

**Sostenibilità Digitale:
attenzione alle semplificazioni!**

di *Stefano Epifani* **p. 26**

**Raccontare l'innovazione
guidata dall'IA**

di *Alessio Jacona* **p. 31**

**La sinergia tra rivoluzione digitale
e transizione energetica**

di *Mario Nobile* **p. 34**

Energia Ambiente e Innovazione

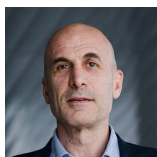
ENEA magazine
3/2024
eai.enea.it

**Dall'IA alla Blockchain:
trasformazione digitale e
tecnologie abilitanti
per la transizione energetica**

LE INTERVISTE:

Carlo Bartoli, Franco Federici, Luciano Floridi,
Corrado Giustozzi, Enrico Vicenti

Dall'IA alla IoT: trasformazione digitale e tecnologie abilitanti per la transizione ecologica e sociale



di **Giorgio Graditi**, *Direttore Generale ENEA*

La progressiva integrazione di tecnologie abilitanti, come l'Intelligenza Artificiale (IA) o la blockchain, si sta sviluppando nel contesto della trasformazione digitale, un ecosistema che comprende tutti quegli elementi e fattori che rendono possibile l'integrazione e quindi l'evoluzione verso una dimensione digitale dei processi, delle produzioni, dei servizi e dell'accesso alle risorse, migliorandoli in termini di semplicità, funzionalità, efficienza, innovazione, e aumentandone il valore prodotto. **L'orientamento alla trasformazione digitale sollecita ad interrogarsi su come le tecnologie possano rendere possibili e abilitare ulteriori cambiamenti in settori anch'essi oggetto di trasformazione ed evoluzione. Non è un caso che la trasformazione digitale sia una priorità dell'Unione Europea (UE) e rappresenta il fulcro di tutte le strategie comunitarie e, a cascata, nazionali, per la ripresa economica a valle della crisi generata dalla pandemia Covid-19.**

Gli obiettivi definiti per il 2030 in ambiti come la connettività, le competenze e i servizi pubblici digitali, sono stati approvati e fissati nel Digital Compass 2030 ¹, la comunicazione per il decennio digitale dell'UE, annunciando investimenti per il 20% del bilancio di NextGenerationEU nel settore. **Il Digital Compass ruota intorno a quattro punti cardinali: competenze digitali, infrastrutture digitali sicure e sostenibili, trasformazione digitale delle imprese, digitalizzazione dei servizi pubblici.**

Con la Dichiarazione sui diritti e i principi digitali per il decennio digitale, l'UE esplicita le "condizioni" entro cui la trasformazione digitale può dirsi "al servizio delle persone" e attuarsi nel rispetto dei valori e dei diritti fondamentali da preservare anche nel mondo on line. Tale paradigma deve basarsi sui valori europei e apportare benefici a tutte le persone e le imprese, promuovendo **un modello comune per la transizione digitale che metta al centro le persone, secondo principi di libertà di scelta, sicurezza e protezione, solidarietà e inclusione, partecipazione, sostenibilità.**

Alla fine del 2023 la Commissione europea ha presentato il primo rapporto sul Decennio Digitale Europeo, dove sono ribadite sia le tabelle di marcia strategiche che le azioni propedeutiche necessarie all'attuazione. Il programma Digital Europe si configura come il principale strumento per affrontare le sfide della digitalizzazione, massimizzare i benefici della trasformazione digitale, rafforzare la competitività europea e migliorare l'inclusività e la sostenibilità dello sviluppo tecnologico, mirando nello specifico a: potenziare infrastrutture digitali strategiche; sviluppare competenze digitali avanzate; modernizzare il rapporto tra cittadini e governi.

