

Intelligenze Future.

La ricerca
scientifica nell'era
dell'intelligenza
artificiale

SOMMARIO

- L'intelligenza artificiale (IA) offre immense opportunità per la ricerca scientifica e dunque per il progresso umano;
- L'uso dell'IA sta già trasformando la scienza a ogni livello, tanto che oggi si parla di 'AI science', e cioè di un modo in parte nuovo di pensare e fare scienza nel quale l'uso massivo dell'IA è integrato 'by design' in tutte le fasi del processo di ricerca, dalla generazione di nuove ipotesi fino alla comunicazione dei risultati;
- Tuttavia, le potenzialità della *AI Science* sono limitate da alcuni fattori che impediscono di coglierne i benefici, tra cui (i) la qualità dei dati e i *bias* negli algoritmi; (ii) la compartimentalizzazione dei dataset e la dipendenza crescente da algoritmi, prodotti e applicativi proprietari che limitano accesso e la riproducibilità degli studi; (iii) il fabbisogno energetico e infrastrutturale; (iii) l'aumento di frodi e condotte scorrette nella ricerca e la conseguente crisi del paradigma di produzione e valutazione della conoscenza scientifica; (iv) la crescente distanza tra la complessità insita nell'AI e la comprensione di tale fenomeno da parte della popolazione e dei decisori politici; (v) un deficit di pensiero rispetto ai cambiamenti in atto e alle loro implicazioni per il futuro;
- Tutti questi fattori richiedono un approccio sistemico per essere eliminati o mitigati: per governare il futuro della ricerca nell'era dell'*AI Science* è importante non solo investire in ricerca e formazione, ma anche sostenere un approccio più aperto alla scienza (adottando i principi della cosiddetta *open science*), predisporre processi di *governance* adeguata, nonché promuovere l'importanza dell'integrità nella ricerca presso tutti coloro che partecipano oggi al processo di ricerca;
- Visti i benefici che possono derivarne, l'integrazione tra intelligenza umana e artificiale per fini di ricerca scientifica rappresenta un obiettivo da promuovere e potenziare, invece che da temere e limitare, al fine di inaugurare una nuova era di scoperte e di progresso i cui benefici devono però essere equamente condivisi a vantaggio di tutti.

1. INTRODUZIONE

Il termine 'intelligenza artificiale' (IA) fu introdotto da John McCarthy in una conferenza nel 1956 presso il Dartmouth College. L'evento fu organizzato da McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon per studiare la possibilità di creare macchine intelligenti sulla base dell'ipotesi «che ogni aspetto dell'apprendimento o qualsiasi altra caratteristica dell'intelligenza possa, in linea di principio, essere descritto con tanta precisione da permettere di simulare tali caratteristiche in una macchina». Dal 1956 in poi, il termine 'intelligenza artificiale' è stato quindi adottato per indicare un ampio campo di ricerca e applicazioni ingegneristiche il cui denominatore comune è il tentativo di creare macchine o programmi capaci di risolvere problemi complessi e raggiungere obiettivi in modo automatico.

Dopo quasi settant'anni, la visione di McCarthy e colleghi si è realizzata in molti dei suoi aspetti fondamentali. Di conseguenza, l'intelligenza artificiale è oggi al centro di ogni dibattito che riguarda il futuro, con prospettive e valutazioni spesso tra loro diametralmente opposte. A un estremo c'è chi ritiene che l'IA costituisca un pericoloso 'rischio esistenziale', e cioè una delle possibili cause che potrebbero portare all'estinzione dell'umanità o comprometterne il futuro in modo irreversibile. All'altro estremo, invece, c'è chi ritiene invece che l'IA rappresenti uno strumento di straordinario progresso non solo tecnico e conoscitivo ma anche sociale, culturale e umano, destinato a segnare in positivo il presente e il futuro della nostra specie.

Il presente documento è più vicino alla seconda posizione, nella convinzione che l'intelligenza artificiale al servizio e in associazione all'intelligenza umana abbia le potenzialità per aiutare l'umanità a risolvere alcune tra le sue sfide più urgenti, illuminare problemi complessi riguardo alla natura di fenomeni ancora poco compresi – come la realtà fisica o la coscienza –, nonché migliorare in modo concreto le condizioni di vita delle generazioni presenti e future.

Allo stesso tempo, l'*AI science* solleva una serie di domande profonde e interrogativi a livello teorico, etico e politico che spaziano dalla qualità dei dati e dei risultati prodot-

ti fino alle nuove sfide per l'integrità nella ricerca. In tale contesto, il presente parere intende offrire una mappatura delle principali questioni connesse all'uso dell'IA per fini di ricerca, con un particolare riferimento alle implicazioni di queste tecnologie per le scienze biomediche e della vita. Come altri pareri del Comitato Etico di Fondazione Veronesi, nell'ultima sezione il documento avanza una serie di raccomandazioni utili per tutti i soggetti che partecipano al processo di ricerca scientifica (ricercatori e ricercatrici *in primis*, ma anche agenzie, istituzioni, società scientifiche e riviste), nonché per i decisori politici e la cittadinanza.

2. L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE 1956-2024

La storia dell'IA è relativamente recente e può essere suddivisa in quattro fasi principali. La prima, iniziata a metà degli anni '50, vide la creazione dei primi programmi in grado di risolvere problemi algebrici e dimostrare teoremi matematici. Questi programmi seguivano un processo logico deduttivo ed erano, di conseguenza, perfettamente deterministici. Una delle applicazioni più famose di questo primo tipo fu 'Logic Theorist', un programma scritto nel 1956 da Allen Newell, Herbert A. Simon e Cliff Shaw, che fu capace di dimostrare automaticamente 38 dei 52 teoremi del secondo libro dei *Principia Mathematica*. Dati questi successi, negli anni '60 si diffuse un grande ottimismo sul futuro dell'IA. Tuttavia, tali speranze si scontrarono con due limiti allora invalicabili: la presenza di problemi non risolvibili tramite la sola logica formale e la mancanza di una potenza di calcolo sufficiente. Questo portò a una prima fase di stagnazione nella ricerca e una generalizzata perdita di interesse per l'IA e le sue applicazioni.

