Una nuova era per l'Intelligenza Artificiale

Mauro Ugolini Università Roma TRE Edward Smith Wokingham U3A

In questo lavoro si indaga il percorso evolutivo dell'Intelligenza Artificiale e le possibili conseguenze della sua adozione, con particolare riferimento alle implicazioni sociali, politiche ed economiche

Un'esplosione d'interesse

n un precedente articolo [1], abbiamo analizzato la crescente importanza dell'Intelligenza Artificiale (IA) come tecnologia. Tuttavia, da allora ne sono emersi nuovi tipi e la sua visibilità è cresciuta ulteriormente.

In questo lavoro indagheremo il percorso evolutivo dell'Intelligenza Artificiale e le possibili conseguenze della sua adozione, con particolare riferimento alle implicazioni sociali, politiche ed economiche. Ne ripercorreremo gli sviluppi, concentrandoci sui progressi recenti e sulle precedenti false partenze. Cercheremo di comprenderne i rischi, valutando prima di tutto i punti di vista che prendono in considerazione, fra gli obiettivi, il raggiungimento della cosiddetta "Intelligenza Artificiale Forte". Esamineremo le preoccupazioni più evidenti, secondo quanto emerge dalle analisi condotte da alcune delle principali società di consulenza, senza trascurare altri eventuali impatti rilevanti. Concluderemo infine il lavoro esplorando il ruolo e l'influenza della comunità scientifico-accademica, degli enti regolatori e dei governi.

Lo sviluppo storico

Abbiamo già osservato [1] che gli studi sull'Intelligenza Artificiale sono iniziati alla fine degli anni '40,

quando Alan Turing e i suoi collaboratori cominciarono a pensare a programmi di apprendimento che sarebbero stati in grado di modificare le loro istruzioni, e suggerirono che queste capacità sarebbero state raggiunte in breve tempo.

Il termine "Intelligenza Artificiale" invece è emerso da una conferenza del 1956 tenutasi al Dartmouth College negli Stati Uniti.

I primi sviluppi in questo settore hanno avuto origine con approcci basati sulla logica matematica negli anni '50 e all'inizio degli anni '60, poi sui sistemi esperti negli anni '70 e '80, e infine sul *Machine Learning* - ML, approccio basato sui dati, dal 2000 in poi, con periodi di scarso finanziamento e risultati ridotti nella ricerca, noti come "inverni dell'Intelligenza Artificiale". Anche per questo motivo l'Intelligenza Artificiale si è guadagnata la reputazione di essere una di quelle soluzioni dimostratesi molto promettenti, ma mai del tutto realizzate.

La recente, sensibile ripresa dell'interesse per l'Intelligenza Artificiale può essere attribuita alla disponibilità di *dataset* di notevoli dimensioni e di alta qualità, alla pervasività del calcolo distribuito e alle applicazioni del calcolo eseguito grazie a unità di elaborazione grafiche (GPU).

Di recente, poi, si sono fatti notevoli progressi negli algoritmi Machine Learning - ML, tanto che ora disponiamo di numerose librerie software pubbliche (open source), specializzate proprio sul ML. Ricordiamo qui che il ML è la capacità di una macchina di migliorare le proprie prestazioni attraverso l'esperienza ripetuta di problemi particolari, soluzione tecnologica di grande impatto, questa, per le sue numerose applicazioni. Si è arrivati a ciò grazie allo sviluppo delle reti neurali, così chiamate perché modellano il funzionamento delle cellule neuronali umane e consentono ai computer di svolgere compiti senza la necessità di una programmazione esplicita. In pratica, si fa uso di grandi dataset per far "assimilare" alla rete il problema in esame, seguendo un processo di creazione del modello, raccolta e preparazione dei dati, addestra-

Intelligenza artificiale e impresa

mento e valutazione delle prestazioni raggiunte. Gran parte del recente interesse per il *Machine Learning* è arrivato con il lancio di ChatGPT di *OpenAI*, che utilizza una tecnica nota come "Intelligenza Artificiale Generativa (IAG)" che, sulla base dell'assimilazione di grandi quantità di dati di addestramento, "impara" a generare risultati statisticamente probabili, quando richiesto. L'output risultante può tradursi in testo, immagini e audio assolutamente realistici.

La figura 1 mostra il rapido sviluppo avutosi nelle soluzioni di Intelligenza Artificiale Generativa nel periodo compreso tra novembre 2022 e aprile 2023 [2].

Le soluzioni citate in figura 1 possono essere classificate come "Intelligenza Artificiale Debole (o Ristretta)", ovvero concentrata su applicazioni specifiche, con possibili adattamenti a diverse aree applicative che però richiedono un'ampia riqualificazione dell'algoritmo di apprendimento e un significativo intervento umano nel processo di apprendimento.

Con "Intelligenza Artificiale Ampia" o "Generale», o più comunemente "Intelligenza Artificiale Forte", d'altro canto, si intende la capacità di affrontare una gamma più ampia di problemi, con un approccio più somigliante a quello tipico del pensiero umano, senza la necessità di un'ampia riqualificazione.

Alcuni ricercatori suggeriscono che l'Intelligenza

Artificiale Forte potrebbe portare allo sviluppo di una Macchina Ultra Intelligente, che riuscirebbe a mostrare sensazioni (attraverso l'acquisizione di dati), capacità di archiviazione dati, elevata velocità di elaborazione, abilità di modifica del software, efficienza di funzionamento e versatilità di utilizzo. Quanto sinora descritto lascia certamente intuire che l'Intelligenza Artificiale potrà portare molti vantaggi [1, 4, 8], ma ci sono altrettante preoccupazioni che devono essere analizzate, obiettivo perseguito nella sezione successiva.

L'impatto sul lavoro

L'eccessivo affidamento sui sistemi di Intelligenza Artificiale porta a diversi problemi: ad esempio, la tendenza a riporre eccessiva fiducia nell'affidabilità degli algoritmi, o a dare troppo credito alle dichiarazioni sulle loro capacità, da parte degli esperti del settore. La logica di un algoritmo dovrebbe essere contestabile, e allo stesso modo gli algoritmi dovrebbero sostenere, piuttosto che istruire, gli esseri umani. Un modo per compensare questo orientamento sbilanciato verso eccessi-

1 Tutte le etichette tra doppi apici rappresentano nomi di prodotto. L'abbreviazione LLM sta per *Large Language Model*, una tipologia specifica di Intelligenza Artificiale Generativa.



■ Figura 1
Il rapido sviluppo dell'Intelligenza Artificiale Generativa [2]¹

vi livelli di fiducia potrebbe essere quello di far generare all'Intelligenza Artificiale risposte alternative, ciascuna delle quali accompagnata da una stima della probabilità di correttezza.

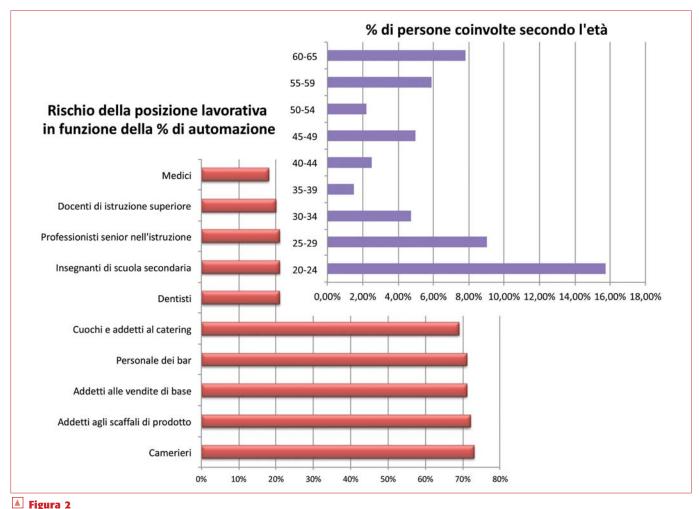
Bostrom sostiene che le macchine intelligenti potrebbero accelerare l'uscita degli esseri umani dal mondo del lavoro, poiché l'Intelligenza Artificiale sposterà l'enfasi sul capitale, piuttosto che sulla forza lavoro, favorendo così la riduzione dei salari e lo sfruttamento dei lavoratori [3].

Prima del lancio dell'Intelligenza Artificiale Generativa (IAG), si prevedeva che l'impatto dell'Intelligenza Artificiale sull'occupazione avrebbe colpito particolarmente i lavori manuali, impiegatizi e direttivi di basso livello, con alcune professioni in area giuridica anch'esse in pericolo [4]. Oggi si ritiene con più probabilità che le tecnologie di automazione aumenteranno le disuguaglianze salariali. Si sostiene anche che l'Intelligenza Artificiale darà origine a nuovi tipi di posti di lavoro, ma non è ancora chiaro se questi saranno equivalenti in termini di numero, potere d'acquisto, e possibilità di accedere alla formazione.

Uno studio recente suggerisce che entro il 2033,

in Italia, si potrebbero perdere 4,7 milioni di posti di lavoro a causa dell'adozione delle nuove tecnologie. Tuttavia, si prevede pure che Intelligenza Artificiale, Automazione e Robotica creeranno 3,6 milioni di nuovi posti di lavoro equivalenti, con un deficit netto di circa 1,1 milioni di posti di lavoro, da mitigare attraverso la riallocazione e la riqualificazione dei lavoratori [5].

Nel 2017, l'ufficio per le statistiche nazionali del Regno Unito (Office for National Statistics - ONS) ha analizzato i posti di lavoro di 20 milioni di persone in Inghilterra, e ritiene che il 7,4%, ovvero 1,5 milioni di posti, il 70% dei quali peraltro occupato da donne, corrano un alto rischio di esser cancellati a causa dell'automazione. Le occupazioni più vulnerabili potrebbero essere quelle dei camerieri e delle cameriere, degli addetti agli scaffali o ad altre attività di base nelle vendite, più in generale tutte le mansioni con basso livello di qualificazione o le mansioni di routine; le professioni con rischio più basso sarebbero quelle dei medici, o dei professionisti senior nel campo dell'istruzione [6]. Queste e altre previsioni sono rappresentate nella figura 2.



I dati dell'ufficio per le statistiche nazionali (ONS) del Regno Unito relativi all'impatto dell'automazione sulle professioni [6]

In contrasto con questi risultati [5-6], in cui si è previsto che l'Intelligenza Artificiale possa avere il maggior impatto sui lavoratori con minore istruzione e preparazione professionale, oggi si prevede che l'Intelligenza Artificiale Forte avrà effetti anche sui gruppi a reddito più elevato e su settori come i servizi finanziari e le assicurazioni, sebbene non si possa negare, almeno in teoria, che sarà di stimolo anche per l'innovazione, la produttività e i risultati.

Un lavoro infatti è oggi concepito come "un insieme di compiti resi possibili da un insieme di competenze", modello questo aperto a una riprogettazione completa delle mansioni, in cui si può integrare efficacemente l'Intelligenza Artificiale Forte. 300 milioni di posti di lavoro potrebbero essere in qualche modo interessati, con una parte di lavoro sostituita dall'Intelligenza Artificiale (7% dell'attuale occupazione globale), un'altra parte (63%) in cui si assisterà a una integrazione dell'Intelligenza Artificiale e la parte restante che non avrà impatti significativi. Si prevede che il conseguente boom della produttività aumenterà il prodotto interno lordo globale (PIL) del 7% in un periodo di 10 anni. Come precedentemente sottolineato, però, le previsioni mostrano che saranno in maggioranza le donne, rispetto agli uomini, a occupare le posizioni che avranno il maggiore impatto, fra le quali ci saranno quelle relative alle attività di supporto amministrativo e d'ufficio, quelle dell'assistenza sanitaria, dei servizi educativi e bibliotecari e dei servizi sociali e comunitari [10].

Il dispiegamento dell'Intelligenza Artificiale dovrà essere gestito riconoscendo quali attività potranno essere automatizzate e ottimizzate, quali potranno subire impatti limitati oppure quali saranno le nuove attività che potrebbero emergere [10]. L'Intelligenza Artificiale Forte influirà sui compiti e sulle competenze necessarie per svolgere una determinata mansione e richiederà che i compiti vengano assegnati in modo diverso. Proprio la comprensione di queste relazioni consentirà di identificare attività che potranno essere automatizzate oppure ottimizzate, portando anche all'individuazione di nuove professioni [10]. Attività che ai fini di un efficace dispiegamento dell'Intelligenza Artificiale potrebbero essere classificate nel modo seguente:

- lavori automatizzati che le macchine svolgono meglio;
- compiti a impatto limitato che gli esseri umani sanno fare meglio;
- competenze ottimizzate, ovvero quelle che gli esseri umani sviluppano meglio con il supporto delle macchine;
- nuove competenze di cui gli esseri umani potrebbero aver bisogno.

Non mancano tuttavia altre sfide sociali che includono conseguenze indesiderate, usi impropri, pregiudizi algoritmici e preoccupazioni sulla privacy dei dati. L'impatto avrà luogo sia a livello sociale che individuale, e quest'ultimo creerà sfide per l'autonomia, l'identità, la dignità e la stessa privacy. A livello sociale si fanno sempre più evidenti le preoccupazioni riguardo all'equità e all'uguaglianza, all'identità umana collettiva, alla responsabilità, alla trasparenza, alla privacy, alla disinformazione sulla democrazia e alla libertà di espressione. Purtroppo, i quadri di riferimento politici e normativi sembrano oggi in ritardo rispetto agli sviluppi dell'Intelligenza Artificiale, destinata a integrarsi entro breve tempo in ogni aspetto della vita quotidiana [4].

L'Intelligenza Artificiale Forte e "la singolarità"

Passando dal contesto in cui l'Intelligenza Artificiale indirizza problemi o classi di problemi specifici a quello dell'Intelligenza Artificiale Forte, dove le capacità dell'Intelligenza Artificiale sono meno vincolate, la natura dei rischi cambia notevolmente. Bostrom [3] esamina le possibilità di un'Intelligenza Artificiale che superi l'intelligenza umana, a cominciare dalla creazione di un'implementazione dell'IA (nota come "Intelligenza Artificiale Seme") in grado di migliorare le proprie abilità in modo ricorsivo. Dopo una fase di auto-miglioramento, potrebbe superare le capacità cognitive degli esseri umani, passando attraverso continue fasi di riprogettazione.