L'attività programmatica della Commissione è supportata da riferimenti fondamentali come, ad esempio, il Digital Services Act ² e l'Artificial Intelligence Act ³ in ambiti dove, proprio in ragione del veloce e inarrestabile cambiamento tecnologico, le valutazioni necessarie allo sviluppo della normativa e regolamentazione sono sempre più rilevanti e necessarie. Entrambi gli atti normativi citati sono basati su modelli incentrati sul rischio e sulla relativa gestione. Il risk approach, nella prospettiva europea, permette di non ostacolare l'innovazione

¹ EU COM(2021)118, 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade, In <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0118>

² https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/digital-services-act_it

³ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>

tecnologica attraverso restrizioni eccessive, ma di governarla con obblighi e responsabilità secondo una proporzionalità al grado di rischio immesso nel sistema. L'obiettivo è che si possa delineare un quadro giuridico che si adegui dinamicamente all'evoluzione tecnologica e all'emergere di nuove situazioni di preoccupazione nel rispetto dei diritti fondamentali e dei valori dell'UE.

Non esiste settore, ad oggi, che non basi il proprio sviluppo sui processi di trasformazione digitale. Si è di fronte a tecnologie dirompenti che, in momenti diversi, si stanno affermando a pieno titolo nel panorama dello sviluppo industriale, economico e sociale, della ricerca e dell'innovazione.

Le molteplici trasformazioni tecnologiche indotte dal mondo del digitale potrebbero essere paragonabili a quelle della prima, seconda e terza rivoluzione industriale, generando significativi impatti nelle scienze, nella cultura, nell'industria, nei servizi, nell'economia e nella società nel suo complesso, quali ad esempio:

- **Ambiente e sostenibilità.** Sfruttare l'IA per monitorare e prevedere i cambiamenti climatici, ottimizzare l'utilizzo delle risorse naturali e sviluppare soluzioni sostenibili permetterà di mitigare gli impatti ambientali e promuovere uno sviluppo più duraturo.
- **Tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT),** per migliorare le reti di comunicazione, la sicurezza informatica e l'efficienza dei sistemi e delle infrastrutture.
- **Educazione e formazione.** L'IA e le tecnologie digitali possono personalizzare l'apprendimento, creare strumenti educativi più efficaci e migliorare l'accessibilità all'istruzione, consentendo di far crescere una forza lavoro più qualificata e adatta alle nuove esigenze del mercato.
- **Industria manifatturiera e automazione.** La digitalizzazione e l'IA possono migliorare l'efficienza dei processi produttivi, consentire la produzione su misura e facilitare l'automazione avanzata, incrementando la competitività globale e favorendo la nascita di nuovi settori industriali.
- **Innovazione nella ricerca scientifica.** Esplorazione dei dati per analizzare enormi quantità di dati da diverse fonti, rivelando tendenze e connessioni che potrebbero non essere immediatamente evidenti e potrebbero portare a nuove scoperte e soluzioni innovative. Creazione di modelli e simulazioni, ricerca bibliografica e sintesi, interazione e valorizzazione delle conoscenze.

Tutto ciò riflette la consapevolezza che la **trasformazione tecnologica e digitale offre enormi opportunità, ma comporta anche rischi e scelte, richiedendo quindi un approccio equilibrato che combini innovazione, tutela e adeguate protezioni per cittadini e imprese con la finalità ultima di promuovere il miglioramento della qualità della vita, una economia equa e competitiva, una società aperta, democratica, inclusiva e sostenibile.**

In una prospettiva più ampia, l'uso delle tecnologie digitali e nello specifico dell'IA nella generazione di nuove idee può contribuire a velocizzare il processo di innovazione, stimolare la creatività e portare ad azioni più rapide e incisive. È necessario, tuttavia, non dimenticare che l'innovazione autentica spesso deriva dalla combinazione di intuizione, esperienza e conoscenza umana, a sua volta supportata dalle tecnologie digitali e di calcolo. **Pertanto, è indispensabile mantenere il ruolo attivo del capitale umano e culturale nel processo creativo della ricerca scientifica e dell'innovazione per contribuire agli obiettivi di sostenibilità orientati all'impatto climatico zero e all'uso efficiente e circolare delle risorse.** Ed è proprio in questo scenario che si impongono le opportune valutazioni e cautele affinché l'utilizzo delle tecnologie abilitanti e digitali possa attuarsi con le migliori prospettive di evoluzioni e ricadute positive per la transizione energetica e la società in generale.

