, fisica, sociologica o quant'altro. Attraverso questa distinzione, oltre al carattere necessariamente "personale" della conoscenza prodotta, emerge un ulteriore aspetto interessante della cognizione di questo tipo di macchina. Ci riferiamo al fatto che in essa si possono ritrovare tracce di una componente "tacita", non formalizzabile e non trasferibile per via logico-simbolica.

Nel libro *La quarta era*, Byron Reese ci offre una sintesi efficace di un esperimento mentale congegnato dal filosofo australiano Frank Jackson, la così detta "*Mary's Room*". La Mary in questione sa ogni cosa sui colori senza averli mai visti. Ha studiato la fisica dei colori e non solo sa come avvengono le iterazioni tra i fotoni e l'occhio con i suoi coni e bastoncelli, ma sa anche ciò che accade sulla scala atomica. Tutte queste cose Mary le ha apprese vivendo in una stanza grigia e studiando i testi scientifici su un computer dalla schermo grigio. Ora, si chiede Jackson, se Mary un giorno uscisse dalla sua stanza e vedesse per la prima volta i colori apprenderebbe qualcosa di nuovo su di essi? (Reese 2019).

La nostra risposta è sì, e quel qualcosa è inscindibile dall'esperienza personale e pratica del soggetto conoscente. È qualcosa di tendenzialmente tacito e di non codificabile e verbalizzabile pienamente. Ritornando a Polanyi, questa volta al suo lavoro *La conoscenza inespresa* (1966), assieme a lui possiamo affermare che in ogni abilità acquisita attraverso l'esperienza pratica sono contenute molte più informazioni di quante i possessori dell'abilità stessa siano in grado di esprimere e di comunicare.

Normalmente, la conoscenza di tipo "tacito" è associata a un processo di trasferimento di significato. Un essere umano che diventando cieco deve imparare a destreggiarsi nello spazio con un bastone, apprenderà, nel tempo, come gli impulsi che giungono al suo cervello, per mezzo della mano, significhino cose come "presenza di un ostacolo", "ostacolo aggirabile", "via libera" o altro. Questa forma di conoscenza non può essere codificata e comunicata in modo formale ma richiede, per essere acquisita, il passaggio attraverso l'esperienza. Possiamo dire la stessa cosa per le abilità degli artigiani. È nota a tutti, ad esempio, l'espressione dello chef "quanto basta" per indicare il giusto tempo e la giusta forza di mescolamento necessari per ottenere una buona maionese. Lo chef in questione, ci sta invitando a prestare attenzione ai feedback che giungono alla nostra mano nei termini degli effetti che questa sta producendo sulla cosa cui la stiamo applicando (trasferimento di significato). Per ottenere tutto questo,

bisogna che nel gioco conoscitivo sia presente una dimensione semantica. Ma, allora, come è possibile ipotizzare la presenza di una componente “tacita” nella cognizione della macchina che opera esclusivamente su un piano sintattico? Come può una macchina, che coglie solo gli elementi formali della realtà, possedere quel “di più” che per definizione è inesprimibile e radicato nella esperienza personale?

Ancora una volta, gli scriventi sono costretti, nella loro proposta, a tentare un arduo parallelo con la teoria di Polanyi. L’epistemologo, nel definire il suo concetto di “conoscenza inespressa”, individua oltre e prima dell’aspetto semantico anche una struttura funzionale. Ovvero una sequenza operativa che muove dall’evento-prossimo (inespresso o tacito) all’evento-distale (espresso o esplicito). Si tratta di una dinamica in cui l’attenzione è mosso “da” qualcosa “a” qualche altra e in cui il punto di partenza, quello più vicino al soggetto conoscente, è sempre inesprimibile, mentre il punto di arrivo, quello più lontano, è codificabile e verbalizzabile. All’interno di questa prospettiva gli eventi “prossimi” sono dei veri e propri elementi sussidiari del processo conoscitivo (Polanyi 1966).