Il punto nel tempo in cui le macchine diventerebbero più intelligenti degli esseri umani viene comunemente definito "la singolarità" [4]. Un'idea che proviene da Jack Good e Ray Kurzweil, mentre il termine è stato reso popolare in tempi successivi da Vernor Vinge. Kurzweil prevedeva che la singolarità sarebbe stata raggiunta entro il 2030 e che entro il 2045 ulteriori sviluppi avrebbero sconfitto la guerra, le malattie, la povertà e la morte individuale. Una visione più negativa è che questa situazione potrebbe rappresentare una minaccia esistenziale per gli esseri umani, che necessiterebbe di essere limitata mediante controlli intrinseci come il contenimento fisico o la limitazione delle informazioni rese disponibili [3].

Ciò porta anche a porre la questione generale se gli esseri umani siano effettivamente in grado di controllare lo sviluppo e l'introduzione di una nuova tecnologia. Non è importante solo se viene sviluppata una nuova tecnologia, ma anche quando e dove. Dobbiamo influenzare la direzione dello sviluppo e incoraggiare un'evoluzione vantaggiosa e a basso rischio.

Si stima che le collaborazioni necessarie per arrivare alla singolarità superino le risorse oggi necessarie per l'operatività del CERN di Ginevra. Boden suggerisce [4] che le visioni apocalittiche del futuro dell'Intelligenza Artificiale siano illusorie, ma, in parte a causa di queste, la comunità dell'Intelligenza Artificiale, insieme ai politici e a tutti gli individui in generale, stanno diventando consapevoli dei potenziali pericoli.

In conclusione, seppur la singolarità non sia del tutto realistica, dobbiamo certamente prestare attenzione agli impatti a breve e medio termine dell'Intelligenza Artificiale, come peraltro già descritto nella sezione precedente.

L'impatto commerciale

Lo sviluppo nel campo dell'Intelligenza Artificiale è rapido e sono state lanciate molte iniziative per consentire a ricercatori, sviluppatori, aziende e governi di gestire la situazione dalla propria prospettiva. In questa sezione, ci occupiamo principalmente dell'impatto su aziende e governi e di come questi vengono influenzati da ciò che accade. Gran parte della ricerca di base viene comuni-

cata tramite conferenze e riviste accademiche; invece, le strategie aziendali, e quindi l'adozione, sono influenzate attraverso le attività di varie società di consulenza. I governi, d'altro canto, cercano di condizionare l'ecosistema complessivo mediante il consenso raggiunto nei *summit* e naturalmente tramite opportune politiche e la legislazione. L'ambito della catena di interessi, schematizzato nella figura 3, fornisce una rappresentazione di queste idee e mostra che l'ampiezza dell'interesse aumenta man mano che ci si sposta da sinistra a destra nella catena.

Le aspettative per l'Intelligenza Artificiale Generativa (IAG) sono ora al loro livello più alto, e riflettono un ottimismo per il suo futuro che non è stato ancora provato a fondo. La previsione corrente è che apporterà benefici capaci di impatti trasformativi entro due - cinque anni, dato che si è sviluppata più rapidamente del previsto [2], come si può dedurre dalla tabella 1.

Tuttavia, l'Intelligenza Artificiale Generativa può produrre contenuti parziali, fattualmente errati o illegalmente copiati da fonti protette da *copyright*, esponendo i soggetti che la adottano a rischi legali e di reputazione. Mantenere gli indivi-

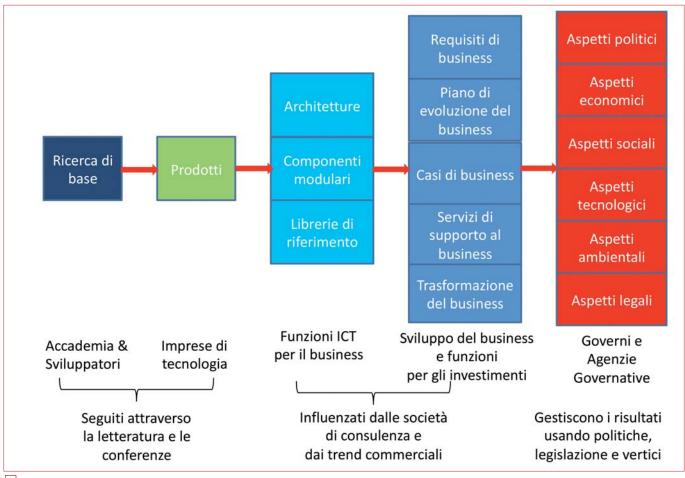
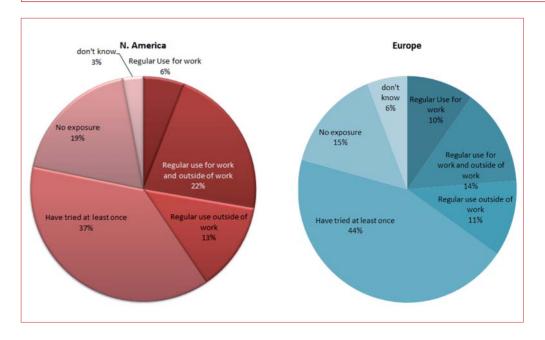


Figura 3
L'ambito della catena di interessi

dui informati su questo stato di cose è una potenziale mitigazione. Ci sono però anche altre aree di rischio, quali l'imprecisione, la sicurezza informatica, la violazione dei diritti di proprietà intellettuale, la conformità normativa, la "spiegabilità", la privacy, la sostituzione delle professioni, l'equità e la correttezza, la reputazione organizzativa, la sicurezza nazionale e l'impatto ambientale. Col sondaggio globale del 2023 su 1.684 intervistati, McKinsey [7] ha trovato che le aspettative per l'Intelligenza Artificiale Generativa sono elevate e che la maggiore intensità nel livello di cambiamento sarà probabilmente nei settori della tecnologia e dei servizi finanziari. Le organizzazioni in cui l'Intelligenza Artificiale contribuisce per oltre il 20% ai guadagni sono classificate come Artificial Intelligence High Performer e ci si aspetta che utilizzino l'Intelligenza Artificiale più ampiamente dei loro concorrenti nello sviluppo di prodotti e servizi. Circa il 30% degli utilizzatori in Europa utilizza l'Intelligenza Artificiale con un occhio all'espansione dei ricavi. Le aziende con meno esperienza nell'Intelligenza Artificiale tendono a concentrarsi sulla riduzione dei costi, scorgendo però un maggiore potenziale di crescita man mano che diventano più esperte nell'uso. La figura 4 confronta il livello di adozione dell'Intelligenza Artificiale in Europa e Nord America.

McKinsey stima che l'Intelligenza Artificiale Generativa (IAG) potrebbe generare guadagni di produttività annui da 2,6 a 4,4 migliaia di miliardi di dollari (il PIL della Germania era di 4,36 migliaia di miliardi di dollari nel 2021). Circa il 75% del valore generato è nelle customer operations, nel marketing e nelle vendite, nell'ingegneria del software e nella ricerca e sviluppo [8]. La competitività commerciale europea deve quindi essere valutata con attenzione. L'Europa, infatti, ha più sviluppatori professionisti degli Stati Uniti (quasi 6 milioni) [8], ha più ricercatori sull'Intelligenza Artificiale rispetto ai suoi pari e in genere produce la maggior parte della ricerca. La Cina ha depositato la maggior parte dei brevetti, ma le recenti politiche cinesi hanno ridotto gli standard di qualità, con conseguente inflazione dei brevetti. Sebbene producano meno articoli accademici sull'Intelligenza Artificiale, gli Stati Uniti producono in media gli articoli di qualità più elevata e pur avendo meno talenti comples-

Tabella 1 Calendario per lo sviluppo delle capacità dell'IA Generativa [2]		
Capacità dell'Intelligenza Artificiale	Stima attuale	Stima precedente
Coordinamento con molti agenti	2035	2045
Creatività	2023	2048
Ragionamento logico e problem solving	2023	2043
Comprensione del linguaggio naturale	2025	2055
Generazione di nuovi modelli e categorie	2020	2023
Output sociale ed emotivo	2031	2048
Ragionamento sociale ed emotivo	2033	2050
Sensibilità sociale ed emotiva	2030	2037



■ Figura 4

Adozione dell'Intelligenza

artificiale: confronto tra Europa

e Nord America [7]

sivi sull'Intelligenza Artificiale rispetto all'Unione Europea, il loro livello è più elitario [9]. L'Unione Europea contribuisce al secondo maggior numero di pubblicazioni sull'Intelligenza Artificiale nelle conferenze internazionali dietro gli Stati Uniti, che sono due volte più attivi. Gli stati membri dell'Unione Europea sono invece molto attivi nella standardizzazione internazionale. In sei categorie di parametri (talento, ricerca, sviluppo, adozione, dati e hardware), gli Stati Uniti sono leader in quattro (talento, ricerca, sviluppo e hardware), mentre la Cina è leader in due (adozione e dati) [9]. La figura 5 fornisce una visualizzazione della competitività relativa di Cina, Stati Uniti e Unione Europea.

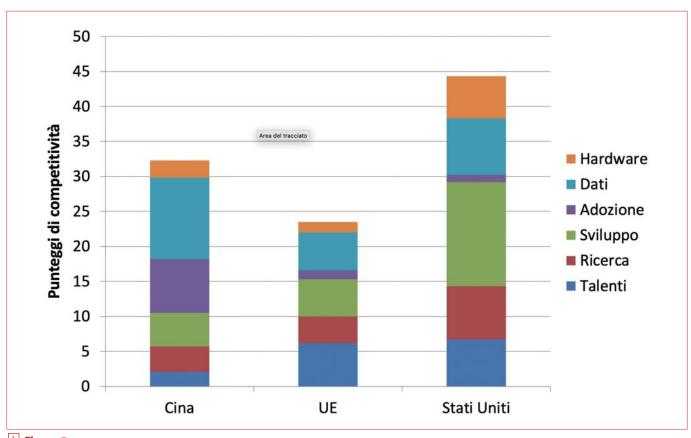
L'Europa ha circa il 2% di start-up sull'Intelligenza Artificiale, in linea con le sue dimensioni nell'economia mondiale, ma il suo investimento iniziale sull'Intelligenza Artificiale è in ritardo rispetto a quello degli Stati Uniti e della Cina. Gli Stati Uniti hanno accesso alla maggior parte dei finanziamenti di private equity e venture capital. L'Europa ha attratto solo l'11% del capitale di rischio globale e dei finanziamenti aziendali nel 2016, con il 50% dei fondi totali dedicati alle aziende statunitensi e il saldo destinato all'Asia. Solo 4 aziende europee sono tra le prime 100 start-up di Intelligenza Artificiale globali [8]

La dimensione politica

Il vertice inaugurale sulla sicurezza dell'Intelligenza Artificiale si è tenuto a Bletchley Park (UK) il 1-2 novembre 2023, per identificare i passi per uno sviluppo sicuro di questa tecnologia, con contributi di 150 rappresentanti globali, tra cui leader di governo e ministri, e leader dell'industria, del mondo accademico e della società civile [11]. Sono stati stabiliti cinque obiettivi:

- una comprensione condivisa dei rischi posti dall'Intelligenza Artificiale e della necessità di agire;
- un processo per la collaborazione internazionale sulla sicurezza dell'Intelligenza Artificiale, incluso il modo migliore per supportare i quadri normativi nazionali e internazionali;
- misure appropriate che le singole organizzazioni dovrebbero adottare per aumentare la sicurezza dell'Intelligenza Artificiale;
- aree per una potenziale collaborazione sulla ricerca sulla sicurezza dell'Intelligenza Artificiale, inclusa la valutazione del modello;
- una dimostrazione di come si possa garantire che lo sviluppo sicuro dell'Intelligenza Artificiale consentirà di utilizzarla in modo da procurare benefici.

Sono stati fatti sforzi per identificare il giusto



■ Figura 5
Rappresentazione della competitività relativa di Cina, USA e UE [9]

equilibrio tra azione nazionale e internazionale e per valutare il ruolo degli organismi di normazione. Riconoscendo la necessità di una continua collaborazione internazionale, i partecipanti si sono impegnati a incontrarsi di nuovo in futuro, con la Repubblica di Corea che ha organizzato un mini-vertice virtuale sull'Intelligenza Artificiale nei successivi sei mesi e ha ospitato il vertice congiunto Corea del Sud - UK in presenza (Seoul, 21-22 maggio 2024). La conclusione del vertice ha visto i partecipanti sostenere e sottoscrivere lo sviluppo di un rapporto indipendente sullo "Stato della conoscenza (relativa all'Intelligenza Artificiale)".

Un punto di vista concordato fra tutti è stato che sino ad oggi si sono lanciati messaggi contrastanti sulle possibilità derivanti da alti rischi e da grandi opportunità [12]. Un risultato è stata la cosiddetta Dichiarazione di Bletchley, che identifica i rischi e gli impegni per consentirne una più agevole analisi, firmata da 28 nazioni tra cui Stati Uniti, Cina e Unione Europea. L'ordine esecutivo rilasciato la settimana stessa dal Presidente degli Stati Uniti sembra avvicinarsi ancor più alla definizione di una vera politica sull'Intelligenza Artificiale, di cui si ritiene il mondo abbia bisogno. Alcuni esperti ritengono che dovremmo andare rapidamente oltre le dichiarazioni d'intento e passare a proposte concrete. Le proposte attuali mancano di dettagli, con l'accordo che vedrà aziende di tecnologia come Google, DeepMind e OpenAl condividere informazioni con un nuovo Al Safety Institute. Anche coloro che sono dubbiosi sul valore della Dichiarazione di Bletchley credono che la proposta di "costruire una comprensione condivisa, scientifica e basata sulle prove dei rischi" sia sensata; tuttavia, ciò evidenzia che siamo di fronte a un altro caso in cui la tecnologia ha superato la legislazione.

L'Italia mantiene l'Intelligenza Artificiale, insieme alla sicurezza digitale, al centro delle discussioni della presidenza italiana del G7: nei giorni fra il 13 e il 15 giugno 2024, il tema è stato ampiamente discusso nel summit tenutosi a Borgo Ignazia, in Puglia. Ha in precedenza ospitato una conferenza internazionale sull'Intelligenza Artificiale a Roma (Rome Conference on AI, Ethics, and the Future of Corporate Governance, 12-13 aprile 2024) per discutere metodi, iniziative e linee guida per garantire che la tecnologia assista, invece di sostituire, i lavoratori, per migliorare le loro condizioni e prospettive. L'obiettivo è stato quello di sviluppare una serie di principi etici da seguire nello sviluppo e nell'implementazione dell'Intelligenza Artificiale, in modo da bilanciare sviluppo tecnologico e preoccupazioni degli individui. L'Italia è inoltre al lavoro per la finalizzazione di un Piano strategico

nazionale per l'Intelligenza Artificiale, e si è impegnata a istituire un fondo specifico per supportare le *start-up* italiane che lavorano nel settore e a collaborare con l'Unione Europea per l'approvazione dell'*Artificial Intelligence Act*.