La digitalizzazione nel settore dell'energia, come in molti altri settori, faciliterà nel breve-medio termine opportunità e interazioni senza soluzione di continuità tra i diversi attori. Infatti, comunità energetiche, veicoli elettrici, moduli fotovoltaici, pompe di calore e altri dispositivi e componenti sono già dotati di tecnologie intelligenti che generano informazioni e dati e permettono il controllo e la gestione da remoto, l'attivazione e l'erogazione di servizi avanzati.

Investire in tecnologie digitali come dispositivi IoT e contatori intelligenti, connettività 5G e 6G, uno spazio

dati energetico comune e strutturato alimentato da server cloud-edge computing e gemelli digitali delle infrastrutture energetiche, è sempre più rilevante per accelerare la transizione energetica digitale e sostenibile, apportando al contempo benefici di natura collettiva. Le tecnologie digitali possono: sostenere flussi più efficienti di vettori energetici e aumentare l'interconnettività tra i mercati; migliorare le previsioni sulla produzione e la domanda di energia; fornire i dati necessari per abbinare domanda e offerta a un livello più disaggregato e prossimo al tempo reale in un sistema caratterizzato da una pluralità di fonti, vettori e materie prime; responsabilizzare gli utenti finali, cittadini e imprese, consentendo loro di spostare i consumi verso fonti di energia verde o adeguarli o di scambiare energia; stimolare progresso tecnologico, della conservazione ecologica grazie alla disponibilità di sistemi evoluti di acquisizione ed elaborazione di dati e strumenti di gestione, controllo e attuazione che consentano di migliorare l'efficienza dei processi industriali, permettendo una maggiore capacità, prontezza e intelligenza nelle decisioni; rendere più ecologici, ecosostenibili e resilienti le città e gli edifici, contribuendo a ridurre le emissioni urbane e ad aumentare l'efficienza delle risorse, la qualità di vita e dei servizi erogati; favorire trasporti più ecologici grazie a soluzioni di mobilità multimodale più efficienti e virtuose, ossia "mobilità come servizio" o "trasporto come servizio"; permettere, attraverso la condivisione sicura e affidabile di dati e servizi digitali, un'agricoltura intelligente e più verde; favorire la partecipazione dei cittadini nelle iniziative per la sostenibilità facilitando l'accesso alla conoscenza, ai dati e ai servizi, l'espressione delle opinioni ed il coinvolgimento civico; ecc.

La Commissione Europea ha indicato la **Twin Transition** come un pilastro chiave della sua agenda strategica, evidenziando la necessità di un **approccio multifattoriale che integri e armonizzi le transizioni digitali e verdi**. Tuttavia, pur riconoscendo la Twin Transition, quale strategia centrale per accelerare i cambiamenti imprescindibili per il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile e neutralità carbonica, è da considerare che, per quanto le tecnologie digitali hanno e avranno un ruolo decisivo nei processi di transizione energetica, economica, sociale e culturale e nello sviluppo di una società più sostenibile e digitalmente avanzata, è indispensabile **un'evoluzione e un uso del digitale secondo un approccio e un modello affidabile, etico e centrato sull'essere umano in una prospettiva co-evolutiva tra progresso tecnologico, transizione ecologica e sociale**.

