

# Le traiettorie future dell'intelligenza artificiale



Il domani dell'IA sarà determinato non dalla tecnologia in sé, che rimane uno straordinario abilitatore d'innovazione, ma dalle scelte che faremo come individui e come società nel governarne lo sviluppo e l'utilizzo.



**di Massimo Canducci**

L'accelerazione straordinaria degli ultimi anni, caratterizzata dall'adozione diffusa dei grandi modelli linguistici e dall'integrazione capillare dell'intelligenza artificiale in ogni settore, rappresenta soltanto il capitolo iniziale di una narrazione molto più complessa che si dispiegherà nei prossimi anni. Quando cerchiamo di intuire l'orizzonte futuro, anche se nessuno ha la sfera di cristallo, possiamo intravedere percorsi evolutivi piuttosto chiari che l'intelligenza artificiale con tutta probabilità seguirà, trasformando profondamente non solo il nostro rapporto con la tecnologia, ma la natura stessa del lavoro, della creatività e dei rapporti tra esseri umani.

La questione fondamentale non riguarda semplicemente quali nuove capacità tecniche emergeranno, ma come queste capacità ridisegneranno i confini stessi di ciò che consideriamo possibile e umano. Siamo entrando in una fase in cui le trasformazioni non sono più esclusivamente incrementali, ma sistemiche e profondamente intrecciate con gli aspetti più intimi dell'esperienza umana, dalla nostra capacità di comprendere il mondo fino ai meccanismi attraverso cui prendiamo decisioni e definiamo la nostra identità.

Questa esplorazione mappa alcune traiettorie evolutive cruciali che definiranno lo sviluppo dell'intelligenza artificiale, dalle innovazioni che si stanno materializzando fino alle trasformazioni di lungo periodo. Ciascuna di queste traiettorie evolutive va intesa non come un percorso isolato, ma come filo intrecciato in una trama complessa che ci offre una mappa per comprendere e influenzare quella tecnologia che più di ogni altra sta ridefinendo i confini della condizione umana nel ventunesimo secolo.

### Le trasformazioni che stanno già ridefinendo il presente

Nel breve termine dei prossimi 24 mesi, assisteremo a trasformazioni che modificheranno radicalmente il modo in cui le macchine apprendono ed elaborano informazioni.

**La prima grande rivoluzione** riguarda il superamento dei limiti che rendono i sistemi attuali essenzialmente statici dopo l'addestramento iniziale, incapaci di evolvere organicamente come invece accade nel cervello umano che apprende costantemente senza perdere memoria delle esperienze precedenti. Questa limitazione sta per essere superata grazie allo sviluppo di

architetture capaci di quello che potremmo definire *apprendimento continuo* e *multimodale*, sistemi in grado di assimilare costantemente nuove conoscenze e di integrare simultaneamente informazioni da diverse modalità sensoriali, creando rappresentazioni unificate della realtà che rispecchiano il modo in cui gli esseri umani percepiscono il mondo, superando la frammentazione che oggi caratterizza i sistemi specializzati in singole modalità di interazione.

**La seconda trasformazione** riguarda la distribuzione dell'intelligenza artificiale attraverso paradigmi che spostano l'elaborazione dai grandi data center centralizzati verso dispositivi periferici distribuiti nella vita quotidiana. Questa evoluzione verso intelligenza distribuita e federata risponde a esigenze fondamentali di privacy e sicurezza che diventano sempre più pressanti man mano che l'intelligenza artificiale penetra in ambiti sensibili, dalle conversazioni personali alle decisioni mediche o finanziarie. I sistemi federati permetteranno molto presto a dispositivi diversi di apprendere collettivamente senza condividere dati grezzi, preservando la riservatezza mentre si beneficia della conoscenza

L'intelligenza artificiale trasformerà profondamente non solo il nostro rapporto con la tecnologia, ma la natura stessa del lavoro, della creatività e dei rapporti tra esseri umani.



collettiva, creando un paradigma in cui privacy individuale e apprendimento collettivo non saranno più in conflitto.

**Come piacevole effetto collaterale** inizieranno a rompersi alcuni dei lock-in che obbligano spesso a utilizzare piattaforme in cloud di cui si conoscono poco i funzionamenti, il trattamento dei dati e, soprattutto, le future tariffe di accesso.