C'è stata anche attività a livello di ricerca ingegneristica. I ricercatori di Intelligenza Artificiale hanno tenuto la 22ª conferenza internazionale dell'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale (AlxIA 2023) dal 25 al 28 novembre 2023, a Bolzano. La conferenza ha trattato argomenti diversi come apprendimento automatico, ricerca e pianificazione, rappresentazione della conoscenza, ragionamento e argomentazione, soddisfazione e ottimizzazione dei vincoli, elaborazione del linguaggio naturale, robotica e percezione, agenti autonomi e sistemi multi-agente, nonché questioni etiche e culturali nell'Intelligenza Artificiale. Ad esempio, sono stati prodotti articoli che trattano: un approccio basato su Intelligenza Artificiale "Spiegabile" (XAI) per prevedere la fedeltà dei clienti nel settore della vendita al dettaglio; identificazione dei *bias* nel processo di elaborazione dei volti: analisi di algoritmi comuni o allo stato dell'arte utilizzati per tutti i gruppi demografici; studio di classificazione a più variabili per la previsione della sindrome da long covid; manipolazione delle elezioni sui social network con agenti "a singolo picco"; esplorazione di manoscritti medievali attraverso il progetto MENS; gestione ontologica dei dati nell'assistenza sanitaria: il caso del Registro Italiano di Artroplastica.

Come accade nella maggior parte dei settori, le conferenze accademiche sono e saranno una parte importante per il progresso della tecnologia. Tuttavia, i politici, avendo visto l'impatto sociale che l'Intelligenza Artificiale può avere, si trovano di fronte al dilemma di bilanciare gli impatti economici con conseguenze più ampie. Sarà necessaria una collaborazione internazionale sostenuta da numerosi e frequenti Artificial Intelligence Summit.

Conclusioni

In questo articolo abbiamo considerato il percorso evolutivo dell'Intelligenza Artificiale e analizzato alcune conseguenze possibili della sua adozione. L'Intelligenza Artificiale sta facendo progressi molto rapidi e offrirà molte opportunità sia agli individui che alle imprese, ma la sua adozione comporterà rischi significativi. I due principali, fra quelli sinora identificati, sono rappresentati dalle conseguenze per il mercato del lavoro e dalla minaccia "esistenziale" a lungo termine, e al momento piuttosto oscura, costituita dalla cosiddetta "singolarità". L'impatto sul lavoro pro-

mette di essere radicale poiché si prevede che possa intervenire sui lavoratori della conoscenza, in modo analogo agli effetti dell'introduzione della linea di produzione da parte di Henry Ford, che ebbe un impatto sui processi artigianali e manuali associati alla produzione di automobili. La gestione di questi rischi e delle relative esperienze, insieme al tentativo di riguadagnare, in una certa misura, il controllo sulle conseguenze dell'uso dei social media, hanno attratto l'attenzione dei governi.

Ciò ha originato una serie di summit, il primo dei quali è stato l'evento di Bletchley Park nel Regno Unito. Questo approccio richiama alla mente i noti incontri annuali della Conference of the Parties (COP) della convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, tenuti per promuovere azioni volte a mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Il linguaggio è rivoluzionario, ma il tono dei report di settore degli analisti di mercato e delle società di consulenza è molto simile a quello utilizzato per altre innovazioni tecnologiche, rendendo di fatto l'adozione della tecnologia un imperativo commerciale. Ciò lascia i governi con il dilemma di bilanciare le ricadute politiche e sociali con il benessere economico generato. Un tale conflitto è stato portato all'attenzione del pubblico globale dal recente sciopero dei creativi di Hollywood.

Nell'affrontare le incognite della rivoluzione dell'Intelligenza Artificiale, sembra che si faccia ricorso per lo più a strategie tradizionali, dal successo tutt'altro che assicurato. Forse è giunto il

momento di cercare nuovi strumenti per un controllo più efficace della situazione: per analogia, il controllo sulla situazione originata dalla pandemia da virus SARS-CoV-2 è stato raggiunto combinando metodi tradizionali, misure economiche innovative e il rapido sviluppo di vaccini resi possibili dal sequenziamento genomico. Potrebbe essere necessario adottare una linea di pensiero a questo livello di complessità anche per l'Intelligenza Artificiale.

In Europa, tenere il passo con lo sviluppo degli Stati Uniti e della Cina nel campo dell'Intelligenza Artificiale è un problema. Questa circostanza, e i suoi impatti sugli investimenti, la fidelizzazione dei talenti e il consolidamento dei più importanti attori del settore, non sono aspetti esclusivi di questo ambito tecnologico e sottolineano una caratteristica di fondo dell'approccio europeo, che merita di essere studiata più a fondo. Il vero dilemma è che l'intervento dei governi è visto come inibitore dell'innovazione e quindi del successo commerciale, mettendo a rischio la crescita economica. Tuttavia, i governi e la società si ritrovano con la prospettiva di farsi carico sia del costo dei rischi, sia dei costi associati (le cosiddette esternalità, in termini economici), mentre le aziende accumulano i profitti. Nell'ambito del cambiamento climatico, il concetto di "principi di contabilità dei costi reali" sta guadagnando terreno, e sembrano esserci le premesse per una sua applicazione più ampia nei settori dell'Information Technology (IT) e dell'Intelligenza Artificiale (IA).

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Ugolini, E. Smith: L'intelligenza Artificiale nell'Era della Post-Informazione, AEIT, n. 1-2, gennaio-febbraio 2020, pp. 40-49.
- [2] What's the future of generative Al? An early view in 15 charts, McKinsey, 25 agosto 2023.
- [3] N. Bostrom: Superintelligence Paths, Dangers, Strategies, Oxford University Press, Oxford, 2014.
- [4] M.A. Boden: Artificial Intelligence A Very Short Introduction, Oxford University Press, Oxford, 2018.
- [5] Osservatorio Artificial Intelligence Politecnico di Milano: Artificial Intelligence: una prima fotografia del mercato italiano, Rapporto 2018-19, 23 aprile 2019.
- [6] J. Bloom: Automation could replace 1.5 million jobs, says ONS, BBC, 25 marzo 2019.
- [7] M. Chui, L. Yee, B. Hall, A. Singla, A. Sukharevsky: McKinsey Survey: The state of Al in 2023: Generative Al's breakout year, 1 agosto 2023.
- [8] I. Bakhtourine, T. Bannerman, S. Bourton et al.: Leveraging generative Al in Europe: The opportunities and challenges, McKinsey, 15 novembre 2023.
- [9] D. Castro, M. McLaughlin, W. Chivot: Who Is Winning the Al Race: China, the EU or the United States?, Center for Data Innovation, 19 agosto 2019.
- [10] N. Scoble-Williams, D. Sinti, J.B. Calamai, B. Bringmann, L. Shact, G. Vert, T. Murphy, S. Cantrell: *Generative AI and the future of work*, Deloitte AI Institute, 2023.
- [11] Chair's Summary of the AI Safety Summit 2023, Bletchley Park: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6543e0b61f1a 60000d360d2b/aiss-chair-statement.pdf
- [12] M. Sparkes: What did the UK's Al Safety Summit actually achieve, New Scientist, vol. 3464, 11 novembre 2023, p. 11.

L'IA per aumentare la comprensione del business

Fabrizio Fontana Head of Pre-Sales, ORS

Davide Giraudo Market Line Energy Manager, ORS

In modelli di business l'Intelligenza Artificiale (IA) diventa lo strumento per nuotare in profondità in quell'oceano di dati, comprendendo, analizzando e mappando le informazioni tramite algoritmi costruiti secondo le proprie esigenze, con un margine di errore minimo o prossimo allo zero

rna delle principali criticità con cui i mercati si sono risvegliati all'indomani dell'emergenza pandemica e geopolitica degli ultimi anni ha coinvolto le catene del valore di ogni settore: all'improvviso il rifornimento di materie prime, ricambi e prodotti non era più scontato. Al tempo stesso, valutare la credibilità e l'affidabilità di fornitori e clienti è diventato molto più complesso, con tempi e costi lievitati a dismisura. Ancora oggi, le catene di fornitura e la difficoltà di analisi impattano in modo evidente su redditività e operatività delle imprese. Una incertezza causata anche da sistemi di previsione basati sulla semplice storicità dei dati, che sono risultati a un tratto inefficaci e inesatti.

Questo scenario ha generato una spinta all'evoluzione tecnologica che avviene raramente con tale intensità e ha riportato la comprensione dei dati al centro delle strategie di ogni business.

Nuotare in un oceano di dati

Immaginiamo i database, i Big Data o i più recen-

ti data lakehouse oggi in possesso come una sorta di deep web del business. Dati che per anni molte aziende accumulano senza una reale capacità di analisi e modellazione. Con la Business Intelligence (BI) tradizionale possiamo scalfire la superficie di queste informazioni e intravedere potenziali azioni e leve strategiche da adottare. Qui, l'esperienza del manager e dell'imprenditore, il loro intuito e capacità di osservazione, fanno la differenza.

Per andare oltre, l'Intelligenza Artificiale (Al) diventa lo strumento per nuotare in profondità in quell'oceano di dati, comprendendo, analizzando e mappando le informazioni tramite algoritmi costruiti secondo le proprie esigenze, con un margine di errore minimo o prossimo allo zero.

Un potenziale che è facile immaginare, con cui ottenere risposte in pochi minuti o spesso in *real-ti-me*, interrogando grandi quantità di dati al secondo e non più in giorni e ore. Uno strumento che può aumentare la capacità di visione dei top manager più evoluti, così come supportare l'operatività quotidiana, a maggior ragione quando può poggiarsi a modelli di *data quality* e *data governance*, che sono alla base di una corretta cultura del dato.

Sprigionare il potere dei modelli *data driven*

Un accurato sistema di previsione, basato sull'acquisizione di dati di qualità, omogenei a prescindere dalla fonte e dalla quantità di flussi da cui provengono (IoT, Social Media, ERP, CRM, ecc.), diventa quindi fondamentale per ridurre al minimo le inefficienze e l'impatto sui costi. Qui, gli algoritmi di AI, machine learning e optimization sono imprescindibili per concretizzare i vantaggi di un modello data-driven valido e scalabile. Ad esempio, nel retail e manufacturing, dove la valutazione della domanda per modelli e tipologie di prodotto abilita una programmazione ottimale della logistica e della distribuzione, ed evita costose giacen-

Intelligenza artificiale e impresa

ze di magazzino o merce invenduta nei negozi, garantendo al tempo stesso la disponibilità necessaria in ogni punto vendita.

La capacità di prevedere e di guidare i consumi è cruciale anche in un altro mercato che ha accusato l'impatto della crisi, e che è fondamentale nell'ambito della transizione verso la sostenibilità: quello dell'energia. Per gli operatori di questo settore, razionalizzare la distribuzione e l'allocazione dell'energia, anche per quanto riguarda le fonti rinnovabili, è infatti diventato essenziale in termini di gestione dei costi ed efficientamento. Un'ottimizzazione che porta vantaggi anche all'utente finale, dato che le inefficienze del sistema distributivo impattano pure sui consumatori, a cui possono venire addebitati in bolletta i cosiddetti oneri di sbilanciamento dovuti proprio allo scostamento delle previsioni di consumo.

Nella stessa logica, in ambito finanziario, l'analisi del rischio creditizio in momenti di fragilità del sistema economico e industriale è cruciale per evitare l'incremento delle sofferenze. E, in una fase successiva, una gestione efficiente dei *Non Performing Loan* (NPL) consente di ottimizzare il recupero dei crediti. Sempre in ambito finance, ma nel campo del *wealth management*, l'analisi dei comportamenti delle persone, dei loro portafogli di investimento e delle transazioni finanziarie, permette di affinare la consulenza profilando-la sulla base delle esigenze personali.

Ma i benefici di questa potente capacità previsionale riguardano anche il mondo della pubblica amministrazione, sia in termini di gestione dell'approvvigionamento che di fruizione dei servizi pubblici. Basti pensare all'importanza che avrebbe, per un Paese a elevato tasso di invecchiamento come l'Italia, la possibilità di prevedere la diffusione delle patologie, le necessità di assistenza connesse, il loro impatto e la distribuzione sul territorio. Per non parlare del concetto stesso di Smart City, basato sulla capacità di sviluppare modelli digitali (digital-twin) delle città in cui viviamo.

Cosa hanno in comune tutti questi esempi? La capacità di sottoporre i dati agli algoritmi di Al che meglio si adattano al singolo contesto, ma, cosa che può apparire sorprendente, che spesso sono molto simili tra loro pur in domini completamente differenti. Ed è proprio dai dati che parte tutto: quell'incredibile massa di informazioni, derivanti da operatività, ordini, forniture, comportamento delle *supply chain* e dei consumatori, documenti, immagini e sensoristiche che ogni azienda ha a disposizione.

Se la data analysis esiste ormai da diversi decenni, fino a ieri le variabili di cui dovevano tenere conto le imprese nella loro analisi erano definite e governabili. Oggi non è più così: la complessità e la velocità sono aumentate, i cambiamenti sono spesso repentini e difficilmente prevedibili. I dati e la capacità predittiva e interpretativa che ne derivano diventano quindi fondamentali in chiave competitiva, sia per rendere più efficiente il processo produttivo e distributivo, a tutto beneficio della sostenibilità, che per migliorare l'offerta, tagliandola sulle esigenze del cliente.

Il futuro che l'Al apre

Siamo entrati in quella che viene definita Data Intelligence. Una Al che parte dalla ribalta mediatica dei motori conversazionali come ChatGPT e Bard - ora Gemini (di Google), presi dai più come un gioco con cui familiarizzare, ma che hanno significati e impatti molto più profondi. Basti pensare agli aspetti economici e finanziari che sono in ballo. Da un lato l'investimento di oltre 20 miliardi di dollari di Microsoft in Open Al (ChatGPT) per potenziare la ricerca di Bing, che contemporaneamente si muove in Francia con la startup Mistral Al. Dall'altro lato c'è la (potenziale) causa con il New York Times che ha vietato l'accesso ai suoi archivi alla famosa chatbot, in quanto potrebbe generare articoli che violano la proprietà intellettuale dei giornalisti (tematica tutta da chiarire).