L'interesse si riaccese solo agli inizi degli anni '80, quando furono creati i primi 'expert system', e cioè dei sistemi capaci di estrapolare alcune regole di base tratte dalla conoscenza di esperti per applicarli poi a problemi reali. Uno dei più famosi fu MYCIN, un sistema creato da Edward Shortliffe e colleghi presso l'Università di Stanford con lo scopo di identificare i batteri responsabili di infezioni gravi, come la meningite, e di raccomandare antibiotici calibrandone la dose a seconda del peso del paziente. Uno studio dimostrò che i piani di cura raccomandati da MYCIN furono giudicati migliori da una giuria di medici esperti rispetto a quelli proposti da altri membri della facoltà di medicina. Non-

stante i risultati incoraggianti, MYCIN non fu però mai utilizzato nella pratica. Oltre alle critiche avanzate rispetto sull'uso di queste tecnologie in medicina, questo fu dovuto, di nuovo, soprattutto allo stato della tecnologia allora disponibile. Come altri 'expert system' sviluppati negli stessi anni, anche MYCIN presentava diversi limiti dovuti alla mancanza di flessibilità, *performance* limitate e costi di gestione molto alti. Negli stessi anni – tra il 1982 e il 1992 –, anche il progetto finanziato dal governo giapponese per creare un super-computer (chiamato 'Fifth Generation Computer Systems') si rivelò un fallimento e venne definitivamente sospeso, portando a un nuovo calo di interesse nei confronti dell'IA.

Questo secondo 'inverno dell'IA' durò fino al 2006, quando anziché usare processi computazionali legati alla logica tradizionale di tipo deduttivo si sono iniziati a sperimentare processi computazionali di tipo induttivo, non più strettamente deterministici ma bensì probabilistici. In tali processi l'errore, pur limitato, può sempre avvenire; in modo simile a come i bambini imparano a riconoscere un gatto, anziché un cane, vedendo l'animale di casa, per tentativi e correzioni progressivi. In particolare, il gruppo di ricerca guidato da Geoffrey Hinton propose un nuovo approccio basato sul 'deep learning' (DP), e cioè su reti neurali artificiali profonde (*deep neural network*) insieme a un metodo per evitare alcuni dei loro limiti tradizionali (come il problema del 'gradient vanishing' durante l'addestramento). Il DP è una forma di 'machine learning' (ML) che utilizza reti di 'neuroni artificiali' ed è particolarmente adatto per compiti complessi come il riconoscimento di immagini e di suoni. In particolare, gli algoritmi di DP riescono a identificare delle regolarità (e cioè, dei *pattern*) a partire da un insieme di dati (ad esempio, un insieme di immagini di strade) per fare predizioni (ad esempio, riconoscere se un'immagine contiene o no segnali stradali) o per offrire altri risultati.

In pochi anni questo nuovo tipo di IA ha consentito di compiere progressi straordinari, portando alle prime applicazioni concrete sotto forma di programmi capaci di superare gli esseri umani nell'eseguire una serie di compiti molto complessi come il gioco (ad esempio, negli scacchi, il quiz *Jeopardy!* e il Go), oppure il riconoscimento di immagini (ad esempio, nel campo della diagnostica medica, ma non solo). Nello stesso periodo, gli algoritmi alla base di questi nuovi strumenti di IA basati su ML e DP, uni-

tamente a una sempre maggiore disponibilità di dati e potenza di calcolo, hanno portato anche alla commercializzazione dei primi assistenti vocali rivolti ai consumatori, tra cui Amazon Alexa e Microsoft Cortana.

L'ultima grande rivoluzione nel campo dell'IA è avvenuta intorno al 2020 con la cosiddetta 'Intelligenza Artificiale Generativa'. Questa tipologia di IA permette di generare nuovi testi, audio, video o immagini in risposta alle richieste (dette *prompt*) degli utenti utilizzando tecniche avanzate di ML come i GANs. I GANs (*General Adversarial Networks*) sono tecniche di ML capaci di produrre *output* "sintetici" (come, ad esempio, immagini completamente "inventate" a cui non corrisponde niente di reale, inclusi i cosiddetti *deepfake*).¹ Il risultato sono testi, immagini, suoni e video indistinguibili da quelli creati da esseri umani. L'uso del linguaggio naturale ha portato queste tecnologie ad essere sempre più accessibili, tanto che per utilizzarle non è richiesta alcuna competenza di programmazione né alcuna conoscenza informatica, facilitandone così enormemente l'uso e la diffusione. Esistono molti tipi di AI generativa basati su architetture diverse. Tra queste, uno dei più conosciuti è ChatGPT, uno strumento sviluppato a dalla società privata OpenAI e basato su un'architettura (*Generative, Pre-trained e Transformative*) particolarmente adatta a processare il linguaggio naturale. Oltre a ChatGPT, sono stati rilasciati molti altri strumenti e applicazioni capaci di produrre *output* in vari formati quali file audio, immagini e video, oppure di integrare tra loro tali formati. In generale, nel resto del presente documento, il termine 'intelligenza artificiale' sarà utilizzato in senso esteso per comprendere tecnologie di vario tipo, da sistemi basati sull'apprendimento automatico tramite ML fino alle ultime applicazioni dell'IA generativa.

3. DALLA SCIENZA ALL'AI SCIENCE: ALCUNI ESEMPI

La convergenza tra la disponibilità di *dataset* sempre più grandi, nuove tecniche algoritmiche di ML e maggiore potenza di calcolo ha reso l'IA uno strumento sempre più integrato e oramai indispensabile per la ricerca scientifica. Negli ultimi anni l'uso dell'IA per fini di ricerca è infatti cresciuto in modo esponenziale, tanto da portare a coniare il termine 'Artificial Intelligence Science' (abbreviato, AIS) per sottolineare la differenza tra i nuovi metodi di ricerca e scoperta che utilizzano in modo massiccio e integrato strumenti di l'AI con approc-

cio 'by design' e i metodi tradizionali che hanno invece caratterizzato la ricerca scientifica. In particolare, nel presente documento il termine *AI Science* sarà utilizzato per indicare l'unione tra l'intelligenza umana e artificiale per fini di ricerca, scoperta, e innovazione, laddove il fine ultimo rimane di perseguire il bene comune attraverso l'applicazione sistematica del metodo scientifico.

Recentemente il sodalizio tra ricerca scientifica e IA è stato certificato dai premi Nobel 2024. Il premio Nobel 2024 per la chimica è stato infatti assegnato a David Baker, Demis Hassabis e John Jumper per aver scoperto un metodo algoritmico che consente di predire la struttura funzionale delle proteine. mentre il premio 2024 per fisica è stato assegnato a John Hopfield e Geoffrey Hinton per aver contribuito allo sviluppo del *machine learning* attraverso le reti neurali. Le scelte della Fondazione Nobel sono significative, perché testimoniano non solo che l'IA è oramai radicata nella ricerca scientifica, ma anche il grado di ibridazione tra i saperi che essa ha reso possibile grazie all'utilizzo di tecniche simili ma in grado di rivoluzionare campi tra loro diversi, dalla fisica alla chimica, dalla teoria computazionale dei giochi fino alla biologia.