A nostro giudizio, questo equivale a dire che ogni processo conoscitivo presenta due dimensioni fondamentali. La preesistenza della realtà che viene prima anticipata e solo poi conosciuta e l’appartenenza del soggetto conoscente alla medesima realtà, da esso anticipata per mezzo della percezione fisica. La cognizione non è dunque un’attività meramente astratta ed intenzionale, ma qualcosa di saldamente ancorato nella dimensione fisica del soggetto conoscente. È questa dimensione fisica del soggetto conoscente a determinarne la relazione con la realtà e con gli aspetti che questa nasconde. Le azioni anticipanti del robot Maxwell, ovvero le modalità con cui si mette in relazione con i fenomeni e i problemi che gli sono sottoposti, possono essere considerate degli elementi sussidiari alla messa a fuoco della sua cognizione. In quanto sussidiari, questi elementi avranno un carattere “tacito” e per questo Maxwell non sarà in grado di rendere conto pienamente di essi. Questa condizione non pregiudica minimamente la cognizione della nostra “macchina sapiens”, ma ne rappresenta soltanto la dimensione inespressa, quel “di più” che è tipico dell’esperienza pratica rispetto alla sola conoscenza teorica. Se la cognizione non è pregiudicata non lo è neppure la collaborazione e la comunicazione con l’uomo. Le “vie concorrenti”, offerte da Maxwell alla sua controparte umana, sono rese effettive dall’intelligibilità che caratterizza l’evento-distale del suo processo conoscitivo, il quale è volutamente sempre riconducibile ad un modello di tipo “causale”.

Proviamo a spiegare meglio questo fatto dettagliandolo. Gli input che raggiungono la rete neurale artificiale di una macchina come Maxwell possono rappresentare cose molto diverse tra di loro. Possono rappresentare le onde di compressione dell’aria prodotte da un impatto fra due corpi, i giochi di luce provenienti da una superficie

metallica, il rilascio di molecole di due materiali saldati tra di loro e molto altro ancora. Dal punto di vista della rete neurale artificiale tutte queste cose si differenziano in termini di struttura dei dati. I dati provenienti da una telecamera ad infrarossi hanno una struttura diversa da quelli provenienti da un microfono piuttosto che da un sonar o da un laser LIDAR. Questi flussi di dati così diversi presentano anche contingenze diverse. Quando la telecamera di un robot cambia orientamento, cambiano anche i dati visivi che arrivano alla sua rete neurale artificiale, mentre i dati relativi al suono rimangono invariati finché il robot non modifica anche l'orientamento dei suoi microfoni (Eagleman 2020). Se, dunque, si riescono a immettere, nell'intelligenza artificiale del robot, flussi di dati con strutture caratteristiche estranee a quelle normalmente percepite dagli uomini e a coordinarli, attraverso qualche forma di feedback, con le sue azioni e i suoi movimenti, possiamo ottenere qualcosa di simile ad una vera e propria sensorialità "aliena". Il robot, con flussi di dati appropriati, finisce per avere una esperienza percettiva diretta di aspetti del problema che sono del tutto inaccessibili alle possibilità umane. Sono questi "nuovi sensi" ad aprire, a Maxwell e alle altre "machine sapiens" come lui, uno spazio diverso per la cognizione della realtà. Non si tratta del semplice potenziamento dei sensi umani, di qualcosa di simile a ciò che è stato prodotto nella storia dalle lenti telescopiche o microscopiche. Non si tratta, banalmente, di accedere a dati prima non disponibili. Qui è in gioco la possibilità di produrre una tipologia di conoscenza qualitativamente nuova, grazie alla continua riorganizzazione delle strutture interne della rete neurale artificiale. Questa riorganizzazione "in tempo reale" delle strutture interne dell'intelligenza artificiale è frutto dell'agire combinato dei flussi di dati esterni con i movimenti e le azioni intraprese dalla macchina stessa che, in virtù di tutto questo, può spingersi verso rappresentazioni inedite dei problemi che sta affrontando. Possiamo affermare che nuovi dati, in questo tipo di contesto, equivalgono a nuove dimensioni utili alla rappresentazione dei fenomeni posti sotto analisi. A rendere possibile questo salto qualitativo della cognizione è la capacità della rete neurale artificiale di adattarsi a qualsiasi tipo di dati a prescindere tanto dalla natura della loro fonte quanto dalle strutture intrinseche che li caratterizzano. Prendete ad esempio gli uccelli migratori che percepiscono il campo magnetico terrestre. Quando questi animali devono determinare la giusta rotta per il loro viaggio dispongono dell'informazione su dove si trova il nord. Questa informazione, strategica per il loro compito, non è semplicemente un dato da aggiungere all'interno di un quadro di informazioni più complessivo, come potrebbe essere per un uomo che ha a disposizione una bussola per orientarsi all'interno di un bosco, ma è qualcosa di intrinseco alla cognizione stessa del problema. Il nord non è un elemento posticcio su una mappa rappresentativa di un territorio, ma uno dei fattori che ha guidato la costruzione della mappa stessa. Questi uccelli hanno il senso del nord come noi abbiamo