Ancora più facile immaginare il futuro a cui andiamo incontro se guardiamo alla crescita e ai risultati dei modelli generativi come Midjourney. Un futuro in rapida ascesa che con l'annuncio di Sora (OpenAI), capace di creare brevi video estremamente realistici partendo da delle istruzioni testuali (text-to-video) pone l'asticella oltre l'immaginabile in termini di opportunità e rischi. Per questo ci rendiamo conto quanto sia e sarà predominante il tema dell'Al su tutti i tavoli globali.

Nel business, le forme di intelligenza artificiale saranno sempre più pervasive, potenti e verticali, basate su modelli specifici, in grado di affrontare e risolvere problemi complessi, con strumenti controllati e controllabili.

Insomma, fortunatamente un'Al che non fa paura e non mette ansia, ma che al contrario sa fornire alle aziende risposte concrete e utili per supportare la crescita delle risorse, grazie all'ottimizzazione e all'efficientamento di qualsiasi processo aziendale. Non è un caso che questa tipologia - l'Intelligent Data Processing - rappresenti quasi un terzo del mercato italiano dell'intelligenza artificiale, che ha registrato nel 2022 una crescita record del 32% raggiungendo i 500 milioni di euro, secondo i dati dell'Osservatorio Artificial Intelligence del Politecnico di Milano. Un'evoluzione destinata a proseguire, se è vero che da qui al 2025 si registrerà un incremento medio annuo degli investimenti pari al 22%, stando alle stime di Anitec-Assinform (figura 1).

Ma lo sviluppo del mercato potrà anche essere superiore se l'uso intelligente dei dati si allargherà a tutto il sistema industriale. Oggi, infatti, il 61% delle grandi imprese italiane ha avviato un progetto di Al, quota che scende però al 15% tra le piccole e medie imprese (ma era ferma al 6% nel 2021). La diffusione di questa tecnologia, ormai non più di frontiera, dipenderà da due fattori: l'affermazione tra le PMI, che alimenterà la nascita di nuovi progetti, e la capacità dei produttori di software di dotare di Al le soluzioni di cui dispongono, per raccogliere le nuove sfide che il mercato impone.

L'Al generativa

L'Al generativa meriterebbe un racconto a parte. Una tecnologia rivoluzionaria che ha guadagnato una notevole attenzione negli ultimi anni. Essa implica l'uso di algoritmi, i quali presentano due peculiarità rispetto alle controparti precedentemente utilizzate, da un lato la maggiore elasticità e flessibilità nel comprendere determinate informazioni, dall'altro - in modo più dirompente - la possibilità di generare nuovi dati a seguito di un "addestramento", consentendo così alla macchina delle azioni prima ritenute di esclusiva competenza umana.

Per provare a spiegare più nel dettaglio il fenomeno dell'Al generativa possiamo partire dal modello OSI, un modello concettuale che descrive come tutte le reti di computer dovrebbero comunicare tra loro (figura 2). Tale modello è suddiviso in sette livelli distinti, ognuno dei quali fornisce una specifica funzionalità nel processo di comunicazione dati, a partire dallo strato fisico che concerne la parte di hardware della macchina fino allo strato applicativo che va a descrivere la modalità con cui noi interagiamo con la macchina.

Con l'IA generativa viene aggiunto un nuovo livello, il linguaggio umano, il quale può consentire di interagire con alcune applicazioni anche tramite il dialogo, risulterà quindi sufficiente saper descrivere il proprio problema all'applicazione, senza dover conoscere le azioni o i processi necessari a risolverlo.

L'aggiunta di tale strato ha quindi portato a una nuova percezione di utilità dell'AI, seguita quindi da una maggiore accoglienza dovuta all'ulteriore step di avvicinamento tra macchina ed essere umano.

Figura 1 ►
Differenza tra le
versioni v.1 e v.5.2 di
Midjourney
Fonte: Vincenzo Cosenza



Midjourney v. 1 (febbraio 2022)



Midjourney v. 5.2 (giugno 2023)

Per fare un esempio, immaginiamo come in ambito fotografico non sarà solo possibile rimandare ad un tool di correzione automatica la saturazione di una foto, ma viene superato il concetto stesso di conoscenza di una interfaccia grafica. Non dovrò più conoscere il programma, mi basterà chiedere all'Al la funzione.

- 8. HUMAN LANGUAGE
- 7. APPLICATION
- 6. PRESENTATION
- 5. SESSION
- 4. TRANSPORT
- 3. NETWORK
- 2. DATA
- 1. PHYSICAL

▲ Figura 2

I sette livelli del modello OSI - Fonte: Dedagroup SpA

Una nuova tecnologia

L'Al generativa è stata inizialmente studiata e collocata come nuova area dell'Al, affiancandola a Natural Language Processing, alla Computer Vision e all'Intelligent Data Processing, tre aree dell'Al al centro del business anche in Dedagroup (con le sue società Dedagroup Business Solutions e ORS).

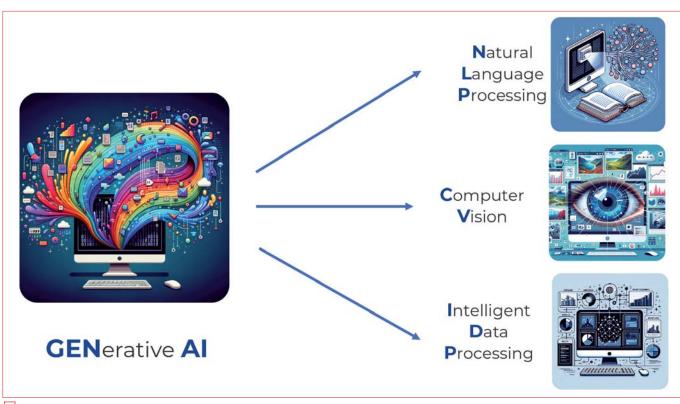
Ma per noi, questa non può essere considerata semplicemente come un'area ma va a rappresentare una nuova tecnologia capace di sviluppare le altre.

L'Al generativa consente quindi sia di applicare gli stessi processi precedentemente utilizzati con metodi più efficienti ed efficaci in determinate casistiche, ma anche di implementare nuova funzionalità alle applicazioni in ciascuna delle branche oggetto di lavoro (figura 3).

Benefici dell'adozione della AI generativa

L'integrazione di nuove funzionalità nelle soluzioni esistenti e una migliore applicazione di esse rappresenta il primo cruciale beneficio della Al generativa.

Essendo questi modelli pre-addestrati su un'ingente quantità di dati generica, risultano molto più abili a comprendere contesti differenti di default,



▲ Figura 3

L'Al generativa - Fonte: Dedagroup SpA

dimostrando quindi un'elevata versatilità e flessibilità questa ottima capacità a generalizzare porta in buona parte dei casi porta a eliminare l'addestramento, la fase più complicata e onerosa specificatamente per ciò che concerne la pulizia e l'etichettatura dei dati.

La versatilità viene quindi ritrovata nella possibilità di gestire task differenti con un unico modello senza la necessità di specifici addestramenti o architetture quali, ad esempio, la traduzione e la classificazione per argomenti, le quali precedentemente richiedevano modelli distinti.

Tale evoluzione sta portando a significativi progressi nello sviluppo di assistenti virtuali sempre più realistici e consapevoli. Questi sistemi dispongono di una migliorata capacità di generazione di testo coerente e di una memoria a breve termine che consente loro di mantenere il contesto e di non dimenticare gli step precedenti della conversazione. Così come in task di sintesi, che oggi rappresentano una delle principali attività di questi modelli, i cui risultati per articolarità e chiarezza risultano quasi incomparabili alle versioni degli anni precedenti (figura 4).

Ultimo punto è rappresentato dall'elaborazione multimodale, che si occupa dell'analisi e della comprensione di dati provenienti da diverse modalità sensoriali, come testo, immagini, audio e video. Questo approccio consente ai sistemi di elaborare e comprendere informazioni provenienti da fonti eterogenee, integrando e sintetizzando dati provenienti da modalità diverse per ottenere una comprensione più completa e ricca del contesto.

Una cultura del dato diffusa per guidare Al

Facciamo un passo indietro, perché i temi che sembra possibile toccare appaiono infiniti e la grande capacità di calcolo trova limiti sono nella fantasia di chi progetta. E rimangono questioni di fondo legate alle incognite etiche sull'utilizzo dei dati, all'affidabilità nel loro trattamento in termini di inclusione e sostenibilità, di sicurezza e di privacy.

Ma quando parliamo di business per Dedagroup, Al e *Machine Learning* possono realizzare un vero e proprio *Digital Twin* delle imprese, capace di mappare in maniera integrata tutti i processi con l'applicazione e la crescita di algoritmi di Intelligenza Artificiale dai mercati finanziari e produttivi, fino alla distribuzione logistica e l'energia. Una panoramica sulle soluzioni per la gestione dell'energia, con le previsioni del carico, le simulazioni per il *forecasting* e l'ottimizzazione di sistemi energetici per rispondere ai restringenti parametri di calcolo delle previsioni.

In quest'ottica, abbiamo sviluppato la Deda Data Platform, un ecosistema di soluzioni tecnologiche, best practice e competenze per abilitare la governance dei dati aziendali e la loro trasformazione in "intelligenza" per l'azienda. È questa l'Al che risponde alle esigenze concrete del business: un'Al che si fonda sulla possibilità di integrare potenzialità computazionale e competenze trasversali, indispensabili per alimentare un processo interpretativo dei dati che risulti in una capacità previsionale sempre più precisa.

Benefici sui vecchi task:

- · Comprensione del Contesto
- Eliminazione delle attività di training (data processing e annotazione)
- · Versatilità e flessibilità
- Traduzione



Figura 4
Vecchi e nuovi task Al

Nuovi task:

- · Generazione di testo coerente
- Mantenimento del contesto
- Sintesi
- Elaborazione multimodale



Ecco perché è così importante che si diffonda, tra le persone e presso le aziende, una vera e propria cultura del dato, intesa come consapevo-lezza delle potenzialità che i dati racchiudono, ma anche come capacità di selezionarli, integrarli e interpretarli nel rispetto di principi etici, per trasformarli in valore per il business.

Proprio in questi mesi, l'Europa si sta dotando di un Al Act che punta a definire un sistema capace di regolare e governare l'uso dell'Al, in un'ottica di tutela e trasparenza. Perché è l'intelligenza umana a guidare quella artificiale, non il contrario. E l'Al può fornire buone risposte solo se le si forniscono i dati corretti e le si pongono le giuste domande. Per adottare un approccio consapevole e socialmente sostenibile all'intelligenza artificiale, è indispensabile continuare a lavorare in questa direzione.

L'Al mette ordine nel mercato dell'energia: tra prezzi ad alta volatilità, scenari geopolitici e nuove dinamiche gli operatori dell'energia faticano a basare le proprie decisioni su storici attendibili.

Nel mercato dell'energia, l'Al arriva a supporto di quella che sembra una tempesta perfetta. Sono in pochi a ricordarselo perché tendiamo a rimuovere velocemente tutto ciò che riguarda il periodo del lockdown. Ma c'è stato un momento, sia pur brevissimo, in cui i prezzi del petrolio sono diventati negativi: chi voleva acquistare greggio veniva pagato. Un paradosso dettato da un mercato che si trovava a fare i conti con circostanze anomale e mai viste. Da un giorno all'altro il mondo si era trovato chiuso per pandemia, con le persone bloccate in casa e gran parte del sistema industriale fermo. Il che si traduceva in una netta contrazione dei consumi energetici e, di conseguenza, in una lievitazione delle scorte petrolifere. Ecco perché chi possedeva greggio era ben disposto a pagare pur di liberarsene: i depositi per lo stoccaggio del petrolio, infatti. costano.

Una situazione contingente davvero straordinaria, che si è poi normalizzata quando è diventato chiaro che l'emergenza pandemica avrebbe avuto una fine e che, in ogni caso, non avrebbe bloccato l'attività economica globale. Ma nessuno poteva prevedere quello che sarebbe successo nei mesi successivi: il cigno nero del COVID-19 non era destinato a rimanere isolato. Anzi, in particolare sul fronte energetico, si preparava quella che ha assunto con il passare del tempo la forma di una tempesta perfetta. Nel febbraio 2022 l'invasione russa dell'Ucraina ha

trasformato lo scenario internazionale: di colpo la componente geopolitica diventava un fattore cruciale per i mercati globali, già messi in tensione dai colli di bottiglia delle catene di fornitura. I timori legati alle conseguenze del conflitto in Ucraina sull'approvvigionamento energetico per l'Europa hanno fatto impazzire il mercato, con prezzi che hanno toccato massimi storici a 700 euro/MWh proprio in coincidenza con l'invasione russa.

Che conseguenze ha avuto tutto ciò sugli operatori della filiera energetica? Le improvvise - e fino a quel momento non immaginabili - oscillazioni nei prezzi dell'energia hanno spinto gli attori del mondo dell'energia, dai produttori ai distributori fino alle società di vendita, a adattare il proprio business all'andamento di un mercato in cui la volatilità era diventata la normalità. Le società di vendita hanno così modificato la propria strategia commerciale spostando rapidamente il baricentro dalle offerte fisse a quelle variabili, legate all'andamento dei prezzi del mercato, con l'obiettivo di mettersi al riparo dalle oscillazioni anomale. Da parte loro, i consumatori hanno cercato di ottimizzare i propri consumi per contrastare gli aumenti.

Tutto questo ha reso più complicato prevedere l'andamento dei consumi e dei prezzi, non più supportati da uno storico attendibile. Fino al 2019 i driver delle previsioni erano abbastanza semplici, dato che i consumi dipendevano principalmente dalle condizioni meteo, dallo storico e dall'andamento della produzione industriale. Oggi invece la situazione è più complessa.