**Nel mondo aziendale** stiamo assistendo alla proliferazione di sistemi altamente specializzati per settori verticali, quella che potremmo definire l'era dell'intelligenza artificiale verticale e degli ecosistemi di co-pilot digitali. Questi sistemi incorporano non solo conoscenza enciclopedica generale e ottima capacità conversazionale, ma anche sfumature terminologiche, best practice settoriali e quegli aspetti taciti che caratterizzano l'expertise professionale e che tradizionalmente richiedevano anni di esperienza. Parallelamente si consolidano i sistemi co-pilot, progettati per amplificare la produttività e il giudizio umani

attraverso assistenza intelligente in grado di adattarsi dinamicamente e contestualmente, trasformando in modo radicale la produttività nella programmazione, creazione di contenuti, analisi dati e progettazione.

**Nel panorama delle interazioni** tra esseri umani e macchine sta emergendo una nuova frontiera: quella dell'*empatia artificiale*, la capacità delle macchine di riconoscere gli stati d'animo, interpretare le emozioni e rispondere agli esseri umani in modo coerente e attraverso canali tradizionali come i testi scritti e la voce. Non si tratta più solo di analizzare dati o generare testo, ma di comprendere i segnali deboli del comportamento, tono della voce, ritmo del linguaggio, microespressioni, e tradurli in interazioni capaci di adattarsi alla sensibilità dell'interlocutore. L'empatia artificiale segna l'evoluzione dai sistemi "intelligenti" ai *sistemi "empatici"*, in grado di modulare il proprio comportamento a seconda della situazione emotiva. È un passo che ridefinisce il concetto stesso

di interfaccia tra esseri umani e macchine: non più strumenti neutri, ma partner relazionali che apprendono come comunicare, sostenere e persino confortare. In ambiti come la sanità, l'educazione o l'assistenza, queste tecnologie aprono la strada a una nuova forma di intelligenza: non solo cognitiva, ma anche affettiva.

L'ultima traiettoria nell'orizzonte di breve periodo riguarda l'evoluzione verso sistemi di intelligenza decisionale avanzata, capaci di supportare decisioni complesse in contesti di incertezza e obiettivi conflittuali. Questi sistemi integreranno presto capacità di ottimizzazione, simulazione e ragionamento probabilistico per fornire supporto ad ampio spettro, dalla supply chain alla pianificazione strategica, distinguendosi per l'abilità di fornire raccomandazioni, quantificare l'incertezza e considerare trade-off multipli, rendendo il processo decisionale più trasparente e meglio controllabile.

### Verso intelligenze più profonde e collaborative

Osservando un orizzonte temporale tra i due e i cinque anni in avanti, possiamo intravedere trasformazioni ancora più profonde che ridisegneranno l'architettura stessa dell'intelligenza artificiale. Una limitazione significativa delle attuali piattaforme risiede, infatti, nella sostanziale incapacità di comprendere relazioni causali profonde tra eventi e fenomeni, limitandosi a identificare correlazioni statistiche che non catturano i veri meccanismi sottostanti che governano il mondo fisico e sociale.

Nei prossimi anni assisteremo allo sviluppo di sistemi capaci di quello che potremmo definire *ragionamento causale* e intelligenza artificiale *speciabile*, sistemi che possono costruire modelli causali espliciti, ragionare su scenari ipotetici e alternativi e comprendere non solo le correlazioni superficiali, ma anche le catene causali profonde. Questa evoluzione si intreccia con la crescente richiesta di

intelligenza artificiale spiegabile, quella caratteristica che permette ai sistemi di articolare in linguaggio comprensibile le ragioni sottostanti alle proprie decisioni, superando l'opacità delle "scatole nere" attuali che minano la fiducia e limitano l'adozione in contesti critici dalla diagnostica medica alle decisioni giudiziarie.