L'*AI science* promette avanzamenti conoscitivi straordinari. In fisica, astronomia, biologia e nella ricerca biomedica, l'AIS consente già di ridurre ricerche che in passato avrebbero richiesto decenni al lavoro di poche ore svolto in modo automatico, mentre in altri permette di pianificare ricerche ed esperimenti altrimenti impossibili con le tecniche tradizionali. L'*AI Science* può quindi aiutare l'umanità ad affrontare meglio le grandi sfide che la attendono, dalla prevenzione delle pandemie al cambiamento climatico. In prospettiva, i benefici derivanti da un uso responsabile dell'AI applicata alla ricerca in termini di progressi e miglioramento delle qualità di vita per i singoli e la collettività potrebbero essere incalcolabili.

Per comprendere l'impatto che l'IA sta avendo sulla ricerca scientifica è utile analizzare alcuni casi di studio rappresentativi. Il primo, già menzionato, riguarda l'utilizzo di algoritmi di IA per predire la struttura funzionale delle proteine e, più recentemente, di ogni altra molecola legata a processi biologici. Dalla scoperta del DNA in poi uno dei problemi centrali per la biologia ha riguardato la comprensione del processo attraverso il quale le proteine assumono la propria forma

funzionale a partire da una sequenza di amminoacidi. Per ricostruire la struttura di una sola proteina i metodi sperimentali tradizionali, come la cristallografia e la crio-microscopia elettronica, possono richiedere anni di ricerca. Nel 2020, il campo di ricerca della biologia strutturale è però stato rivoluzionato da AlphaFold, un sistema di IA sviluppato dall'azienda DeepMind, ora acquisita da Google. In pochi anni di sviluppo AlphaFold ha raggiunto un alto grado di precisione nella previsione delle strutture proteiche, vincendo nel 2020 la più importante competizione annuale, e cioè la *Critical Assessment of Structure Prediction* (CASP). Dopo questo successo, i progressi compiuti dalle successive versioni di AlphaFold sono stati molto rapidi e significativi. Oggi AlphaFold è in grado di predire con grande precisione la struttura di un numero incredibile di proteine, riducendo a poche ore processi di ricerca che avrebbero invece richiesto decenni, interi istituti di ricerca e centinaia di ricercatori con una preparazione tecnica avanzata. Nel 2024, DeepMind ha rilasciato l'ultima versione di AlphaFold, la quale è in grado di predire la struttura non solo delle proteine, ma anche di altre macromolecole, tra cui il DNA e l'RNA. Le implicazioni di AlphaFold sono rivoluzionarie per la biologia, nonché per la medicina, per nuove applicazioni industriali, per le biotecnologie e per settori specifici come l'agricoltura. AlphaFold e i programmi ad esso affini rappresentano un cambiamento di paradigma nella biologia computazionale, a dimostrazione di come l'IA sia in grado di risolvere problemi fondamentali e complessi che fino a pochi anni fa erano considerati insolubili, o per la loro complessità o per la quantità di risorse richieste.

Un secondo caso esemplare riguarda l'uso dell'IA per la ricerca in fisica teorica e sperimentale. Gli algoritmi di ML possono essere utilizzati per esaminare in modo efficiente le enormi quantità di dati generati dagli esperimenti nella fisica delle alte energie per identificare nuove particelle o fenomeni fisici – come, ad esempio, quelli condotti presso il *Large Hadron Collider* (LHC). Già nel 2012, la scoperta del 'bosone di Higgs' era stata ottenuta tramite l'utilizzo di algoritmi di *machine learning* per analizzare i dati. Inoltre, l'IA può aiutare a risolvere complesse equazioni in fisica teorica, formulare previsioni sul comportamento dei fenomeni quantistici, o per esplorare le proprietà dei materiali quantistici e le potenziali applicazioni nell'informatica quantistica. In astrofisica l'uso dell'IA è sempre

più indispensabile per analizzare i dati dei telescopi e altri strumenti, identificare esopianeti e mappare la struttura dell'universo. I modelli di DL possono infatti essere utilizzati per rilevare i segnali sottili degli esopianeti nelle curve di luce delle stelle, accelerando notevolmente il processo di scoperta. Queste applicazioni illustrano il potenziale dell'IA per migliorare sia la fisica teorica che quella sperimentale, portando a nuove scoperte e, dunque, a una comprensione più profonda dell'universo.

Altro caso di rilievo è poi quello che riguarda l'applicazione dell'IA al patrimonio culturale, come nel caso dei 'papiri di Ercolano'. Questi testi fanno parte di una collezione di rotoli ritrovati in una biblioteca di Ercolano che nel 79 d.C. fu seppellita dalle ceneri vulcaniche dopo l'eruzione del Vesuvio. Essendo carbonizzati questi rotoli sono incredibilmente fragili. I metodi tradizionali per srotolare e leggere i papiri rischiano spesso di distruggere questi delicati testi il cui contenuto è rimasto, per questa ragione, finora in larga parte sconosciuto. Recentemente, l'IA ha però fornito una soluzione rivoluzionaria a questo problema. I ricercatori hanno sviluppato algoritmi di ML per analizzare immagini a raggi X ad alta risoluzione dei rotoli. Questi algoritmi possono rilevare le sottili differenze di densità tra l'inchiostro e il papiro, permettendo di 'srotolare virtualmente' i rotoli e rivelare i testi senza doverli aprire fisicamente. Utilizzando una combinazione tra ML e tecniche di *imaging* avanzate, nel 2024 un gruppo di ricerca è riuscito a leggere parti dei papiri di Ercolano, scoprendo opere finora sconosciute di filosofia antica, probabilmente appartenenti alla scuola epicurea. Questo metodo di lettura indiretta preserva l'integrità fisica dei rotoli e potrebbe essere esteso allo studio di altri manoscritti antichi fragili. L'applicazione dell'IA nella decifrazione dei papiri di Ercolano evidenzia la natura interdisciplinare della ricerca IA, nella quale competenze di informatica, fisica e studi classici si combinano per ottenere risultati conoscitivi altrimenti irraggiungibili.