Il mondo dell'energia sta cambiando

Agli eventi contingenti appena descritti si sommano alcune trasformazioni più strutturali. In primis, la transizione verso le fonti rinnovabili, che neali ultimi anni ha subito una forte accelerazione. Le rilevazioni del Gestore dei servizi energetici (GSE) evidenziano un incremento del 161% nel numero di impianti fotovoltaici e del 165% nella potenza installata nel corso del 2022 rispetto all'anno precedente. Questa tendenza modificherà inevitabilmente gli equilibri e i processi nel mercato dell'energia, anche perché, mentre il gas può essere conservato e utilizzato in base alle necessità del momento, l'energia da fonti rinnovabili non ha trovato ancora soluzioni di stoccaggio efficienti e ha un meccanismo dominato dal consumo immediato, costringendo la produzione a tenere il passo dei consumi.

A rendere più complicate le valutazioni in ambito energetico, contribuisce in maniera determinante anche il quadro regolamentare, in fase di rapido cambiamento. Il passaggio ai contatori 2G e la transizione a un periodo rilevante ridotto al quarto d'ora hanno portato e porteranno ad una rivoluzione copernicana nel rilevamento e nella raccolta dati. Avere accesso a queste informazioni permetterà agli utenti di gestire al meglio i propri consumi, mentre le società di vendita potranno beneficiare di dati sempre aggiornati per adeguare le tariffe, classificare la propria clientela e creare incentivi mirati a diverse categorie di clienti. Tuttavia, ciò comporterà maggiori difficoltà nella gestione e nella valorizzazione dei dati lungo tutta la filiera, che dovranno essere supportate da sistemi tecnologici in grado di controllare ed estrarre valore da grandi moli di informazioni, come l'Intelligenza Artificiale.

Il nuovo regolamento TIDE (Testo Integrato di Dispacciamento Elettrico), inoltre, aprirà la pista per una crescente collaborazione fra gli stati europei, completando l'integrazione del mercato italiano con quelli degli altri Paesi, nell'ottica di creare un sistema di dispacciamento resiliente e in grado di superare, almeno in parte, il problema di stoccaggio dell'energia prodotta da fonti rinnovabili.

Come se non bastasse è arrivato anche il cambiamento climatico a dispiegare i suoi effetti, come stiamo sperimentando anche in Italia. A influenzare i consumi è tanto l'aumento delle temperature quanto l'estrema variabilità meteorologica. Il luogo comune del "non esistono più le stagioni di una volta" cela l'imprevedibilità del clima e l'alternanza di temperature anomale nel corso dell'anno che condizionano la domanda di energia da parte dei consumatori.

Una bussola per orientarsi: il supporto dell'Al

La gestione del dispacciamento e dell'approvvigionamento dell'energia, per sua natura basata sulle stime e sul bilanciamento tra produzione, mercato e consumi, subisce questa situazione di forte trasformazione e profonda instabilità. A risentirne non sono solo le strategie di business degli operatori del settore, e quelle di valutazione dei portafogli energetici, ma anche la qualità e continuità del servizio di fornitura. L'equilibrio tra energia prodotta e consumata è infatti cruciale per fare sì che non si verifichino anomalie o interruzioni durante l'erogazione, e la sua compromissione può portare a costosi oneri per le società di vendita.

Per gli operatori dell'energia diventa quindi fondamentale poter contare su previsioni quanto più accurate e affidabili, anche e soprattutto in situazioni di particolare incertezza.

La focalizzazione sui temi predittivi, di bilanciamento, ottimizzazione e valutazione del portafoglio energetico diventa un fattore competitivo determinante per gli attori del mercato, in termini di massimizzazione dei margini, ottimizzazione degli approvvigionamenti e, più in generale, di posizionamento consapevole del proprio portafoglio e del proprio business, con l'adattamento anche a strategie dinamiche di *pricing*.

Ecco, quindi, che entra in campo l'Al. Anche in una situazione come quella attuale, in cui il comportamento storico del mercato non è più un riferimento pienamente attendibile, l'Al permette di analizzare enormi masse di dati e di ricercare le relazioni più deboli e nascoste in ottica predittiva. Noi di ORS, che da anni siamo attivi sul mercato dell'energia, abbiamo messo a punto una soluzione di previsione e ottimizzazione dei portafogli energetici per le società di vendita, basata su una libreria di modelli proprietari che permettono oggi, in un contesto così complesso e interconnesso, di raggiungere elevatissime performance con margini di errore che non vanno oltre il 3%.

La soluzione è basata su un sistema di clusterizzazione qualitativa e quantitativa dei consumi e delle fasce orarie, che integra insiemi di clienti che hanno comportamenti comparabili con l'andamento del mercato e le condizioni meteorologiche.

Oltre a sfruttare gli scenari predittivi così ricavati in ottica di ottimizzazione, le società di vendita possono metterli al servizio anche dell'utente finale attraverso appositi strumenti in-app. L'obiettivo? Migliorarne la consapevolezza e fornire consigli concreti per rendere i loro consumi più sostenibili sia dal punto di vista economico che ambientale.

Ma non è tutto. La nostra soluzione, integrandosi con la piattaforma di un'altra società di Deda - la Energy Management Services - Core Platform di Deda Next - affianca i nostri clienti non solo nelle decisioni di ottimizzazione dei portafogli nel breve termine, ma anche nelle decisioni strategiche di medio e lungo periodo. Un supporto cruciale per sapersi orientare in un mercato che nei prossimi anni andrà incontro a dinamiche nuove e complesse, a cui il nostro Gruppo è impegnato a rispondere con soluzioni sempre più avanzate.

L'IA per la gestione e l'ottimizzazione della rete di trasmissione

Paolo Cattaneo, Andrea Necci, Marco Forteleoni, Marco Pietrucci, Marco Di Serafino, Silvia Moroni Terna

L'Intelligenza Artificiale (IA) si configura come una leva strategica per affrontare la crescente complessità del sistema elettrico. In questo articolo si esplorano le principali applicazioni dell'IA implementate da Terna, le innovazioni introdotte per migliorare la gestione delle infrastrutture e i benefici strategici ottenuti, con un focus sulla visione futura

I Piano Industriale 2024-2028 di Terna rappresenta una visione ambiziosa per il futuro della rete di trasmissione nazionale, delineando un percorso di investimenti significativi in tecnologie digitali e innovative. In particolare, l'Intelligenza Artificiale (IA) si configura come una leva strategica per affrontare la crescente complessità del sistema elettrico, garantendo al contempo efficienza, sicurezza e sostenibilità. Con un budget di circa 2 miliardi di euro destinati all'innovazione e alla digitalizzazione, Terna punta a consolidare il proprio ruolo di abilitatore della transizione energetica e digitale, affrontando le sfide poste dall'integrazione delle fonti rinnovabili, dalla necessità di una maggiore resilienza e dalla gestione sostenibile delle infrastrutture.

In un contesto caratterizzato da rapidi cambiamenti climatici, elettrificazione dei consumi e crescita esponenziale delle fonti rinnovabili, la rete di trasmissione nazionale deve evolversi per rispondere a esigenze sempre più complesse. Per raggiungere questi obiettivi, Terna ha identificato cinque aree strategiche principali.

- a. Sviluppo della rete infrastrutturale: incremento della capacità di trasmissione mediante investimenti strategici per l'espansione dei collegamenti transfrontalieri, il rafforzamento delle connessioni tra il Sud e il Nord del Paese e all'integrazione delle energie rinnovabili.
- **b.** Digitalizzazione e innovazione tecnologica: adozione di strumenti avanzati, come Digital Twin, IoT e machine learning, per ottimizzare la gestione e la manutenzione della rete.
- c. Sostenibilità ambientale: minimizzazione dell'impatto ambientale delle infrastrutture mediante soluzioni innovative, come materiali ecosostenibili e tecniche avanzate per la conservazione del patrimonio archeologico.
- d. Resilienza e sicurezza: potenziamento della risposta agli eventi estremi attraverso la manutenzione predittiva e la gestione proattiva delle emergenze.
- e. Formazione e sviluppo delle competenze: programmi di formazione per sviluppare competenze digitali avanzate e promuovere un approccio innovativo alla gestione delle infrastrutture.

Il Piano mira a posizionare Terna come leader nell'integrazione tra transizione energetica e digitale, consolidando il suo ruolo di protagonista nella decarbonizzazione e nella sostenibilità. In questo articolo, esploreremo le principali applicazioni dell'IA implementate da Terna, le innovazioni introdotte per migliorare la gestione delle infrastrutture e i benefici strategici ottenuti, con un focus sulle sfide affrontate e sulla visione futura.

Applicazioni dell'IA nella rete di trasmissione

La gestione della rete di trasmissione nazionale è un compito complesso e strategico, reso ancora

Intelligenza artificiale e impresa

più sfidante dalla crescente integrazione delle fonti rinnovabili, dall'espansione delle infrastrutture e dall'incremento esponenziale dei volumi di dati generati, che richiedono soluzioni avanzate di monitoraggio, analisi e gestione. Per affrontare queste sfide, Terna ha implementato una serie di soluzioni basate sull'IA che migliorano l'efficienza operativa, riducono i costi e rafforzano la sostenibilità del sistema. Questo capitolo esplora alcune delle principali applicazioni dell'IA nei processi di monitoraggio, manutenzione e pianificazione delle infrastrutture, dimostrando come la tecnologia possa trasformare le attività operative e contribuire alla resilienza della rete.

Rilevamento automatico di guasti

Le attività di monitoraggio e manutenzione della rete di trasmissione nazionale, che si estende per oltre 75.000 km, richiedono tecnologie all'avanguardia per garantire continuità e affidabilità. Terna ha introdotto una flotta di elicotteri equipaggiati con sensori LIDAR (*Light Detection and Ranging*) e fotocamere ad alta risoluzione per effetuare ispezioni dettagliate delle linee elettriche. Il LIDAR è una tecnologia basata sull'uso di impulsi laser per misurare con estrema precisione la distanza di un oggetto, creando mappe tridimensio-

nali ad alta risoluzione della rete e dell'ambiente circostante (figura 1).

I dati raccolti vengono elaborati da algoritmi di machine learning in grado di identificare automaticamente anomalie e guasti, migliorando l'efficienza delle ispezioni e riducendo significativamente i costi operativi.

Questa tecnologia consente di:

- prevenire guasti critici attraverso il rilevamento tempestivo di anomalie;
- ridurre i tempi di intervento, ottimizzando le risorse e migliorando la sicurezza operativa;
- ottimizzare la pianificazione della manutenzione, minimizzando gli interventi reattivi.

Assistente di cantiere

Il programma "Assistente Cantiere" utilizza l'IA per monitorare e gestire le attività nei cantieri da remoto. Videocamere autonome alimentate da pannelli solari raccolgono dati visivi che vengono analizzati da algoritmi avanzati per valutare lo stato di avanzamento dei lavori. Durante la sperimentazione presso la stazione elettrica di Malo (VI), è stato dimostrato come l'uso delle videocamere aumenti l'efficienza operativa e riduca le ne-



■ Figura 1

Elicottero Terna: monitoraggio avanzato con Al e tecnologia LIDAR

cessità di ispezione in sito (figura 2). La sperimentazione proseguirà con l'integrazione dell'utilizzo di droni a guida autonoma, ampliando così le potenzialità e l'efficacia del progetto.

Progetto Orion

Orion sfrutta l'intelligenza artificiale per rilevare interferenze, dovute a edificati abusivi, nell'infrastruttura elettrica tramite immagini satellitari a bassa risoluzione. Grazie all'utilizzo di algoritmi avanzati, la qualità delle immagini viene ottimizzata, consentendo di identificare con precisione strutture antropiche presenti all'interno delle fasce di servitù della rete. Questa analisi automatizzata permetterà a Terna di ottimizzare il processo di monitoraggio degli asset, intervenendo tempestivamente per prevenire potenziali rischi (figura 3).

L'integrazione di questa tecnologia innovativa con i metodi di monitoraggio tradizionali consentirà un significativo incremento sia dell'efficacia che della rapidità degli interventi, garantendo un livello superiore di sicurezza e affidabilità dell'infrastruttura.

Archeologia 2.0

Il progetto "Archeologia 2.0" sfrutta avanzati algoritmi di *machine learning* per analizzare immagini aeree con l'obiettivo di identificare tracce archeologiche con un'accuratezza di oltre l'80%. Grazie alla generazione di mappe di calore dettagliate, è possibile ottimizzare le analisi

preventive dei siti destinati a futuri sviluppi e ridurre i tempi per le attività legate all'ottenimento delle autorizzazioni, relative alla costruzione di nuove infrastrutture (figura 4).

Questa soluzione innovativa potrà non solo accelerare i processi decisionali, ma anche contribuire alla conservazione del patrimonio culturale, integrando la tutela archeologica con le esigenze di sviluppo infrastrutturale in modo sostenibile ed efficiente.

Equigy

La transizione energetica richiede soluzioni innovative per ottimizzare l'uso delle risorse flessibili nella gestione del sistema elettrico. In questo contesto, Terna partecipa allo sviluppo di Equigy, una piattaforma collaborativa europea che rappresenta un passo avanti nell'integrazione delle risorse distribuite nei mercati dell'energia e dei servizi ancillari.

Equigy, sviluppata in collaborazione con diversi gestori di rete di trasmissione (TSO) europei, introduce la *Crowd Balancing Platform* - CBP, un'infrastruttura digitale che facilita la partecipazione di risorse distribuite - come veicoli elettrici, sistemi di accumulo domestico e pompe di calore - ai mercati elettrici. L'obiettivo è armonizzare le specificità dei mercati nazionali e fornire strumenti adatti alla gestione aggregata di risorse di piccola taglia da



▲ Figura 2

Sperimentazione IA di Terna per il monitoraggio avanzato nella stazione elettrica di Malo

parte dei *Balancing Service Provider* - BSP, operatori come aggregatori e fornitori di servizi energetici che mettono a disposizione risorse flessibili per bilanciare domanda e offerta di energia, garantendo la stabilità del sistema elettrico. Questa piattaforma può contribuire a migliorare l'efficienza complessiva del sistema, supportando la gestione

della crescente complessità operativa legata all'integrazione delle fonti rinnovabili.

Terna gioca un ruolo chiave nell'implementazione di Equigy in Italia, promuovendo l'adozione della CBP e collaborando con costruttori di tecnologie energetiche, aggregatori e technology provider.