il senso della vista, del tatto, dell'olfatto, del gusto e dell'udito. Quello che vogliamo dire è che il campo magnetico terrestre, per questi animali, è una fonte di dati che plasma il loro cervello e il conseguente suo funzionamento. Allo stesso modo, il cervello artificiale di Maxwell è plasmato da fonti di dati che non giungono al cervello biologico degli uomini, ed è per questo che Maxwell agisce secondo una rappresentazione dei problemi altamente diversa da quella dei suoi "colleghi" umani.

Riprendendo le lezioni di Polanyi sulla "conoscenza inespressa", dovrebbe ora apparire chiaro quali sono gli elementi sussidiari incomunicabili che guidano la focalizzazione del robot nei suoi processi conoscitivi. Ogni conoscenza esplicita (codificabile e comunicabile all'uomo) prodotta dalla macchina si radica, in ultima istanza, su una esperienza sensoriale dalla quale l'uomo rimane escluso semplicemente perché non è attrezzato per realizzare quella particolare percezione. Così come possiamo spiegare solo in modo parziale, ad un ceco dalla nascita, che cos'è il colore verde, perché non possiamo fargli fare l'esperienza diretta del verde, così Maxwell non potrà rendere totalmente esplicite, ai membri umani del suo team, molte delle sue percezioni. Questi ultimi, a causa dei loro limiti sensoriali, sono come Mary nella sua stanza tutta grigia. Ancor di più, i nostri limiti sensoriali sono la stanza grigia dove Mary studia la fisica dei colori rimanendo, nonostante il suo impegno, in parte mutilata nella comprensione del fenomeno che tanto la interessa. Tuttavia questo non significa che Maxwell non possa usare queste percezioni, "personali e tacite in senso macchinico", per produrre soluzioni che siano allo stesso tempo efficaci e comprensibili anche agli uomini. La sequenza operativa descritta da Polanyi nello schema: - "da prossimo-inespresso a distale-espresso" - trova in Maxwell questa possibile formulazione: "da percezione-sensoriale-inespressa ad azione-risolutiva-espressa".

La conoscenza personale macchinica come elemento di diversità cognitiva

Dopo aver caratterizzato le modalità con cui Maxwell partecipa attivamente ai processi di produzione di nuova conoscenza non ci resta che provare a delineare che tipo di valore aggiunto esso può fornire ad un team che intenda avvalersi della sua collaborazione. Dal momento che non è stato sviluppato per proporsi come una tecnologia oracolare, capace di fornire la risposta oggettivamente più giusta al problema in questione, Maxwell ambisce ad arricchire il capitale intellettuale del suo gruppo di lavoro sfornando soluzioni di tipo integrativo. Una soluzione si qualifica come integrativa non per il suo alto livello di esattezza, ma per il suo alto livello di diversità rispetto a ciò che è comunemente noto all'intero del collettivo di pensiero a cui si rivolge. La sua