Un'altra direzione promettente riguarda l'integrazione tra l'*approccio basato sulle reti neurali* e l'*approccio simbolico tradizionale* dell'intelligenza artificiale. Questi sistemi, basati su reti neurali o su modelli simbolici e ibridi, uniscono la capacità di imparare da dati complessi con quella di ragionare in modo strutturato e verificabile. Le architetture emergenti non si limitano semplicemente a collegare tra loro componenti neurali e simboliche, ma le integrano profondamente permettendo alle rappresentazioni simboliche di guidare l'apprendimento neurale e viceversa, superando i limiti che hanno caratterizzato entrambi gli approcci e in modo da creare intelligenze capaci di combinare flessibilità e rigore, creatività e precisione logica.

Una trasformazione significativa riguarda lo sviluppo di sistemi capaci di apprendere principalmente da dati non etichettati attraverso *auto-supervisione* sempre più sofisticata, riducendo la dipendenza da costosi archivi di dati etichettati manualmente. Ancora più ambiziosa è la prospettiva di sistemi in grado di *auto-migliorarsi* in modo autonomo, capaci non solo di apprendere continuamente, ma anche di identificare le proprie lacune conoscitive, di cercare attivamente informazioni per colmarle e persino di modificare le proprie architetture per ottimizzare le prestazioni future, rappresentando un salto qualitativo verso forme di intelligenza artificiale veramente autonome. L'ultima traiettoria evolutiva di medio periodo riguarda lo sviluppo di sistemi di *intelligenza collettiva e sciame*, ispirati al modo di agire di organismi sociali dove comportamenti intelligenti complessi emergono dall'interazione di molti agenti semplici senza coordinamento centralizzato. Questi sistemi

distribuiti trovano applicazione nell'ottimizzazione logistica, nel coordinamento di veicoli autonomi, nella gestione di reti energetiche e nella ricerca scientifica collaborativa, promettendo di replicare e superare la capacità umana di collaborare in gruppi numerosi per raggiungere obiettivi che trascendono le capacità individuali.

### Ridefinire i limiti del possibile

Oltre l'orizzonte quinquennale si estende un territorio di trasformazioni radicali dove le linee di sviluppo evolvono verso possibilità che potrebbero ridefinire la natura stessa dell'elaborazione dell'informazione e i rapporti tra esseri umani e macchine. Una sfida pressante riguarderà il *consumo energetico proibitivo* dei grandi modelli che richiederanno data center enormi e consumeranno smisurate quantità di energia elettrica. Questa insostenibilità spingerà la ricerca verso architetture hardware radicalmente diverse,

Una sfida pressante  
riguarderà il *consumo  
energetico proibitivo*  
dei grandi modelli di IA, che  
richiederanno data center  
enormi e consumeranno  
smisurate quantità  
di energia elettrica.

ispirate direttamente alla morfologia del cervello umano. I *chip neuromorfici*, già in fase di ricerca e sviluppo, saranno in grado di replicare caratteristiche delle reti neurali biologiche come l'elaborazione parallela e la comunicazione asincrona, promettendo di ridurre di ordini di grandezza il consumo energetico e migliorando la democratizzazione dell'accesso all'intelligenza artificiale.

Allo stesso modo possiamo intravedere l'emergere dell'integrazione tra intelligenze artificiali veramente *agentiche* e corporeità fisiche. Si tratterà di sistemi dotati di autonomia decisionale e capaci di perseguire obiettivi complessi, pianificare strategie che si adattano dinamicamente e interagire con il mondo fisico attraverso corpi robotici sofisticati, alcuni dei quali potranno essere antropomorfi per meglio adattarsi ad ambienti costruiti per essere compatibili con le forme fisiche degli esseri umani. Il concetto di "fornire un corpo all'IA autonoma" non riguarderà soltanto la presenza fisica, ma

L'intelligenza artificiale non è un destino inevitabile che ci accade indipendentemente dalla nostra volontà, ma uno spazio di possibilità che noi stessi stiamo attivamente costruendo.

implicherà una fondamentale riorganizzazione dell'*architettura cognitiva* che dovrà navigare la complessità del mondo reale con tutte le sue imprevedibilità e vincoli fisici, sviluppando un'intelligenza radicata nell'interazione continua tra i sensi. A questo va aggiunto che oggi le macchine non sono dotate di una vera e propria *sensorialità*, questo avverrà quando avranno a disposizione un corpo fisico robotico dotato di sensori, e a quel punto avremo un'ulteriore complessità da gestire: l'incredibile *superiorità dei sensi artificiali* rispetto a quelli tipici degli esseri umani.