Figura 3

Orion: Analisi avanzata di interferenze con immagini satellitari



Figura 4

Archeologia 2.0: mappa
di calore per l'analisi
del patrimonio archeologico

L'obiettivo è favorire la Grid Readiness di soluzioni per la mobilità elettrica, il comfort termico e l'accumulo, oltre a stimolare lo sviluppo di modelli commerciali che rendano l'uso dell'energia più coerente con le esigenze del sistema elettrico.

Le iniziative legate a Equigy mirano a trasformare i consumatori in protagonisti attivi della transizione energetica, abilitando nuovi modelli di partecipazione e contribuendo a un sistema elettrico più sostenibile, flessibile e resiliente (figura 5).

Manutenzione predittiva e automazione

La manutenzione predittiva rappresenta un pilastro fondamentale per garantire l'efficienza operativa e la resilienza della rete. Grazie all'integrazione di sensori IoT, algoritmi di *machine learning* e sistemi di automazione, Terna ha sviluppato un ecosistema digitale che consente di anticipare guasti e ottimizzare le risorse. Tra le principali innovazioni:

Sensori IoT e Monitoraggio Continuo

I sensori IoT distribuiti lungo gli asset della rete raccolgono dati in tempo reale su parametri fondamentali come temperatura, vibrazioni, umidità e carichi elettrici. Questi dati vengono trasmessi a una piattaforma centralizzata per:

- identificare anomalie precoci, evitando guasti costosi e interruzioni di servizio;
- creare profili di rischio personalizzati per ogni asset, migliorando la prioritizzazione degli interventi;
- ridurre la necessità di ispezioni manuali, abbat-

tendo i costi operativi e minimizzando i rischi per il personale.

Algoritmi di *machine learning*

Gli algoritmi di *machine learning* analizzano i dati raccolti per identificare pattern anomali e correlazioni non evidenti, consentendo di:

- prevedere la vita utile residua degli asset, migliorando la pianificazione manutentiva;
- ottimizzare l'utilizzo delle risorse, riducendo gli sprechi;
- gestire gli interventi in modo dinamico, reagendo rapidamente alle situazioni critiche.

Automazione dei Processi Manutentivi

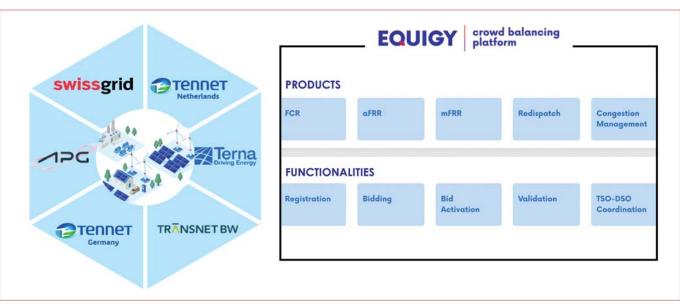
L'automazione rappresenta un elemento chiave per aumentare l'efficienza e ridurre i tempi di risposta. Le soluzioni implementate includono:

- droni e robot autonomi, utilizzati per ispezioni visive e termografiche in aree remote;
- piattaforme di diagnostica integrata, che aggregano i dati da diversi sensori, fornendo una visione completa dello stato della rete;
- attuatori intelligenti, capaci di eseguire automaticamente azioni correttive, come il riequilibrio dei carichi o la regolazione della tensione.

Benefici della Manutenzione Predittiva

I vantaggi strategici sono molteplici.

a. Riduzione dei costi: la manutenzione predittiva consente di pianificare interventi mirati basati sull'analisi dei dati e sulle previsioni di usura, riducendo significativamente la necessità di interventi reattivi. Questo si traduce in un minore impiego di risorse per riparazioni improvvise, riduzione dei tempi di inattività e ottimizzazione



▲ Figura 5

Equigy: Piattaforma per flessibilità di rete con V2G, DSR e blockchain

- dell'uso dei materiali, con conseguente contenimento dei costi operativi complessivi.
- b. Aumento dell'affidabilità: monitorando in tempo reale lo stato di salute delle infrastrutture e degli asset, è possibile identificare anomalie o segni precoci di guasti, consentendo interventi preventivi che garantiscono una maggiore continuità operativa. Questo approccio migliora l'efficienza del sistema, riducendo al minimo i tempi di fermo non programmati e aumentando la fiducia nel servizio offerto.
- c. Sostenibilità ambientale: grazie alla manutenzione predittiva, si riducono gli interventi non programmati, che spesso richiedono spostamenti urgenti di mezzi e personale. Questo contribuisce a ridurre l'impatto ambientale legato alle emissioni di CO₂ e al consumo di risorse. Inoltre, l'uso efficiente delle attrezzature e il prolungamento della loro vita utile riducono la produzione di rifiuti e il consumo di materiali.
- d. Miglioramento della sicurezza: la capacità di monitorare gli asset da remoto e prevedere potenziali guasti diminuisce significativamente l'esposizione del personale a situazioni ad alto rischio, come interventi su impianti in condizioni critiche (ad esempio, lavori sotto tensione) o in ambienti pericolosi. Questo approccio non solo riduce il numero di incidenti sul lavoro, ma contribuisce anche a creare un ambiente operativo più sicuro e protetto.
- e. Ottimizzazione delle risorse: grazie alla disponibilità di dati analitici, è possibile pianificare in modo più preciso le attività di manutenzione, allocando al meglio risorse umane e materiali. Ciò migliora l'efficienza operativa e garantisce che gli interventi vengano effettuati solo quando realmente necessario, evitando sprechi.
- f. Supporto decisionale avanzato: L'adozione di strumenti di manutenzione predittiva, spesso basati su intelligenza artificiale e machine learning, fornisce dati approfonditi che supportano decisioni strategiche, come la programmazione di sostituzioni o aggiornamenti tecnologici. Questo garantisce un miglior allineamento tra le esigenze operative e gli obiettivi aziendali.

In sintesi, la manutenzione predittiva non solo migliora l'efficienza e la sostenibilità operativa, ma rappresenta anche un elemento chiave per garantire sicurezza, affidabilità e competitività in un contesto sempre più orientato alla digitalizzazione e all'innovazione.

Integrazione con il Digital Twin

La manutenzione predittiva si integra strettamente con il *Digital Twin*, creando un ecosistema in cui i dati in tempo reale aggiornano continuamente il modello virtuale della rete. Questo consente di:

- simulare scenari complessi per pianificare interventi preventivi;
- ottimizzare i processi decisionali, basandosi su dati accurati e aggiornati;
- ridurre i tempi di reazione, migliorando la resilienza complessiva del sistema.

Digital Twin: una replica virtuale della rete

il *Digital Twin* è una delle tecnologie più innovative nell'ambito della digitalizzazione delle infrastrutture energetiche e rappresenta un elemento centrale nella strategia di trasformazione digitale di Terna. Si tratta di una replica virtuale avanzata della rete elettrica, progettata per simulare in tempo reale il comportamento degli asset fisici e fornire un supporto decisionale basato su dati.

Caratteristiche principali del *Digital Twin*

- Integrazione di dati real-time: grazie ai sensori loT installati lungo la rete, il Digital Twin raccoglie e processa una vasta quantità di dati in tempo reale. Questi dati alimentano modelli avanzati e algoritmi di machine learning per aggiornare costantemente la replica virtuale.
- Simulazione di scenari complessi: la replica digitale consente di simulare l'impatto di eventi straordinari, come calamità naturali, guasti improvvisi o picchi di domanda energetica. Queste simulazioni supportano la pianificazione operativa e migliorano la capacità di risposta del sistema.
- Ottimizzazione delle operazioni: attraverso analisi predittive, il sistema identifica criticità e anomalie prima che si traducano in problemi reali. Questo migliora la manutenzione preventiva, minimizzando rischi e costi operativi.

Vantaggi strategici del Digital Twin

- a. Miglioramento della resilienza della rete: simulare scenari operativi complessi permette di progettare interventi tempestivi e ridurre le interruzioni di servizio. La rete diventa più resiliente e pronta a gestire imprevisti.
- **b.** Riduzione dei costi operativi: ottimizzando l'impiego delle risorse, il Digital Twin riduce la necessità di interventi reattivi, spesso più costosi e invasivi, favorendo un utilizzo più efficiente dei materiali e del personale.
- c. Pianificazione a lungo termine: grazie a un modello dinamico basato su dati affidabili, è possibile sviluppare piani infrastrutturali adattati alle esigenze future del sistema, tenendo conto di variabili come la crescita della domanda energetica e l'integrazione di fonti rinnovabili.

Applicazioni pratiche

- Gestione della manutenzione predittiva: monitorando costantemente lo stato degli asset, il Digital Twin individua componenti soggetti a usura o a rischio di guasto, permettendo interventi tempestivi e mirati che aumentano l'affidabilità del sistema.
- Supporto alla transizione energetica: la tecnologia consente di simulare l'integrazione di impianti rinnovabili e sistemi di accumulo, valutando in tempo reale il loro impatto sulla stabilità della rete e migliorando la capacità di bilanciare produzione e consumo.
- Monitoraggio ambientale: il Digital Twin valuta l'interazione tra infrastrutture e ambiente, favorendo soluzioni sostenibili e il rispetto delle normative. Ciò include il monitoraggio di impatti ecologici e paesaggistici, oltre alla promozione di strategie per ridurre le emissioni.

In conclusione, il *Digital Twin* rivoluziona la gestione della rete elettrica, diventando un pilastro strategico per affrontare le sfide della transizione energetica e della sostenibilità. Questa tecnologia rende la rete più intelligente, resiliente e sostenibile, migliorando efficienza e adattabilità alle esigenze del sistema energetico.

Terna punta a espandere ulteriormente l'uso del Digital Twin, integrandolo con piattaforme di gestione basate su cloud e sistemi di machine learning. Questa evoluzione permetterà di automatizzare processi sempre più complessi e di abilitare una gestione dinamica e predittiva della rete. Grazie a questo approccio, la rete elettrica non solo diventerà più efficiente e sicura, ma sarà anche in

grado di rispondere con maggiore flessibilità alle sfide della transizione energetica, garantendo un equilibrio stabile e sostenibile tra innovazione e affidabilità (figura 6).

Impatto sulla formazione e gestione del personale

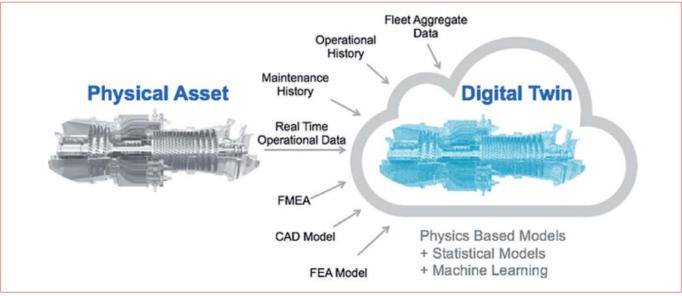
Evoluzione delle competenze e innovazione nella gestione del capitale umano

L'adozione di Intelligenza Artificiale e tecnologie digitali avanzate ha trasformato le strategie di formazione e gestione del personale di Terna, rendendo indispensabili nuove competenze tecniche e digitali. Per affrontare questa evoluzione, l'azienda ha investito in programmi mirati per valorizzare il capitale umano e supportare la transizione verso una rete sempre più innovativa e tecnologicamente avanzata.

L'impiego di strumenti come *Digital Twin*, manutenzione predittiva e lA richiede personale altamente qualificato in ambiti come data science, *machine learning* e gestione dei sistemi digitali. Per rispondere a queste esigenze, Terna ha avviato corsi di formazione specifici, focalizzati su:

- analisi dei dati e programmazione avanzata;
- utilizzo di sensori loT e piattaforme di automazione;
- simulazione di scenari complessi con strumenti digitali.

Questo approccio integrato non solo rafforza le competenze del personale, ma garantisce anche che l'azienda sia pronta a gestire le sfide della transizione energetica e della digitalizzazione,



▲ Figura 6

Digital Twin: integrazione avanzata per la modellazione e l'ottimizzazione delle infrastrutture di rete - Fonte: ENTSO-E

con un capitale umano all'avanguardia.

TyrrhenianLab: Un Centro di Eccellenza

Il TyrrhenianLab, creato da Terna in collaborazione con le università di Cagliari, Palermo e Salerno, è centrale in questo percorso. Questo programma triennale forma professionisti specializzati nella gestione dei sistemi elettrici, con particolare focus sulle tecnologie digitali (figura 7). Gli obiettivi includono:

- preparare figure per la transizione energetica e digitale;
- promuovere l'innovazione integrando competenze accademiche e industriali;
- supportare la crescita interna attraverso percorsi avanzati.

Strategie di Valorizzazione del Personale

Oltre alla formazione tecnica, Terna promuove:

- piani di carriera personalizzati;
- programmi di mentoring per la condivisione di competenze;
- iniziative di reskilling per acquisire nuove competenze.

Impatti Organizzativi

L'introduzione dell'IA ha favorito un approccio organizzativo collaborativo e interfunzionale. Team multidisciplinari integrano tecnologie avanzate nei processi aziendali, migliorando efficienza e innovazione.

Visione futura e conclusioni

Guardando al futuro, Terna si impegna a integrare sempre più l'Intelligenza Artificiale (IA) e altre tecnologie avanzate nella gestione della rete di trasmissione, trasformando il sistema elettrico italiano in un modello di eccellenza tecnologica e sostenibilità. Il Piano Industriale 2024-2028 prevede l'adozione di algoritmi predittivi e sistemi di monitoraggio in tempo reale per una gestione proattiva delle infrastrutture.

Tecnologie come i *Digital Twin* saranno estese per rappresentare virtualmente tutta la rete elettrica, consentendo simulazioni avanzate e previsioni di eventi critici. L'IA sarà impiegata per ottimizzare il dispacciamento energetico, bilanciando domanda e offerta, riducendo perdite e migliorando l'efficienza complessiva. Inoltre, droni e robotica avanzata automatizzeranno le attività di manutenzione, riducendo rischi per il personale e garantendo maggiore continuità operativa.

Terna esplora anche tecnologie emergenti, come la blockchain, per aumentare trasparenza e sicurezza nelle operazioni di rete. Queste innovazioni non solo miglioreranno la gestione operativa, ma contribuiranno a costruire un sistema elettrico sostenibile e resiliente, allineato agli obiettivi del *Green Deal* europeo.