L'IA *Science* sta rivoluzionando anche il campo della genomica e dell'*editing* genetico tramite CRISPR, una tecnica particolarmente precisa ed efficace cui il Comitato Etico ha già dedicato un parere. Ad esempio, gli algoritmi di IA possono aiutare a prevedere i siti di taglio di CRISPR con maggiore precisione, riducendo il rischio di effetti fuori bersaglio (*off-target*) e aumentando la sicurezza delle terapie genetiche. L'uso di questi al-

goritmi può accelerare la ricerca e facilitare lo sviluppo di nuove terapie per malattie genetiche, offrendo speranza a milioni di persone affette da disturbi ereditari o rari. Oltre alle terapie geniche e avanzate, l'uso dell'AI sta però già cambiando anche il modello tradizionale di scoperta dei farmaci. Esempi di queste nuove applicazioni sono piattaforme come Atomwise, le quali utilizzano modelli predittivi di AI per identificare molecole candidate per nuovi farmaci. La promessa di questi strumenti è duplice: accelerare la scoperta di nuovi farmaci e ridurre i costi degli esperimenti preclinici. Inoltre, l'IA può essere utilizzata anche per riposizionare farmaci esistenti per nuove indicazioni terapeutiche, sfruttando database di informazioni farmaceutiche e cliniche per identificare nuove potenziali applicazioni per farmaci già approvati, migliorando così l'efficacia e la sicurezza dei trattamenti. Infine, l'IA viene utilizzata per sviluppare strumenti di diagnosi predittiva che possono identificare precocemente potenziali problemi di salute, consentendo interventi più tempestivi e personalizzati. Ad esempio, recentemente, gruppi di ricerca universitari (MIT negli Stati Uniti e McMaster in Canada) hanno scoperto nuovi potenziali antibiotici: Halicin contro *Escherichia coli* e Abaucin contro l'*Acinobacter baumannii*.

Gli esempi finora descritti non rappresentano che una piccola parte delle attuali applicazioni dell'AI Science.² Nel complesso, l'utilizzo dell'AI per fini di ricerca lascia presagire l'inizio di una nuova era di progresso per la scienza, con molteplici ricadute positive su tutte le fasi del processo di ricerca e implicazioni che spaziano dalle scienze teoriche fino a quelle applicate.

4. L'ERA DELL'AI SCIENCE: LIMITI E QUESTIONI APERTE

L'uso dell'IA nella ricerca scientifica comporta vantaggi concreti e significativi. Tuttavia, solleva anche una serie di problematiche a livello epistemologico, etico, sociale e politico. Considerando la vastità e la complessità di tali questioni, questo parere si concentrerà su cinque aspetti chiave che rappresentano limiti evidenti per il pieno sfruttamento delle potenzialità e dei benefici derivanti dalla sinergia tra intelligenza umana e artificiale nella ricerca scientifica. Questi aspetti riguardano: (i) la qualità dei dati e i bias negli algoritmi; (ii) la compartimentalizzazione dei dataset e la crescente dipendenza da algoritmi, prodotti e applicativi proprietari che limitano l'accesso e la riproducibilità

degli studi; (iii) il fabbisogno energetico e infrastrutturale; (iv) l'aumento delle frodi e delle condotte scorrette nella ricerca, con la conseguente crisi del paradigma di produzione e valutazione della conoscenza scientifica; (v) la crescente distanza tra la complessità insita nell'AI Science e la comprensione di tale fenomeno da parte della popolazione e dei decisori politici; (vi) il deficit di pensiero critico riguardo ai cambiamenti in atto e alle loro implicazioni future.

Il presente parere non si propone né di essere esaustivo, né di avanzare un'analisi dettagliata di ciascuno di questi fattori limitanti rispetto a un pieno utilizzo dell'IA per la ricerca e l'innovazione. Piuttosto, intende offrire una mappatura degli aspetti principali che, a parere del Comitato Etico, richiedono azioni concrete e urgenti, da parte sia degli attori coinvolti nel processo di ricerca, sia dei decisori politici, per governare il presente e il futuro della IA Science.

4.1 Qualità dei dati e affidabilità degli algoritmi

Gli algoritmi di IA, pur essendo sofisticati, possono essere soggetti a errori e bias derivanti dai dati di addestramento e dalle assunzioni incorporate nei modelli. Attualmente, questi algoritmi sono costruiti utilizzando strumenti di analisi e calcolo probabilistici. Di conseguenza, risultano affidabili in contesti dove l'elaborazione probabilistica è fondamentale per ottenere risultati, ma lo diventano meno quando si richiedono elaborazioni logico-matematiche più precise. Uno dei principali problemi dell'AI science riguarda la qualità dei dataset utilizzati per addestrare gli algoritmi. La qualità dei dati è cruciale poiché influisce direttamente sulle prestazioni e sull'affidabilità dei modelli di IA. Dati incompleti, inaccurati o non rappresentativi possono infatti generare modelli le cui predizioni risultano errate o non generalizzabili al di fuori del loro set di addestramento. Questo problema è particolarmente rilevante nel campo della ricerca biomedica e diagnostica. Ad esempio, uno studio sull'uso dell'IA per diagnosticare il cancro al seno ha evidenziato che dataset non bilanciati portano a tassi di errore più elevati, con implicazioni potenzialmente gravi per i pazienti.

La scarsa qualità dei dataset ha anche implicazioni etiche, poiché l'uso di algoritmi di IA potrebbe comportare discriminazioni. I bias, ossia fattori distorsivi nei dati di addestramento, possono portare a risultati discriminatori quando gli algoritmi sviluppati

vengono applicati a gruppi demografici diversi. Un'analisi condotta dal MIT Media Lab, ad esempio, ha rivelato che gli algoritmi di riconoscimento facciale sviluppati da aziende leader come IBM e Microsoft avevano tassi di errore significativamente più elevati per persone di colore e donne rispetto agli uomini bianchi. Ciò evidenzia l'urgenza di affrontare il problema dei bias nei dataset di addestramento, non solo per migliorare la precisione delle predizioni, ma anche per evitare potenziali discriminazioni.

Entrambi gli aspetti — la qualità dei dati e la congruenza degli algoritmi — sono quindi essenziali per il buon esito della ricerca. Ciò solleva preoccupazioni sulla robustezza e sulla fiducia nei risultati prodotti dall'IA. Per garantire risultati accurati e affidabili, è fondamentale la verifica e la validazione indipendente dei modelli di IA, coinvolgendo più attori nel processo di ricerca.

4.2 Accesso ai dataset, riproducibilità, applicativi e piattaforme proprietarie

Idealmente, la ricerca dovrebbe basarsi su dati aperti e liberamente accessibili. Un accesso condiviso ai dati consente, infatti, di verificare in modo intersoggettivo la qualità dei dataset, l'affidabilità degli algoritmi e la correttezza dei risultati, contribuendo a limitare gli errori. Tuttavia, i dati utilizzati per l'addestramento dei modelli di IA sono spesso proprietari o difficili da ottenere in modo aperto e gratuito, creando barriere per i ricercatori e limitando la trasparenza e la replicabilità degli studi. Inoltre, l'accesso differenziato a vari database potrebbe amplificare le disuguaglianze tra le diverse discipline o avvantaggiare alcuni tipi di ricerca, come quella finanziata dai privati, rispetto alla ricerca pubblica, spesso sostenuta da università e istituzioni pubbliche.