Una sfida critica riguarderà il cosiddetto "allineamento", cioè la governance e il design di queste piattaforme in modo da renderle compatibili con i *valori etici* tipici degli esseri umani, ovvero la necessità di garantire che sistemi sempre più potenti possano operare coerentemente con i valori umani anche in contesti non predicibili in anticipo.

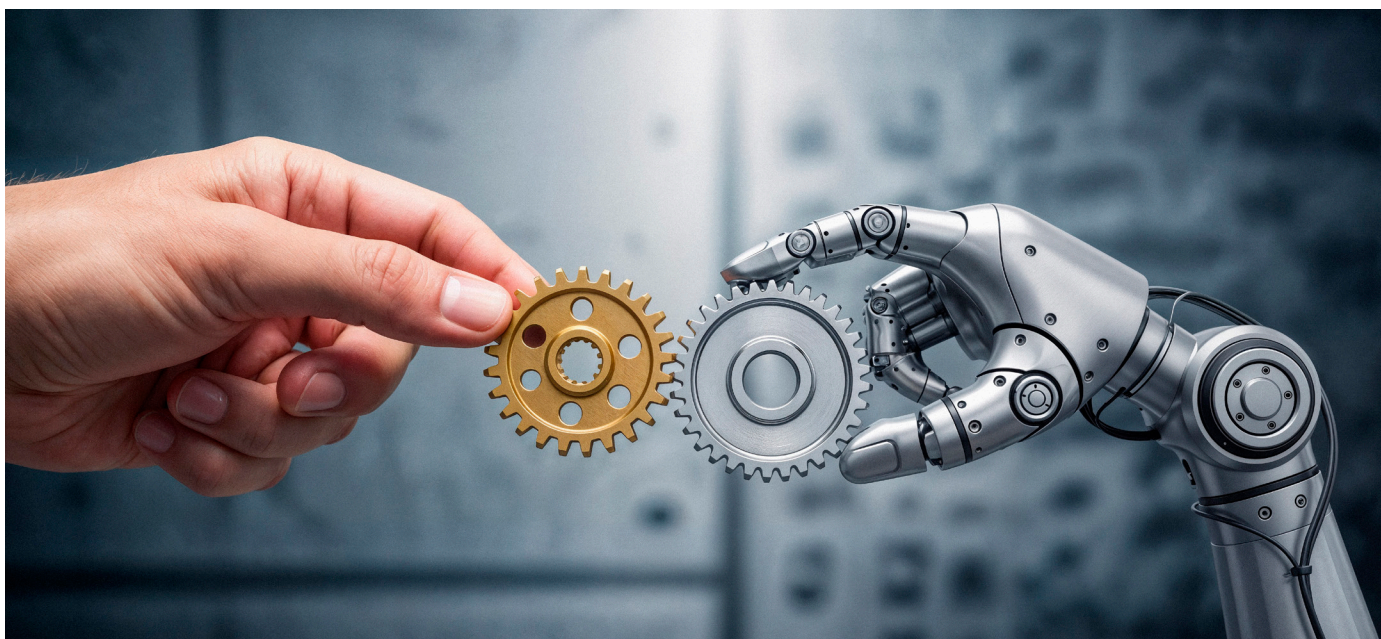
Questo è un tema particolarmente delicato, perché non tutti gli esseri umani condividono gli stessi valori etici, ma è ragionevole pensare che almeno un sottoinsieme di questi possa essere comune. Oltre agli aspetti tecnici, emergerà presto la necessità di *framework di governance* che coinvolgano Governi, società civile ed esperti di etica, non solo tecnologi e aziende, per sviluppare approcci che garantiscano l'integrazione di caratteristiche etiche fin dalla progettazione di macchine e algoritmi, evitando quindi l'approccio della correzione a posteriori di risultati eticamente sgradevoli e non desiderabili.