A lungo termine, Terna immagina una rete automatizzata, interconnessa e adattiva, capace di rispondere ai cambiamenti del contesto energetico e abilitare nuovi modelli di consumo e generazione. Attraverso innovazione e investimenti mirati, Terna guida il sistema elettrico italiano verso un futuro sostenibile e tecnologicamente avanzato, consolidando il suo ruolo di leader nella transizione energetica.



■ Figura 7
Thyrrenian Lab:
Master di
Terna in
collaborazione
con le
Università di
Cagliari,
Palermo
e Salerno

La metrologia nel XXI secolo: sfide, rischi e opportunità

Alessandro Ferrero, Veronica Scotti DEIB - Politecnico di Milano

Il presente lavoro intende non solo fare il punto sull'evoluzione della metrologia ad oggi, quanto aprire riflessioni sulle sfide della sostenibilità e le opportunità e i rischi contemporanei dell'Intelligenza Artificiale

isurare è stata molto probabilmente una delle prime attività tecniche svolte dall'uomo, non soltanto perché necessaria alla costruzione di manufatti [1], ma anche perché necessaria, per esempio con le misure del tempo, a garantire la stessa esistenza del genere umano [2].

L'evoluzione delle misure nel corso dei secoli ha, come ogni altra attività umana, accompagnato l'evoluzione tecnologica, diventandone imprescindibile protagonista in tutti i casi in cui i risultati di misura hanno dato conferma sperimentale a deduzioni teoriche oppure, rivelandosi in conflitto con le previsioni ottenute dai modelli teorici, ne hanno evidenziato i limiti e hanno portato a nuove scoperte.

Per restare nel campo elettrico, fu un famoso esperimento condotto utilizzando la nuova linea telegrafica tra Milano a Monza a dimostrare, nel 1844, che Ohm aveva correttamente formulato la propria legge, ritenuta fino ad allora errata. Poco più di un secolo dopo, fu l'analisi di risultati di misura non previsti dalle equazioni del diodo che portò alla scoperta del transistore e alla rivoluzione dell'elettronica.

Il presente non fa certo eccezione e la metro-

logia continua a essere un importante quanto poco appariscente strumento di conoscenza nell'affrontare e gestire le innovazioni tecnologiche, mitigandone i rischi e ottimizzandone i benefici.

In questo scorcio iniziale del XXI secolo, i due aspetti tecnologici di maggiore impatto riguardano la sostenibilità e l'impressionante evoluzione delle applicazioni dell'Intelligenza Artificiale (IA). Il primo aspetto diventa prioritario, in questo momento di forte crescita della popolazione mondiale e di conseguente sfruttamento delle risorse naturali, per riuscire a "soddisfare i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare i propri bisogni", secondo la definizione di sostenibilità data dall'ONU già nel 1987 [3] e più volte successivamente ribadita.

L'impressionante impulso che le applicazioni di IA hanno avuto in questi ultimi anni ha colto di sorpresa l'opinione pubblica, fatta eccezione forse solo per gli addetti ai lavori che sulle applicazioni di IA lavorano da tempo, suscitando enormi aspettative, da un lato, ma anche timori che questa nuova tecnologia ci sfugga di mano, vista la sua intrinseca capacità di apprendimento autonomo e, quindi, di evolvere senza più bisogno dell'intervento umano.

È quindi in questo scenario, nuovo e per certi versi preoccupante, che la metrologia si trova a operare e a cui deve sapersi adattare per poter continuare a essere strumento di conoscenza. Nelle brevi note che seguono, ci proponiamo di dare qualche minimo spunto di riflessione su alcune delle importanti sfide che la metrologia si trova ad affrontare, mettendo in luce le opportunità di sviluppo che si aprono se tali sfide saranno correttamente affrontate, nonché i rischi che si corrono se non verranno raccolte.

Intelligenza artificiale e impresa

Le misure e gli obiettivi della sostenibilità

Da una lettura superficiale dei 17 obiettivi per uno sviluppo sostenibile definiti dall'ONU nel 2017 per essere attuati entro il 2030 [4] difficilmente si riesce a intravedere un ruolo per la metrologia, se non per qualcuno di questi obiettivi, quali ad esempio garantire energia pulita e accessibile (obiettivo 7) o consumi e produzione responsabili (obiettivo 12).

Una lettura più attenta rivela un denominatore comune a quasi tutti gli obiettivi: per raggiungerli è necessario impiegare le risorse in maniera razionale, riducendo sprechi e scarti e, conseguentemente, ottimizzando tutti i nostri processi, inclusi quelli produttivi. Questa esigenza di ottimizzazione può essere sinteticamente riassunta nell'utilizzo, in ciascun processo, del solo giusto necessario.

In questo contesto, la metrologia è in grado di assicurare che si stia effettivamente impiegando il giusto necessario. Potrebbe sembrare un'affermazione banale: è sufficiente misurare ciò che si sta impiegando e verificare se corrisponde a quanto si è stabilito essere il giusto necessario. Diventa assai meno banale se ci si inizia a porre il problema di come misurare.

Anche in questo caso, spesso ci si limita a identificare lo strumento o il sistema di misura che si ritiene più adatto, ma quasi mai ci si pone il problema di valutare se il risultato di misura fornito da quello strumento sia adatto allo scopo, problema a cui la metrologia sa dare risposta.

Il caso più emblematico in cui il corretto impiego delle valutazioni metrologiche va incontro agli obiettivi della sostenibilità è quello del confronto di un risultato di misura con un valore limite: per esempio una tolleranza in un processo produttivo, o un limite di legge.

In funzione del risultato di questo confronto vengono prese decisioni - accettare o scartare un componente, oppure erogare sanzioni - che, se errate, possono avere un impatto importante sulla sostenibilità di un processo produttivo o dei controlli di legge. Scartare un componente perché considerato fuori tolleranza, mentre invece non lo è, implica uno spreco di risorse, dalla materia prima all'energia impiegata per produrlo, che compromette il raggiungimento degli obiettivi della sostenibilità. È immediato comprendere che anche utilizzare un componente ritenuto in tolleranza mentre non lo è comporta un identico spre-

co di risorse, ancora maggiore del caso precedente se poi l'impiego di un componente difettoso provoca un guasto con conseguenze potenzialmente molto gravi.

Decidere consapevolmente

Apparentemente, il confronto è un'operazione banale, se ci si limita a confrontare il solo valore restituito dal sistema di misura impiegato con il limite. Nella realtà l'operazione è molto più complessa e deve tenere conto di un importante elemento: l'errore di misura.

È ben noto a chiunque si occupi di misure che il valore vero di un misurando è un'entità astratta e ideale e che non può essere conosciuta. Il risultato di misura può pertanto fornire solo un'approssimazione del valore del misurando, approssimazione che non può essere quantificata attraverso l'errore di misura, tradizionalmente definito come la differenza tra valore misurato e valore vero, non essendo noto il valore vero.

La moderna metrologia ha preso atto dei limiti con cui un risultato di misura è in grado di descrivere il misurando e, a partire dalla prima edizione del 1995 della Guida all'espressione dell'Incertezza di Misura (GUM) [5], oggi in Italia recepita dall'UNI e dal CEI come Guida 70098-3 [6], ha raccomandato di rappresentare un risultato di misura, una volta identificati eventuali effetti sistematici e apportate le opportune correzioni, in termini di variabile aleatoria.

Una variabile aleatoria X è matematicamente rappresentata da una funzione densità di probabilità p(x) definita per i valori x che la variabile X può assumere. In **figura 1** è indicata, per un generico misurando X, una funzione densità di probabilità normale, centrata sul valore misurato $x_m = 1$ e con scarto tipo pari all'1% del valore misurato.

Supponiamo ora che il risultato di misura debba essere confrontato con un limite di tolleranza posto al valore $x_t = 1,02$, indicato con la linea rossa sempre in figura 1, e che tale limite non debba essere superato. Se ci si limitasse a confrontare il valore misurato (linea tratteggiata blu in figura 1) con il valore limite, si potrebbe affermare senza ombra di dubbio che il valore misurato è inferiore al valore limite e il componente che si sta misurando rispetta la tolleranza.

Tuttavia, sempre osservando la figura 1, si nota che esistono alcuni valori, anch'essi attribuibili al misurando, che oltrepassano la linea rossa, e

quindi il limite di tolleranza. Avendo a disposizione l'intera funzione densità di probabilità, è possibile valutare, per semplice integrazione della funzione da x_t a + ∞ , la probabilità che il misurando abbia valore superiore a x_t . Nell'esempio di figura 1, questa probabilità è pari al 2,24%.

Questa probabilità rappresenta il rischio di trovare un componente fuori tolleranza (o similmente un limite superato), pur avendo il sistema di misura fornito un valore minore del limite. È immediato verificare che, se si fosse ottenuto un valore misurato esattamente pari al limite di tolleranza, con una funzione densità di probabilità simmetrica come quella in figura 1, tipica di una gran parte dei casi, la probabilità di essere fuori tolleranza diventa del 50%. Purtroppo, ancora in molte realtà si procede in questo modo, con tutti gli sprechi che ne conseguono, con buona pace della sostenibilità.

Senza entrare nei dettagli matematici, che esulano dallo scopo di questo articolo, si intuisce facilmente che la probabilità (e quindi il rischio) di oltrepassare il limite dipende dalla distanza del valore misurato dal limite e dalla forma della funzione densità di probabilità associata al risultato di misura.

Giova ricordare che, in metrologia, generalmente si esprime l'incertezza di misura come scarto tipo della funzione densità di probabilità (e in questo caso si parla di incertezza tipo) oppure come un suo multiplo (e in questo caso si parla di incertezza estesa) a cui, nota la funzione densità di probabilità, si associa la semi-ampiezza di un intervallo, costruito attorno al valore misurato, all'interno del quale si suppone cada il valore vero del misurando con una data probabilità [5, 6]. Si è quindi portati a trascurare la funzione p(x), essendo, in moltissimi casi, sufficiente conoscere l'incertezza estesa e la probabilità di copertura associata all'intervallo da questa definito.

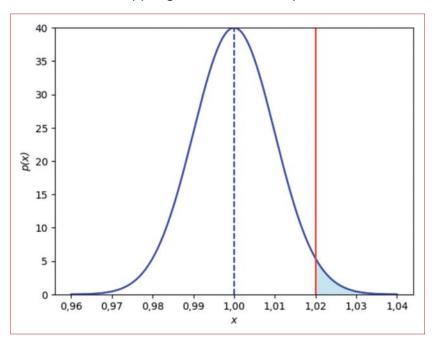
Non è però più sufficiente, come dimostra la figura 1, quando è necessario confrontare il risultato di misura con un limite. Il modo corretto di procedere è indicato da un altro documento redatto dal BIPM [7] e recepito da ISO e IEC come Guida 98-4 [8], non ancora tradotta in italiano.

Questa guida riprende e sistematizza il concetto delle *bande di guardia*, schematicamente illustrato in **figura 2**. Dato un intervallo di tolleranza, definito tra un limite inferiore T_L e un limite superiore T_U , in funzione del rischio che si è disposti ad accettare di dichiarare conforme alle tolleranze un componente che non lo è e dell'incertezza di misura, si determina l'ampiezza w di un intervallo (indicato in giallo in **figura 2**) che identifica un *intervallo di accettabilità*, il cui limite inferiore è dato da $A_L = T_L + w$, e il cui limite superiore è dato da $AU = T_U - w$.

In tal modo viene garantito che, se i valori misurati cadono all'interno dell'intervallo di accettabilità così definito, il rischio di dichiarare conforme alla tolleranza un misurando che in realtà non è conforme, è inferiore al valore considerato nella definizione della banda di guardia.

Si supponga, a titolo di esempio, di dover valuta-

Risultato di misura espresso in termini di funzione densità di probabilità di variabile aleatoria. La linea verticale blu tratteggiata indica il valore misurato. La linea verticale rossa indica il limite di tolleranza da non superare. L'area colorata in azzurro la probabilità di aver superato tale limite



re se un resistore di valore nominale 100Ω rispetti la tolleranza dell'1%. In questo caso, quindi, si avrà $T_L = 99\Omega$ e $T_U = 101\Omega$. Si supponga di accettare un rischio massimo del 2% di falsa accettazione, misurando la resistenza con un'incertezza tipo di $0,1\Omega$ e assumendo che i valori attribuibili al misurando siano rappresentati da una funzione densità di probabilità normale.

Senza entrare nei dettagli matematici, per i quali si rimanda a [9-10], si ricavano, per i limiti di accettabilità, i valori $A_L = 99.2\Omega$ e $A_U = 100.8\Omega$. La figura 3 mostra i grafici delle funzioni densità di probabilità dei valori attribuibili al misurando quando i valori misurati corrispondono ai limiti di accettabilità trovati, e il rischio di superare i limiti di tolleranza, graficamente rappresentato dall'area colorata in rosso.

Seguendo il metodo raccomandato dalla Guida 98-4 [8] è quindi possibile garantire che il rischio di superare un dato limite sia inferiore a un valore

prefissato, nota l'incertezza di misura. Oppure, fissata la soglia di accettabilità, è possibile definire l'incertezza di misura che garantisca che il rischio di eccedere il limite non superi il valore prefissato.

È quindi possibile ottimizzare i propri processi di misura per arrivare a decisioni consapevoli, in cui il rischio di decisione errata non superi un valore prefissato, atto a garantire l'impiego del giusto necessario, sia nell'attività produttiva, sia in quella di misura, compiendo un importante passo verso gli obiettivi di sostenibilità.

Per completezza di trattazione, si osserva infine che, nel caso in cui di debba decidere se scartare o meno un componente, il metodo delle bande di guardia si applica semplicemente cambiando il segno a w, e quindi portando i limiti di rifiuto all'esterno dell'intervallo di tolleranza, in modo da assicurare che il rischio di scartare un componente conforme sia inferiore a un valore prefissato.