Secondo diverse fonti, 'aprire' e condividere i database potrebbe contribuire a mitigare queste problematiche. Esistono già esempi virtuosi, che vanno incoraggiati. Ad esempio, il progetto Human Connectome, che mira a mappare le connessioni neurali del cervello umano, ha reso i suoi dati liberamente accessibili, facilitando una vasta gamma di ricerche neuroscientifiche.

Un altro aspetto fondamentale riguarda la riproducibilità dei risultati, un tema già oggetto di discussione nella comunità scientifica, ma che l'IA rende ancora più complesso. La riproducibilità richiede che i modelli di IA, i

dataset e i processi di addestramento siano documentati in modo dettagliato e resi disponibili per la verifica indipendente. Tuttavia, le pratiche attuali spesso mancano di trasparenza, e in molti casi non è possibile conoscere esattamente il processo operativo seguito dai sistemi, complicato dal fatto che spesso si tratta di milioni di operazioni eseguite simultaneamente dalle macchine in frazioni di millisecondo. Ciò ostacola la capacità di altri ricercatori di replicare i risultati. Un esempio è rappresentato dall'iniziativa *Reproducibility Project: Cancer Biology*, che ha evidenziato difficoltà significative nel replicare studi di biologia del cancro che utilizzavano l'IA.

Inoltre, la crescente dipendenza da strumenti e applicativi di IA 'off-the-shelf', ossia prodotti proprietari sviluppati da terze parti commerciali, solleva preoccupazioni. Da una parte, l'uso di questi strumenti è parte integrante delle dinamiche moderne della ricerca scientifica, in quanto offre l'opportunità di introdurre innovazioni e tecnologie più avanzate per facilitare e migliorare la ricerca. D'altra parte, un'eccessiva dipendenza da prodotti proprietari basati sull'IA potrebbe limitare la capacità dei ricercatori di controllare e configurare autonomamente le proprie ricerche, contribuendo ad amplificare le disuguaglianze tra i vari sistemi di ricerca. Ad esempio, innovazioni come *AlphaFold*, che offre opportunità inedite per i ricercatori, sono spesso 'chiusi' e protette da brevetti, impedendo ai ricercatori stessi di comprendere appieno come siano state generate le ipotesi e le conclusioni, introducendo un margine di incertezza che può influire negativamente sulla qualità della ricerca prodotta. I costi legati all'utilizzo di questi strumenti applicativi e servizi possono rappresentare un ostacolo per l'accesso alle risorse necessarie per fare ricerca nell'era dell'*AI Science*.

L'accesso alle risorse di IA può creare un divario crescente nella capacità di condurre ricerca avanzata, penalizzando le comunità e le istituzioni meno attrezzate. Le università dei paesi in via di sviluppo, ad esempio, spesso non hanno accesso alle infrastrutture computazionali necessarie per l'addestramento di modelli di IA, limitando così la loro capacità di competere nel panorama globale della ricerca.

Per questi motivi esistono oggi proposte volte a realizzare internamente ai diversi ecosistemi o alle istituzioni di ricerca — soprattutto pubbliche, laddove esistenti — alcuni dei nuovi stru-

menti e applicativi per l'AI Science che sono attualmente solo disponibili presso terzi e, dunque, a pagamento; oppure per rendere quelli esistenti sempre più 'open-source'. Un'analisi approfondita di questi aspetti eccede i propositi del presente documento. Tuttavia, il Comitato Etico intende comunque sottolineare che per le sue proprietà, l'AI Science necessita l'avvio di una riflessione più generale all'interno della comunità dei ricercatori e tra i decisori politici in merito a quale tipo di modello e di relazione sia desiderabile costruire per gestire al meglio e bilanciare, da una parte, il bisogno di promuovere l'innovazione tecnologica, spesso affidato all'iniziativa dei privati e, dall'altro, il sistema che riguarda la produzione collettiva di conoscenza scientifica, il quale spesso è finanziato attraverso fondi pubblici.

4.3 Infrastrutture, consumo di risorse ed energia

Ogni interazione online richiede il supporto di un'imponente rete infrastrutturale, composta da migliaia di data center, satelliti, milioni di chilometri di cavi e altre infrastrutture fisiche. Le informazioni che vengono scambiate sono spesso archiviate ed elaborate in server situati in aree remote, i quali, sebbene fondamentali per la funzionalità dei sistemi di IA, consumano enormi quantità di energia. Secondo stime recenti, l'1-2% di tutta l'elettricità mondiale è utilizzato dai data center, con la previsione che questo dato possa crescere esponenzialmente nei prossimi anni, parallelamente all'espansione dell'IA. Questa crescita esponenziale della domanda energetica ha implicazioni significative sia dal punto di vista ambientale che geopolitico, richiedendo un'attenzione immediata e concreta.

Un report recente della Royal Society evidenzia chiaramente l'impatto ambientale dell'IA: «La raccolta, l'analisi, l'archiviazione e la condivisione dei dati richiesti per i sistemi basati sull'IA hanno un impatto ambientale significativo. Ad esempio, si stima che archiviare un terabyte di dati consumi 10 kg di anidride carbonica all'anno, mentre addestrare un modello di linguaggio come ChatGPT può generare 550 tonnellate di emissioni di anidride carbonica. Si stima che le emissioni globali di gas serra dei data center siano pari alle emissioni dell'aviazione commerciale statunitense e, poiché i set di dati e i modelli diventano più grandi, è probabile che ciò aumenti». Questo dato rappresenta una sfida significativa per il futuro, poiché suggerisce che le risorse naturali e

l'infrastruttura energetica necessarie per l'evoluzione e l'espansione dell'IA potrebbero non essere sostenibili se non gestite con una pianificazione accurata.

Per rendere sostenibile la rivoluzione conoscitiva permessa dall'IA, è quindi essenziale elaborare piani strategici che consentano di affrontare il crescente fabbisogno energetico in modo responsabile. Questi piani dovrebbero includere l'adozione di tecnologie più efficienti dal punto di vista energetico, l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile per alimentare i data center e una maggiore innovazione nel design delle infrastrutture, riducendo al minimo il consumo di risorse. Inoltre, le politiche e le pratiche di ricerca dovrebbero essere orientate alla ricerca di soluzioni che possano diminuire l'impronta ecologica dell'IA. Il crescente utilizzo di modelli di IA sempre più complessi e di larga scala implica la necessità di infrastrutture più potenti, ma questo deve essere accompagnato da un attento monitoraggio e regolamentazione per evitare danni ambientali irreversibili.