funzione è quella di mettere in tensione modelli di conoscenza e di soluzione diversi al fine di giungere, per via dialettica, ad un nuovo e superiore livello di comprensione del problema affrontato. Il compito di Maxwell, dunque, è quello di aumentare la diversità cognitiva del team che ne fa uso. I vantaggi della diversità cognitiva sono noti e formalizzati dal punto di vista matematico nel teorema della diversità di predizione. Si tratta di un modello verificato a livello empirico che mostra come l'errore collettivo di un gruppo, nelle sue predizioni, corrisponda alla media degli errori individuali dei suoi membri meno la diversità predittiva del gruppo stesso. Seguendo il teorema, un gruppo di lavoro, per essere abile nelle sue predizioni, o presenta membri dotati di elevata capacità predittiva individuale, oppure presenta membri dotati di capacità predittiva media ma cognitivamente diversi tra loro. In altre parole, l'abilità cognitiva e la diversità cognitiva si equivalgono nel contributo che forniscono al gruppo per quanto riguarda previsioni, decisioni e produzione di nuova conoscenza (Page 2007; Zolli 2014).

In una intervista di Claudia Dreifus, pubblicata nel 2008 dal New York Times, Scott Page afferma: "Molti dati empirici dimostrano che le città non omogenee sono più produttive, i consigli di amministrazione eterogenei prendono decisioni migliori, le aziende più diversificate sono le più creative" (cit. da Harford 2016). Nel suo libro *The Difference*, Page illustra una serie di casi dove la diversità cognitiva supera l'abilità cognitiva. Questo perché davanti a problemi complessi anche l'intelligenza più grande può finire per arenarsi. In questi contesti l'integrazione di un punto di vista significativamente diverso, anche se non necessariamente superiore, può favorire l'uscita dallo stallo e contribuire al raggiungimento della soluzione. La tesi di Page è che in un team dove è presente un unico stile cognitivo tutti si incaglieranno nello stesso punto del problema. Diversamente, là dove si riscontra diversità cognitiva, soggetti diversi si bloccheranno in punti diversi del problema, ed è proprio questo fatto a offrire la possibilità di integrare il contributo di ciascuno all'interno di una architettura di soluzione complessivamente migliore (Page 2007).

La qualità decisionale di un gruppo, in ultima istanza, sembra dipendere in modo significativo dalla varietà degli stili cognitivi dei soggetti che lo compongono. Varietà che è data dalle differenti esperienze dei problemi che questi hanno maturato. Ed è proprio questo il contributo che Maxwell vuole offrire al suo team. Maxwell non vuole partecipare al "gioco dell'imitazione", non vuole somigliare all'uomo per essere confuso con l'uomo, ma vuole essere qualcosa di nettamente distinguibile dall'uomo per fornire all'uomo una prospettiva significativamente alternativa e un punto di vista decisamente insolito sui problemi che stanno sfidando il team e l'organizzazione a cui appartiene. Questa prospettiva e questo punto di vista hanno un carattere integrativo e non sostitutivo proprio perché Maxwell non vuole essere il "giudice ultimo", il "team

member” depositario della verità, ma semplicemente un “esploratore” che è stato capace di raggiungere un punto di osservazione nuovo e precluso ai suoi “colleghi” umani.

Conclusioni

Nella prospettiva della collaborazione uomo-macchina, come abbiamo già detto, Maxwell vuole essere uno strumento per aumentare la diversità cognitiva prima e più che uno strumento per aumentare l’abilità cognitiva. Questo fa sì che nelle organizzazioni e nei team che intendono adottarlo sia più difficile che si diffonda il falso mito dell’intelligenza artificiale come mezzo per il superamento dei difetti del ragionamento umano. L’ampia diffusione della letteratura sui *bias* cognitivi ha spinto molti a credere che le decisioni algoritmiche delle macchine sapienti debbano essere considerate come la soluzione ai nostri incoerenti processi decisionali. Imboccando questa via però si finirebbe inevitabilmente nel fosso di una intelligenza artificiale sostitutiva dell’uomo (totale automazione) o, altra ipotesi, di una intelligenza artificiale assertiva, che utilizza l’uomo come una sua appendice per svolgere quei compiti che, seguendo il paradosso di Moravec, le risultano fastidiosi (Taylorismo computazionale). Consideriamo tale esito non auspicabile, non solo perché queste forme di “algocrazia” peggiorerebbero la condizione umana nelle organizzazioni, ma anche perché, come si è provato a dimostrare in questo articolo, riteniamo falso il punto di vista di una epistemologia neutrale e oggettiva. Usare l’intelligenza artificiale, ad esempio, per provare a superare gli errori di attribuzione causale, in buona parte riconducibili ai bisogni psicologici degli esseri umani, è, a nostro giudizio, un modo ingenuo di affrontare un problema mal inquadrato. Questa ingenuità è ben rappresentata dalle parole di Anderson, che in un articolo su Wired del 2008 intitolato *The End of Theory: The Date Deluge Makes the Scientific Method Obsolete*, scriveva: “La correlazione supera la causalità ovvero con dati sufficienti, i numeri parlano da soli. Non è richiesta nessuna analisi semantica o causale” (cit. da Longo 2021).