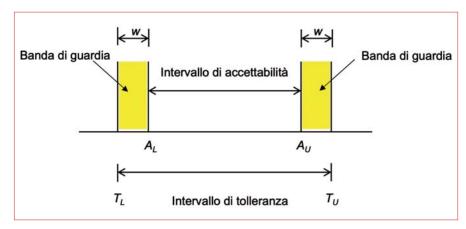
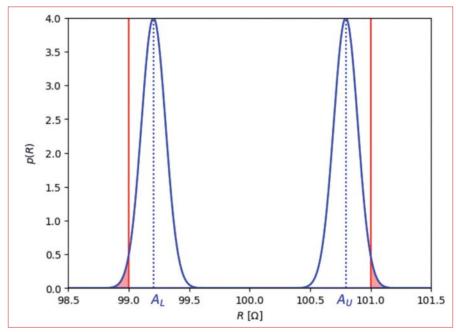


Figura 2 Intervallo di accettabilità in funzione delle bande di quardia



Figura

Limiti di accettabilità per garantire un rischio di falsa accettazione inferiore al 2% nella valutazione di conformità di un resistore di valore nominale $R_n=100\Omega\pm1\Omega$, misurato con incertezza tipo pari a 0,1 Ω . I limiti di accettabilità sono indicati dalle righe tratteggiate blu, e i limiti di tolleranza dalle righe rosse

Tarare quando è necessario

Valutare l'incertezza di misura e tenerne conto nei processi decisionali non è sufficiente a garantire che un risultato di misura fornisca informazioni corrette. Ciò può essere ottenuto solo attraverso un'operazione di taratura che, secondo la definizione del Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM) [11], in Italia Norma UNI CEI 70099 [12] è un'operazione che, in condizioni specificate, in una prima fase stabilisce una relazione tra le indicazioni e relativa incertezza dello strumento in taratura e i valori e relativa incertezza forniti da un riferimento, e in una seconda fase utilizza questa relazione per correggere l'indicazione fornita dallo strumento e ottenere un risultato di misura.

Senza entrare nei dettagli delle due fasi, che esulano dallo scopo di questo articolo, si sottolinea il fatto che il risultato della taratura ha validità nelle condizioni di taratura e, cosa spesso trascurata, al momento della taratura. In linea di principio, nel momento in cui uno strumento esce dal laboratorio di taratura non si ha più alcuna garanzia di validità del risultato di taratura. Nella pratica, non si può escludere che lo strumento abbia una deriva nel tempo che, se non rilevata, può comportare un'incertezza superiore a quella valutata in fase di taratura.

Pertanto, è l'utilizzatore dello strumento che deve farsi parte diligente di verificare che la validità del risultato della taratura si mantenga nel tempo e, se del caso, eseguire una nuova taratura. L'insieme di queste operazioni, che prende il nome di conferma metrologica, è spesso più semplice di quanto si possa pensare.

Si consideri, a titolo di esempio, un'azienda che abbia un certo numero di strumenti con le stesse caratteristiche: per esempio 20 voltmetri. È sufficiente avere un generatore di tensione, anche non nota con particolare accuratezza, purché se ne possa garantire la stabilità per il tempo necessario a verificare i voltmetri. Si collegano tutti i voltmetri al generatore e se ne legge l'indicazione. Se tutti i risultati sono tra di loro compatibili, cioè differiscono tra loro per meno dell'incertezza estesa, ritenendo trascurabile la probabilità che tutti abbiano derivato nella stessa direzione, si può concludere che il risultato della taratura sia ancora valido. Viceversa, se uno dei voltmetri fornisse un risultato non compatibile con gli altri, bisognerebbe eseguire una nuova taratura su quel voltmetro.

Nonostante la relativa semplicità con cui pos-

sono essere messe in opera procedure di conferma metrologica, assai spesso, anche in ambito industriale, si preferisce affidarsi a tarature periodiche a intervalli di tempo prefissati, sulla scorta di quanto in uso per gli strumenti di metrologia legale.

Nell'ambito della metrologia legale, dove gli strumenti di misura sono sovente impiegati da chi non ha alcuna competenza in metrologia (si pensi agli strumenti per pesare di piccoli esercizi commerciali), non si ha altra scelta che definire un intervallo di tempo durante il quale le probabilità di avere una deriva significativa siano trascurabili, e imporre di verificare gli strumenti allo scadere di tali intervalli.

In ambito industriale, dove viceversa si presume esistano competenze metrologiche, questo approccio è privo di senso e spesso porta a costi non necessari. Far tarare uno strumento che non ha mostrato segni di deriva solo perché è passato un determinato tempo dall'ultima taratura è un'operazione inutile che genera solo spreco di risorse. Risorse che possono essere molto più utilmente impiegate per le operazioni di conferma metrologica che consentano, anche nella gestione dei sistemi di misura, di impiegare il giusto necessario (in questo caso tarare solo quando è necessario) e portano quindi verso il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità.

Intelligenza Artificiale e metrologia

Le applicazioni di IA sono venute prepotentemente alla ribalta in questi ultimi anni, in cui lo sviluppo della IA generativa ha reso disponibile al grande pubblico le cosiddette chatbot (come ChatGPT, Gemini, Bing, Copilot, ecc.), entità artificiali in grado di interagire con esseri umani in modo non troppo dissimile da come farebbe un altro essere umano.

Questo sorprendente risultato è il frutto di un lungo lavoro di sviluppo sui sistemi ad autoapprendimento (noti come *Learning Machines*), già da anni utilmente impiegati in molte applicazioni.

La pervasività e la dimensione dell'estensione delle applicazioni di IA, così come i relativi effetti negativi (effettivi o meramente presunti e percepiti) che possono derivarne, è tale che si è reso necessario introdurre una normativa europea volta a limitare (o addirittura vietare) alcune tipologie di IA in conseguenza del rischio associato. Con il recente regolamento UE 2024/1689 (meglio noto come *Al Act*) [14], emanato dopo un

lungo dibattito e studio, l'Unione Europea ha inteso definire un quadro normativo di riferimento per i vari soggetti coinvolti a vario titolo nella produzione/distribuzione/utilizzo di IA, determinando obblighi differenti in funzione dello specifico livello di rischio del singolo prodotto tecnologico. A prescindere dai dettagli che riguardano la classificazione piramidale dei rischi, è interessante notare come alla metrologia sia stato attribuito espressamente nell'Al Act un ruolo rilevante affinché possano essere correttamente definiti appositi indicatori di misurazione relativi all'intelligenza artificiale. In particolare, il legislatore è orientato alla definizione di strumenti e metodi che possano garantire robustezza e accuratezza ai sistemi di IA, come risulta chiaro dalle disposizioni normative dedicate a tale aspetto che pongono l'attenzione sulle modalità di misurazione dei livelli di accuratezza e robustezza e altre metriche di prestazione [15].

Le prestazioni, con particolare riguardo alla coerenza dei sistemi di IA rispetto agli aspetti di robustezza e accuratezza, devono essere garantite per l'intero ciclo di vita dell'intelligenza artificiale e devono essere rese trasparenti, nonché comunicate agli utilizzatori come chiaramente stabilito dal regolamento europeo che prevede che "I livelli di accuratezza e le pertinenti metriche di accuratezza dei sistemi di IA ad alto rischio sono dichiarati nelle istruzioni per l'uso che accompagnano il sistema".

Appare quindi innegabile il ruolo assegnato alla metrologia in questo ambito, poiché la rilevanza delle metriche non è determinante solamente nel momento di progettazione e immissione sul mercato dei sistemi di IA, ma assume una centralità anche durante il loro utilizzo, che richiede livelli di sorveglianza proporzionati alla funzione svolta dall'IA e al conseguente tipo di impatto che esso potrebbe originare. L'intervento che la norma richiede alla metrologia è quindi piuttosto ampio e in prospettiva continuo, in ragione della difficoltà di comprendere appieno tutti i meccanismi che presiedono alle attività e operazioni svolte dall'IA.

Per meglio comprendere questi aspetti, senza entrare nei complessi dettagli del funzionamento di questi sistemi, ci si limiterà a metterne in evidenza la caratteristica principale: questi sistemi non hanno la necessità di essere "istruiti" con algoritmi specifici per ciascuna applicazione, come i tradizionali sistemi informatici, ma sono in grado di imparare autonomamente a svolgere i compiti richiesti partendo da un insieme

di dati di addestramento (il training set).

Questa loro caratteristica è, allo stesso tempo, l'aspetto più affascinante e più preoccupante di queste macchine. È affascinante perché permette di sviluppare nuove applicazioni in tempi relativamente brevi senza la necessità di fare riferimento a modelli matematici, spesso talmente complessi da impedirne la codifica in algoritmi tradizionali. È preoccupante, perché questi sistemi sono intrinsecamente opachi e, non procedendo in modo algoritmico, non si è in grado di predire il loro modus operandi, né come evolveranno in funzione dei nuovi dati che riceveranno in ingresso durante il loro funzionamento.

In particolare, sono i dati in ingresso, soprattutto quelli del *training set*, che influenzano il comportamento dei sistemi di IA. Se non sono rappresentativi di tutte le possibili situazioni che il sistema si troverà ad affrontare possono causare risultati indesiderati. Sono noti e documentati i casi in cui la mancanza di alcuni dati nel *training set* ha indebitamente polarizzato i risultati e perpetrato stereotipi che si sperava fossero superati [13].

Nel campo tecnico, i dati in ingresso sono per lo più dati acquisiti dal campo per mezzo di strumenti di misura e sensori. Come si è visto, ogni valore misurato rappresenta solo un'approssimazione del misurando, approssimazione che viene quantificata dall'incertezza di misura che, se non considerata, può portare a decisioni non corrette e, conseguentemente, a un non efficiente impiego delle risorse.

In un sistema di misura l'incertezza sui dati in ingresso si propaga, modificandosi in base alla funzione di misura, sul dato in uscita. La GUM [5] dà utilissime indicazioni su come valutare l'incertezza sul dato in uscita in funzione delle incertezze sui dati in ingresso e della funzione di misura. Questo metodo è però ampiamente inadeguato quando si ha a che fare con sistemi di misura basati su agenti di IA, dal momento che non si conosce la funzione di misura che l'IA ha autonomamente sviluppato per fornire il dato in uscita a partire dai dati in ingresso.

Si è quindi di fronte a un rischio e una sfida: il rischio è quello di avere un dato in uscita di cui non si conosce l'incertezza e, quindi, in accordo con quanto visto al paragrafo precedente, non si è in grado di valutare il margine di errore nelle decisioni prese a partire da quel dato. D'altra parte, la caratteristica principale dei sistemi di IA è l'autoap-

prendimento: la sfida è quindi quella di addestrare l'IA a elaborare dati affetti da incertezza e a valutare l'incertezza sul dato in uscita.

È questa la grande sfida che la metrologia del XXI secolo si trova ad affrontare: da un lato utilizzare l'enorme potenzialità dei sistemi di IA per sviluppare sistemi di misura sempre più accurati e, dall'altro, ripensare le modalità di valutazione ed espressione dell'incertezza di misura per arrivare a caratterizzare in modo metrologicamente corretto anche i risultati forniti dai nuovi strumenti basati sull'IA.

Considerazioni finali

Sostenibilità e Intelligenza Artificiale sono, a detta non solo di chi scrive, due fattori chiave di questo primo scorcio del XXI secolo. La prima è diventata un'esigenza ormai ineludibile se si vuole garantire un futuro alle nuove generazioni e, forse, all'intera specie umana. La seconda si presenta non solo come la tecnologia emergente, ma anche e soprattutto come tecnologia dirompente per le prospettive, non tutte positive, che apre. È forse, tra tutte le «magnifiche sorti e progressive» di cui l'umanità è stata testimone, quella che più di ogni altra può non solo modificare le nostre esistenze, ma financo mettere in discussione il nostro ruolo.

Non sembra quindi azzardato ritenere che mai, come in questo momento, misurare sia indispensabile per evitare inutili sprechi, da un lato, e per valutare la correttezza di quanto gli agenti di IA ci propongono in modo sempre più autonomo.

Se però con misurare si intende limitarsi alla pura e semplice lettura di uno strumento, o una serie di strumenti, magari operanti con tecniche di IA, si rischia di non centrare gli obiettivi. Per quanto frustrante possa sembrare, misurare significa anche convivere con l'incertezza. Misurare bene significa saperla gestire e impiegare per prendere decisioni consapevoli del rischio che possano essere errate, limitandone per quanto possibile le conseguenze.

Non a caso abbiamo citato, fin dal titolo, sfide, rischi e opportunità. La sfida consiste nel saper insegnare, assai più di quanto venga attualmente fatto, i principi della metrologia per applicarli correttamente e saperli adeguare alle nuove tecnologie. Il rischio è quello derivante dal non farlo, con le conseguenze che abbiamo tentato di delineare nei paragrafi precedenti. Le opportunità sono quelle, in parte inimmaginabili, che si aprono se si riuscirà a garantire un futuro sostenibile in cui le nuove tecnologie verranno impiegate al meglio.

BIBLIOGRAFIA

- [1] B. Kibble: The measuring stick came before the wheel [Basic metrology], *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, vol. 17, n. 3, giugno 2014, pp. 28-29.
- [2] A. Ferrero: Measurement An Exciting Journey Across Centuries, *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, vol. 27, n. 7, ottobre 2024, pp. 60-66.
- [3] United Nations General Assembly: Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, 20 marzo 1987.
- [4] United Nations General Assembly: Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017, Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/71/313), 10 luglio 2017.
- [5] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML: Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008.
- [6] CEI UNI 70098-3: Incertezza di misura Parte 3: Guida all'espressione dell'incertezza di misura, 2016.
- [7] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML: Evaluation of measurement data The role of measurement uncertainty in conformity assessment. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 106:2012.

- [8] ISO/IEC Guide 98-4: Uncertainty of measurement-Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment, 2012.
- [9] A. Ferrero, H.V. Jetti, S. Ronaghi, S. Salicone: A method to consider a maximum admissible risk in decision-making procedures based on measurement results, *Acta Imeko*, vol. 12, n. 2, 2023.
- [10] A. Ferrero, H.V. Jetti, S. Ronaghi, S. Salicone: A general Monte-Carlo approach to consider a maximum admissible risk in decision-making procedures based on measurement results, *Acta Imeko*, vol. 12, n. 4, 2023.
- [11] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML: International Vocabulary of Metrology-Basic and general concepts and associated terms (VIM). Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 200:2012 (3a edizione).
- [12] CEI UNI 70099: Vocabolario Internazionale di Metrologia Concetti fondamentali e generali e termini correlati (VIM), 2010.
- [13] A. Castellani: Antropologia dell'algoritmo. Tutto_Misure, vol. XXVI, n. 2, 2024.
- [14] Regolamento (UE) 2024/1689: Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio che stabilisce regole armonizzate sull'intelligenza artificiale, 13 luglio 2024.
- [15] G. Tozzi, V. Scotti: Al Act: Il regolamento europeo sull'intelligenza artificiale. Tutto_Misure, vol. XXVI, n. 2, 2024.