Un altro aspetto che merita attenzione riguarda la consapevolezza dei ricercatori e degli utilizzatori finali riguardo ai costi energetici associati all'addestramento e all'utilizzo di modelli di IA. Oggi, molti degli strumenti di IA disponibili sono presentati con interfacce utente che non enfatizzano adeguatamente i costi energetici e l'impatto ambientale che derivano dal loro utilizzo. Le piattaforme tendono, infatti, a nascondere l'effettivo costo in termini di risorse naturali e produzione di gas serra, un aspetto che potrebbe incentivare un uso meno responsabile da parte degli utenti. Gli sviluppatori, i ricercatori e i decisori politici devono quindi essere consapevoli di questo aspetto e cercare di promuovere pratiche più sostenibili, come la progettazione di modelli di IA che utilizzano meno energia e risorse, e l'adozione di tecnologie a basso impatto.

Infine, non va dimenticato che l'impatto ambientale non è solo legato all'energia richiesta per l'elaborazione dei dati, ma anche alla produzione e smaltimento delle infrastrutture hardware utilizzate, come i server e i dispositivi di storage. Questi dispositivi hanno una durata limitata e, una volta obsoleti, devono essere smaltiti. La gestione dei rifiuti elettronici, che include il recupero e il riciclo dei materiali, è priorità per l'industria dell'IA. In sintesi, la crescente domanda di energia necessaria per alimentare la ricerca e l'innovazione nell'ambito

dell'AI Science solleva questioni cruciali che richiedono risposte tempestive e strategiche. La transizione verso una IA più sostenibile deve essere accompagnata dalla consapevolezza di ricercatori, sviluppatori e decisori politici sui costi energetici e ambientali associati all'uso di tali tecnologie.

4.4 Etica, integrità nella ricerca e il modello di produzione scientifica

L'IA, in particolare quella generativa, grazie alla sua capacità di creare dati, immagini e testi sintetici indistinguibili da quelli reali, solleva seri problemi di integrità nella ricerca scientifica. I ricercatori, avvalendosi di strumenti di IA generativa, potrebbero produrre dati falsi che supportano ipotesi preesistenti, ingannando revisori e lettori. La possibilità di fabbricare dati o risultati di esperimenti non è solo una pratica scorretta, ma può contaminare la letteratura scientifica, minando la fiducia nel processo scientifico stesso. Un esempio di questa preoccupazione è il caso della creazione di immagini mediche sintetiche utilizzate per l'addestramento di modelli diagnostici. Se queste immagini non vengono esplicitamente identificate come sintetiche, possono compromettere l'affidabilità dei risultati degli studi clinici e portare a conclusioni errate. La difficoltà di distinguere tra dati autentici e sintetici rappresenta una nuova e significativa sfida per la verifica e la validazione della ricerca scientifica, aumentando il rischio di frodi e minando la credibilità della comunità scientifica.

Ad esempio, articoli scientifici pubblicati su riviste prestigiose sono stati ritirati dopo che si è scoperto che i dati erano stati generati artificialmente, come nel caso delle ricerche sulla biologia del cancro che hanno utilizzato dati sintetici senza una chiara indicazione. Mentre la questione dell'integrità nella ricerca esiste da sempre, è difficile negare che, nell'ambito dell'AI Science, essa abbia acquisito una nuova dimensione che richiede risposte urgenti e strutturali. Il rischio di manipolazioni è accentuato dalla disponibilità di strumenti di IA facili da utilizzare, che abbassano notevolmente la difficoltà di produrre risultati falsificati, aumentando esponenzialmente l'impatto che un singolo errore o frode possa avere.

Un fenomeno preoccupante che ha guadagnato attenzione negli ultimi anni è quello delle 'paper mills' o 'fabbriche di articoli scientifici', che producono articoli falsi o manipolati su commissione, spesso da parte di

ricercatori che necessitano di pubblicazioni per avanzare nella carriera o per ottenere finanziamenti. Tali articoli, che possono includere dati falsificati, analisi inventate, grafici e immagini manipolate, vengono confezionati per sembrare pubblicazioni scientifiche legittime. Questo fenomeno mina la credibilità delle pubblicazioni scientifiche e distorce non solo il progresso scientifico, ma anche le politiche che si basano su ricerche inaffidabili. Un esempio eclatante riguarda la rivista *Tumor Biology*, che nel 2017 ha dovuto ritirare oltre 100 articoli dopo aver scoperto che erano stati prodotti da 'paper mills'. La presenza di questi articoli falsi nel corpus scientifico non solo inganna i ricercatori, ma può condurre ad ulteriori studi basati su risultati falsi e influenzare erroneamente decisioni politiche e protocolli clinici, con un significativo impatto economico.

Alla luce di questi problemi, alcune istituzioni, tra cui il Consiglio d'Europa, hanno pubblicato linee guida per aiutare i ricercatori a rispettare i principi di integrità nella ricerca nell'era dell'IA e delle intelligenze generative. Queste iniziative sono necessarie e devono essere incoraggiate. Esse aiutano a definire chiaramente quali comportamenti sono leciti e da promuovere e quali sono illeciti e da evitare. Tuttavia, il Comitato Etico segnala che tali impulsi normativi, pur essendo fondamentali, devono essere accompagnati da una riflessione più ampia e comune riguardo al modello di produzione scientifica attualmente in uso, che è alla base di molti dei comportamenti scorretti.

Il sistema di ricerca accademica, caratterizzato dal modello 'publish or perish', ha posto una pressione crescente sui ricercatori, creando incentivi sempre più forti a adottare pratiche illecite per fare fronte alla competizione, ad esempio falsificando risultati o accettando pratiche eticamente discutibili per ottenere pubblicazioni. L'adozione di strumenti di IA, sempre più facili da usare e accessibili, ha esacerbato le contraddizioni di questo sistema, abbassando drasticamente la difficoltà di produrre lavori scientifici manipolati. Questo rende sempre più difficile accertare le condotte scorrette e amplifica notevolmente l'impatto negativo che una sola persona può avere attraverso l'utilizzo di questi strumenti. La disponibilità di IA generativa, che rende l'inganno più semplice da realizzare, pone una sfida maggiore nell'individuare e fermare i comportamenti fraudolenti.

In questo contesto, il solo aggiornamento o la creazione di nuove linee guida è necessaria, ma non sufficiente. Questi interventi potrebbero tamponare i sintomi senza affrontare le cause profonde di condotte scorrette nella ricerca. È essenziale promuovere un cambiamento strutturale nel modo in cui la ricerca è valutata, finanziata e pubblicata. La comunità scientifica deve impegnarsi a ridefinire il concetto di successo accademico e professionale, superando il modello che premia la quantità a discapito della qualità e, in alcuni casi, anche dell'integrità della ricerca. Solo così si potrà costruire un ambiente di ricerca più etico e sostenibile, capace di affrontare le sfide dell'AI Science senza compromettere i valori fondamentali della scienza.