All'estremo dell'orizzonte si colloca la convergenza tra intelligenza artificiale e *computazione quantistica*. I computer quantistici sfruttano principi come sovrapposizione ed entanglement per eseguire calcoli con efficienza radicalmente superiore, aprendo prospettive nuove per l'accelerazione di algoritmi

di apprendimento e ottimizzazione. Oltre all'accelerazione, questa intersezione potrebbe generare paradigmi completamente nuovi di elaborazione che trascendono i limiti della computazione classica, inaugurando un'era di capacità cognitive che attualmente possiamo a malapena immaginare.

### **Navigare consapevolmente il futuro che stiamo costruendo**

Queste traiettorie evolutive non sono percorsi isolati che procederanno in parallelo senza intersecarsi, ma fili intrecciati in una trama complessa dove ciascuna evoluzione influenzerà e verrà influenzata dalle altre, creando dinamiche emergenti e interazioni difficilmente prevedibili che potrebbero generare sorprese sia positive che negative e che dovremo essere pronti ad affrontare. La sfida che ci attende come società non consiste semplicemente nell'anticipare questi sviluppi tecnologici con maggiore o minore accuratezza, esercizio che rimane comunque utile ma inevitabilmente limitato dall'incertezza intrinseca di qualsiasi previsione a lungo termine, ma nel modellare attivamente il loro impatto in modi che massimizzino i benefici collettivi minimizzando i rischi e le esternalità negative che potrebbero minacciare l'autonomia individuale, l'equità sociale o la sostenibilità ambientale. Questa navigazione consapevole richiede un *impegno multidisciplinare* che trascende i confini tradizionali tra tecnica, etica, politica ed economia, coinvolgendo tutte le componenti della società in un dialogo costruttivo e informato su quale futuro desideriamo costruire con queste tecnologie trasformative, dialogo che deve essere *inclusivo e democratico* per garantire che le scelte riflettano veramente i valori e le aspirazioni collettive e non soltanto gli *interessi di ristrette élite economiche*.



L'intelligenza artificiale non è un destino inevitabile che ci accade indipendentemente dalla nostra volontà, ma uno spazio di possibilità che noi stessi stiamo attivamente costruendo attraverso le scelte che compiamo oggi, dalle decisioni di investimento nei laboratori di ricerca fino alle politiche pubbliche che incentivano o limitano certi sviluppi, dalle sale riunioni aziendali dove si definiscono strategie commerciali fino alle conversazioni quotidiane dove si formano le aspettative e i valori collettivi che influenzeranno l'accettabilità sociale di diverse applicazioni.

Il compito che abbiamo di fronte è tanto entusiasmante quanto impegnativo: accompagnare l'evoluzione dell'intelligenza artificiale in modi che amplifichino le capacità umane e non si concentrino sul sostituirle, che

promuovano l'equità e l'inclusione invece di esacerbare le disuguaglianze esistenti creando nuove divisioni tra chi ha accesso a queste tecnologie e chi ne rimane escluso.

Il futuro dell'intelligenza artificiale sarà determinato non dalla tecnologia in sé, che rimane uno straordinario abilitatore d'innovazione, ma dalle scelte che faremo come individui e come società nel governarne lo sviluppo e l'utilizzo. Scelte che dovranno essere guidate dalla saggezza collettiva e da una visione chiara del tipo di mondo che vogliamo costruire per le generazioni future, un mondo in cui l'innovazione tecnologica non sia fine a se stessa ma strumento per l'arricchimento autentico dell'esperienza umana e per la costruzione di società più giuste, sostenibili e fiorenti.

**Massimo Canducci** è Innovation & Strategy director di Spindox. Manager, tecnologo e saggista, fa parte della Faculty Global di Singularity University, con particolare specializzazione in innovazione, futuro e tecnologie emergenti. Keynote speaker in conferenze nazionali e internazionali, è professore all'Executive MBA Ticinensis e insegna Innovation Management all'Università di Torino. Fa parte, inoltre, dell'Advisory Group "Standardization for Emerging Technologies and Innovations" che indirizza le scelte strategiche di ISO a livello mondiale sulle tecnologie emergenti e l'innovazione. È autore della seguitissima newsletter internazionale Future Scouting & Innovation. È in libreria con il suo ultimo saggio *Empatia artificiale. Come ci innamoreremo delle macchine e perché non saremo ricambiati*.