A differenza di Anderson noi riteniamo che sostituire i “modelli causali” con dei “modelli correlazionali”, magari con la scusa che gli esseri umani commettono degli errori di attribuzione, equivalga a gettare il bambino con l’acqua sporca. La costruzione di una nuova conoscenza, come più volte detto, è sempre un cambio da una prospettiva particolare ad un’altra e non la ricerca di una visione assolutamente imparziale, astratta e squisitamente matematico-statistica.

A questo punto facciamo nostra la domanda posta da Giuseppe Longo nel suo libro *Matematica e senso*. Se dessimo in pasto a una intelligenza artificiale i dati relativi alle osservazioni astronomiche contenute nelle tavole Alfonsine (Spagna cattolica 1483),

questo algoritmo produrrebbe un modello geocentrico o eliocentrico? Preferirebbe gli epicicli o le ellissi? (Longo 2021)

Se accettassimo l'assunto di Anderson, l'algoritmo in questione dovrebbe scoprire qualcosa di simile alle leggi di Keplero. Da un punto di vista puramente matematico, però, anche un modello geocentrico (tolemaico) è assolutamente ammissibile. Come scrive Longo: "Infatti, qualsivoglia insieme finito di punti su un'ellisse intorno al Sole può essere interpolato da un numero sufficiente di epicicli centrati sulla Terra" (Longo 2021: 33).

Dal punto di vista dell'intelligenza umana, il passaggio dalla prospettiva geocentrica a quella eliocentrica non è stato determinato dal mero accumulo di osservazioni astronomiche (dati). Per giungere alla nuova e più corretta visione delle cose Copernico ha dovuto far sua quella particolare costruzione geometrica, inventata dalla pittura italiana, chiamata "prospettiva", che consente di indicare e variare il punto di vista dell'osservatore (van Frassen 1970; G. Longo e S. Longo 2020). Inoltre, ha dovuto adottare quel "principio di inerzia", affermato già da Giovanni Buridano nel XIV secolo, il quale rende "anomalo" il moto retrogrado dei pianeti e, di conseguenza, "sconsiglia" il ricorso agli epicicli (Jaki 2006). Perché, facendo leva esclusivamente sui dati, l'intelligenza artificiale dovrebbe scegliere di adottare il punto di vista del Sole? Perché, facendo leva esclusivamente sui dati, l'intelligenza artificiale dovrebbe assumere come stato "a priori" quel "principio di inerzia" che non può osservare da nessuna parte? (Longo 2021). L'idea che "i numeri parlano da soli" appare poco fondata, semplicistica e potenzialmente pericolosa. L'essere delle cose non può esaurirsi nella loro computabilità, come non è possibile trovare nel calcolo la chiave per spiegare completamente l'essere dato del mondo.

Maxwell è stato pensato per tenerci lontani da questa illusione, per ricordarci che i processi di produzione della conoscenza sono un braccio di ferro continuo fra i dati osservabili e le "condizioni al contorno" che li rendono tali. Anche in questo senso è una macchina dubitativa e non assertiva. Il suo compito è quello di ricordarci che ogni visione della realtà è parziale e che ogni comprensione dei fatti che la costituiscono è povera rispetto alla molteplicità delle variabili che inevitabilmente entrano in gioco. Molte di queste variabili sono costitutivamente inaccessibili alla macchina ma non sono poche quelle che possono assumere valore e significato per l'uomo solo per mezzo di essa. Maxwell è un invito a ricercare senza sosta, a fare ipotesi, ad esplorare la moltitudine di meccanismi e di influenze che intervengono nella determinazione di ogni fenomeno che appartiene al mondo nella sua concretezza. Maxwell è un mezzo per scendere sul campo, per interferire con le cose, consapevoli che i dati e le teorie preesistenti non bastano quando si tratta di risolvere problemi o di produrre nuove conoscenze. Se vogliamo metterci in ascolto della "realtà" dobbiamo essere disponibili