4.5 Necessità di una riflessione teorica ed epistemologica

Un aspetto cruciale da considerare nell'ambito delle sfide e dei limiti posti dall'IA alla scienza è quello relativo ai cambiamenti nel modo in cui concepiamo e pratichiamo la ricerca. In particolare, c'è una transizione in atto che sta spostando la scienza sempre più verso un modello *data-driven*, a discapito di un approccio *theory-driven*. Grazie agli strumenti predittivi offerti dall'IA, le previsioni e le analisi dei fenomeni scientifici sono diventate centrali, mettendo in secondo piano la costruzione di modelli teorici che spiegano *perché* certi fenomeni accadono. In questo nuovo paradigma, non ci interessa tanto spiegare i meccanismi sottostanti, ma piuttosto predire cosa accadrà. Questo cambiamento non è solo una questione pratica, ma solleva anche interrogativi di natura filosofica ed epistemologica.

Nel contesto di una scienza sempre più basata sui dati, diventa cruciale riflettere su come questi dataset vengano costruiti e utilizzati. La qualità e la composizione dei dati sono ora al centro della ricerca, ma c'è un rischio significativo che, spostandoci verso il predittivismo, si riduca l'attenzione sulle questioni teoriche fondamentali. Questo approccio rischia di perdere di vista la costruzione del significato e il valore delle teorie scientifiche, riducendo la ricerca a una mera applicazione tecnologica senza una base teorica solida.

Accanto a questo, è necessario riflettere sull'ermeneutica che l'IA impone al ricercatore. Non ci interessa solo un controllo normativo, ma comprendere come l'IA influenzi le modalità di produzione, circolazione e interpretazione dei contenuti scientifici. Queste

logiche modellano anche le abitudini mentali e i costrutti simbolici con cui ci avviciniamo alla scienza, influenzando profondamente la cultura stessa. In questo senso, l'etica si sposta verso un campo della responsabilità più ampio, che riguarda il modo in cui i ricercatori interagiscono con gli strumenti tecnologici e come questi strumenti modificano il loro approccio alla conoscenza.

Un altro aspetto etico riguarda il processo di addestramento dell'IA, che attualmente manca di una dimensione meditativa e riflessiva. L'accumulo e il processamento dei dati, pur essendo cruciali, non sono accompagnati da una riflessione critica su quali stili cognitivi, riflessivi, contestuali e culturali siano alla base dei paradigmi scientifici. Il risultato è un sapere che, pur essendo vasto e potente, è privo di una cornice etica che ne orienti l'utilizzo e l'interpretazione. In questo contesto, è fondamentale interrogarsi su come si formi l'intelligenza che emerge da questi sistemi e come si relazioni con l'idea che l'IA rappresenti semplicemente una capacità di raggiungere fini complessi, come proposto da Max Tegmark nel 2018.

Nel dibattito epistemologico, è dunque essenziale includere una riflessione profonda sulla costruzione del significato, sull'interpretazione dei dati e sul sistema di valori che permea la scienza. Solo così sarà possibile comprendere appieno come l'IA stia cambiando non solo gli strumenti della ricerca, ma anche la sua stessa natura e la nostra comprensione del mondo.

4.6 Mancanza di comprensione generale e la necessità di educazione e formazione

Uno degli ostacoli principali che la scienza e la società devono affrontare nell'era dell'IA è la mancanza di una comprensione diffusa e approfondita di come questa tecnologia stia plasmando e trasformerà il nostro mondo. Sebbene l'AI stia avendo un impatto crescente in vari settori, dalla ricerca scientifica all'economia, dalle politiche pubbliche alla vita quotidiana, esiste una comprensione limitata delle sue potenzialità, dei suoi rischi e delle sue implicazioni. Questo gap di comprensione non riguarda solo il pubblico generale, ma anche i decisori politici, che spesso non dispongono delle competenze necessarie per prendere decisioni informate su come regolare, sviluppare e utilizzare l'IA in modo responsabile e sostenibile.

Il progresso dell'IA sta rapidamente trasformando non solo la scienza, ma anche le dinamiche sociali ed economiche globali. Tuttavia, senza una comprensione adeguata e condivisa, è difficile immaginare e pianificare un futuro in cui l'IA venga utilizzata in modo equo e a beneficio dell'intera società. Le decisioni che verranno prese oggi determineranno non solo il destino della ricerca scientifica, ma anche quello della nostra cultura, dei nostri valori e della nostra economia. In questo scenario, è fondamentale che i decisori politici, gli educatori e i ricercatori stessi abbiano una conoscenza più profonda e critica dei meccanismi e delle implicazioni dell'IA.

Per far fronte a questa carenza di comprensione, è necessario avviare un processo di educazione che inizi dalla scuola e che coinvolga tutti i livelli della società. L'educazione non deve limitarsi alla mera alfabetizzazione tecnologica, ma deve includere una riflessione critica sui temi etici, filosofici ed epistemologici legati all'uso dell'IA. Gli studenti devono essere preparati non solo a comprendere come funzionano gli algoritmi, ma anche a interrogarsi sui loro impatti, sui valori che li sostengono e sulle sfide che l'adozione di queste tecnologie comporta.

Inoltre, il coinvolgimento delle nuove generazioni in queste riflessioni deve andare oltre la mera conoscenza tecnica: occorre insegnare loro a diventare cittadini consapevoli, in grado di prendere decisioni informate e di influenzare positivamente le politiche pubbliche relative all'IA. Solo partendo da una base comune di comprensione, sarà possibile costruire un futuro in cui l'IA possa essere utilizzata in modo equo e sostenibile, evitando che i suoi benefici siano distribuiti in modo diseguale e che i suoi rischi siano gestiti in modo inadeguato.

Infine, è essenziale che anche i decisori politici si impegnino in un percorso di formazione continua, al fine di comprendere meglio le potenzialità, le sfide e le implicazioni dell'IA. Le politiche pubbliche devono essere guidate dalla consapevolezza delle complesse dinamiche che caratterizzano queste tecnologie, in modo da adottare regolamenti e leggi che proteggano i diritti dei cittadini e favoriscano un uso responsabile dell'IA. Senza una comprensione comune, l'adozione dell'IA potrebbe risultare frammentata e mal indirizzata, con conseguenze negative per l'innovazione scientifica, la coesione sociale e l'equità.

La formazione e l'educazione sono le chiavi per costruire una società che sappia affrontare i cambiamenti e le sfide posti dall'IA, facendo in modo che l'innovazione tecnologica possa prosperare in un ambiente che promuova la responsabilità, l'equità e il benessere collettivo.