a sacrificare anche le nostre idee più promettenti su di essa e i robot come Maxwell possono esserci di grande aiuto in questo. La loro “cognizione diversa” può mettere in luce la nostra ignoranza e mostrarci almeno una parte dei tanti fattori che sfuggono alle nostre spiegazioni del mondo.

[Articolo ricevuto il 8 Novembre 2022 – accettato il 20 Dicembre 2022]

Bibliografia

Benanti, P.

2017, *L'Intelligenza Artificiale, sfida etica - intervista di Marco Bernardoni*, <http://www.settimananews.it/societa/paolo-benanti-lintelligenza-artificiale-come-sfida-etica/>.

2018 *Le macchine sapienti*, Bologna, Marietti Editore.

Dreyfus, H.

1988 *Che cosa non possono fare i computer? I limiti dell'intelligenza artificiale*, Roma, Armando.

Eagleman, D.

2020 *L'intelligenza dinamica*, Milano, Corbaccio.

Harford, T.

2016 *Che casino! Il potere del disordine per tirar fuori il meglio di noi stessi*, Milano, Egea.

Jaki, S.L.

2006 *Cristo e la scienza*, Verona, Fede & Cultura.

Longo, G.

2021, *Matematica e senso*, Milano, Mimesis Edizioni.

Longo G. e S. Longo

2020 'Infinity of God and Space of Men in Painting, Conditions of Possibility for the Scientific Revolution', in R. Scheps and M.-C. Maurel (a cura di), *Mathematics in the Visual Arts*. London ISTE-Wiley Ltd, pp. 1-27.

Nagel, T.

2018 *Lo sguardo da nessun luogo*, Milano, Mimesis.

Page, S.,

2007 *The Difference: How the Power of Diversity Creates Better Groups, Firms, Schools and Societies*, Princeton, Princeton University Press.

Polanyi, M,

1959 *Personal Knowledge: Towards A Post-Critical Philosophy*, London, Routledge and Kegan (trad. it. *La conoscenza personale*, Milano, Rusconi, 1990).

1966 *The Tacit Dimension*, Chicago, The university of Chicago Press (trad. it. M. Polanyi, *La conoscenza inespresa*, Roma, Armando, 2018).

1969 *Knowing and Being: Essays by Michael Polanyi*, Chicago, The University of Chicago Press (trad. it. 1988, *Conoscere ed essere*, Roma, Armando, 1988).

Reese, B.

2019 *La quarta era*, Milano, Franco Angeli.

Rorty, R.

1979 *Philosophy and the Mirror of Nature*, Princeton, Princeton University Press (trad. it. R. Rorty, *La filosofia e lo specchio della natura*, Milano, Bompiani, 1986).

Rossi, A.

1998 *Il fantasma dell'intelligenza. Alla ricerca della mente artificiale*, Napoli, Cuen.

Van Frassen, B.C.

1970 *An introduction to the Philosophy of Space and Time*, New York, Random House.

Zolli, A.

2014 *Resilienza. La scienza di adattarsi ai cambiamenti*, Milano, Rizzoli.

About the Authors

Massimiliano Moruzzi is a Lead Scientist and Business Innovator in the fields of Smart Materials and Disruptive Manufacturing Process Automation. He co-founded Augmenta.ai & Xaba.ai with the goal of unlocking the full power of Generative (AI) and cognitive robotics equipment.

MASSIMILIANO MORUZZI

e-mail: max@augmenta.ai

Davide Bearzi a business consultant who deals with organizational innovation and startup strategies. He also carries out training activities at the Chamber of Commerce of Pordenone and Udine

DAVIDE BEARZI

e-mail: davide.bearzi76@gmail.com