5. CONCLUSIONI E RACCOMAN- DAZIONI

In sintesi, l'intelligenza artificiale rappresenta una tecnologia progettata dall'uomo per compiere operazioni che imitano il ragionamento umano, con la capacità di generare risultati che, in molti casi, sarebbero difficili o impossibili da raggiungere senza l'intervento di macchine. Tuttavia, non dobbiamo dimenticare che le capacità di 'comprensione', 'spiegazione' e 'comunicazione' rimangono prerogative dell'intelligenza umana, che è quella che ha progettato e sviluppato l'intelligenza artificiale stessa. Sebbene l'IA possa ottenere risultati straordinari, è importante ricordare che questi dipendono sempre dai programmi scritti da esseri umani, con tutti i limiti che ciò comporta: possibili errori nella programmazione e l'incapacità intrinseca del computer di comprendere o di rispondere a situazioni al di fuori degli schemi impostati.

L'uso dell'IA nella ricerca scientifica porta con sé enormi potenzialità, ma anche sfide complesse. Mentre l'intelligenza artificiale può accelerare il progresso scientifico e aprire nuove frontiere della conoscenza, un suo impiego scorretto può compromettere il processo di ricerca, generando risultati falsati e applicazioni dannose per individui e società. Per ridurre i rischi associati all'uso improprio dell'IA e per massimizzare i benefici, è fondamentale adottare una serie di principi etici e politiche appropriate.

Il Comitato Etico della Fondazione Veronesi raccomanda di intraprendere le seguenti azioni per garantire che l'uso dell'IA in ambito scientifico sia responsabile, sostenibile e benefico per la società:

1. Adottare un approccio centrato sull'umanità: È essenziale sviluppare l'intelligenza artificiale in modo che risponda ai bisogni umani, tuteli la dignità, la privacy e i diritti fondamentali delle persone, promuovendo il benessere sociale. L'adozione di un 'umanesimo digitale' significa mettere la tecnologia al servizio delle persone, creando un equilibrio tra innovazione tecnologica

ca e valori umani. L'innovazione non deve essere solo tecnica, ma anche sociale e culturale, in modo da migliorare la qualità della vita umana e promuovere il bene comune.

2. Promuovere la scienza aperta: È necessario sostenere e diffondere i principi di 'open science' per garantire che l'AI Science sia sempre più trasparente, libera e accessibile. Ciò implica la condivisione dei database, degli algoritmi, dei materiali e dei metodi di ricerca, contribuendo così a un ambiente di collaborazione e fiducia tra ricercatori e istituzioni.
3. Investire nella cultura dell'integrità nella ricerca: La creazione di una cultura radicata nell'integrità è fondamentale per il buon uso dell'IA nella ricerca. È necessario offrire corsi di formazione a ricercatori e ricercatrici e promuovere iniziative di coordinamento tra tutti gli attori coinvolti nel processo di ricerca. Le istituzioni, le imprese, le società scientifiche e le riviste di settore devono collaborare per garantire che l'uso dell'IA nella ricerca sia sempre etico e responsabile. In particolare, il Comitato Etico raccomanda che tutti i ricercatori che ricevono contributi dalla Fondazione Veronesi per fini di ricerca sottoscrivano, come impegno etico vincolante, la *Dichiarazione in materia di Integrità nella Ricerca*. Tale dichiarazione, al punto 11, richiede ai ricercatori di:
 - Utilizzare in modo responsabile gli strumenti di intelligenza artificiale, assumendosi la responsabilità per i contenuti generati, ove applicabile;
 - Esplicitare in modo trasparente ogni utilizzo sostanziale di strumenti di IA nella ricerca;
 - Rispettare le normative relative alla privacy e alla proprietà intellettuale quando si condividono dati sensibili con l'IA;
 - Evitare di utilizzare in modo improprio strumenti di IA per attività che possano influire negativamente su altre ricercatrici, ricercatori o organizzazioni, come la revisione tra pari, la valutazione di progetti o la selezione di personale di ricerca.

In conclusione, l'intelligenza artificiale ha il potenziale di rivoluzionare la scienza e la ricerca, ma il suo impatto dipende in larga misura dalle scelte etiche, politiche e culturali che fare-

mo. Solo attraverso un approccio equilibrato, che unisce innovazione tecnologica e responsabilità umana, potremo garantire che l'IA contribuisca in modo positivo al progresso scientifico e alla società nel suo complesso.

NOTE

1. Composizione del Comitato Etico: Carlo Alberto Redi, (Presidente), Giuseppe Testa (Vicepresidente), Guido Bosticco, Roberto Defez, Giorgio Macellari, Emanuela Mancino, Alberto Martinelli, Michela Matteoli, Telmo Pievani, Giuseppe Remuzzi, Luigi Ripamonti, Giuliano Amato (Presidente Onorario), Cinzia Caporale (Presidente Onorario), Marco Annoni (Coordinatore). Il documento è stato approvato all'unanimità con votazione telematica in data 30.01.2024. Alla stesura del documento hanno collaborato anche Dino Maurizio (Informatici Senza Frontiere APS) e Vieri Giuliano Santucci (ISTC-CNR) in qualità di esperti *ad acta*.

2. I GAN utilizzano due reti neurali chiamate 'generatore' e 'discriminatore'. Il 'generatore' crea dei dati o delle immagini sintetiche (e cioè, non reali), mentre il 'discriminatore' le valuta rispetto a dati o immagini reali, allenando così il generatore a creare output sintetici sempre più credibili. La fase di 'allenamento' di questi sistemi prosegue fino a quando il discriminatore non è più in grado di distinguere tra gli output sintetici del generatore e input reali.

3. Oltre a questi casi, l'uso dell'IA nella ricerca è sempre più essenziale in praticamente ogni campo di studi e ambito di ricerca. Nelle scienze ambientali, l'IA permette di integrare e analizzare grandi quantità di dati al fine di migliorare la comprensione dei cambiamenti climatici e predire l'evoluzione di precisione eventi meteorologici estremi, come uragani e ondate di calore, oppure per monitorare la deforestazione, la perdita di biodiversità e altre minacce ambientali, aiutando a prendere decisioni informate per la conservazione e la gestione sostenibile delle risorse naturali. Anche nelle neuroscienze, l'IA sta aprendo nuove frontiere nel campo delle interfacce cervello-computer (BCI), permettendo la comunicazione diretta tra il cervello umano e i dispositivi esterni grazie all'utilizzo di algoritmi di ML per decodificare i segnali cerebrali e tradurli in comandi per controllare protesi o altri dispositivi.