Giorgio Graditi

Dall'IA alla blockchain: trasformazione digitale e tecnologie abilitanti per la trasformazione energetica



di **Cristina Corazza**, *Direttore Rivista Energia Ambiente e Innovazione, ENEA*

La trasformazione digitale e le tecnologie abilitanti rappresentano pilastri fondamentali per un futuro sostenibile basato anche sulla trasformazione energetica: grazie al loro potenziale innovativo, possono dare un impulso significativo a diversi settori economici e sociali, nonché favorire i processi di innovazione cruciali per accelerare la decarbonizzazione del sistema energetico ed economico.

La trasformazione digitale è il processo strategico che fornisce il quadro d'insieme necessario all'implementazione delle tecnologie abilitanti finalizzate ad accrescere la varietà, la qualità ed il valore di servizi e prodotti per i fabbisogni dei cittadini e delle imprese.

Questo numero della rivista EAI dal titolo *"Dall'IA alla Blockchain: trasformazione digitale e tecnologie abilitanti per la transizione energetica"* vuole esplorare il legame tra innovazione tecnologica e sostenibilità ambientale, evidenziando come la trasformazione digitale possa contribuire a guidare e supportare la transizione ecologica verso sistemi energetici a zero emissioni. L'obiettivo è di fornire ai lettori una comprensione più approfondita di come lo sviluppo e l'utilizzo delle tecnologie abilitanti e per la digitalizzazione possa contribuire a un futuro più sostenibile.

Attraverso interviste, articoli di scenario, casi studio, nonché approfondimenti sulle soluzioni e le tecnologie sviluppate dall'ENEA, il magazine si propone di offrire una panoramica multi-interdisciplinare sulle applicazioni delle tecnologie digitali - dall'intelligenza artificiale alla blockchain - e sul loro contributo all'automazione e sostenibilità dei processi produttivi, alla riduzione delle emissioni di carbonio, all'ottimizzazione degli usi finali dell'energia, alla penetrazione e diffusione delle energie rinnovabili anche grazie all'utilizzo di sistemi intelligenti e automatizzati.

Ampio spazio viene dato anche alle politiche e le strategie necessarie per promuovere un'economia digitale ecologicamente responsabile, sicura e resiliente, partendo dal presupposto che la trasformazione digitale sta rivoluzionando il settore energetico, introducendo tecnologie avanzate che migliorano l'efficienza, la sostenibilità e la gestione delle risorse. Tra queste, l'intelligenza artificiale (IA) e la blockchain emergono come strumenti chiave per abilitare una transizione energetica più efficace e resiliente.

A intervenire su queste tematiche sono esponenti del mondo della ricerca, delle imprese e delle istituzioni a livello nazionale e internazionale come **Sara Colantonio** dell'Istituto di scienza e tecnologie dell'informazione 'Alessandro Faedi' del CNR, **Anna Corrado**, magistrato Amministrativo e coordinatrice del Gruppo di lavoro sulla digitalizzazione dei contratti pubblici presso il MIT, **Giuseppe De Pietro**, Presidente della Fondazione Fair Future Artificial Intelligence Research, **Stefano Epifani**, Presidente della Fondazione per la Sostenibilità Digitale, **Alessio Jacona** curatore dell'Osservatorio intelligenza artificiale dell'ANSA, **Mario Nobile**, Direttore generale dell'Agenzia per l'Italia Digitale, **Massimo Sideri**, inviato ed Editorialista del Corriere della Sera, Maurizio Tira Presidente del GARR.

Gli intervistati sono il Presidente dell'Ordine Nazionale dei Giornalisti **Carlo Bartoli**, il Generale **Franco Federici** Consigliere militare del presidente del consiglio ed esperto dei temi della cybersicurezza, **Luciano Floridi**, Professor e Founding Director of the Digital Ethics a Yale e Professore di sociologia della Cultura e della Comunicazione all'Università di Bologna, il segretario generale della Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO **Enrico Vicenti** e **Corrado Giustozzi**, docente di cybersecurity.

Dai Focus dei ricercatori ENEA emerge che l'IA sta già cambiando il modo in cui l'energia viene prodotta,

distribuita e consumata con ricadute positive sulla gestione delle reti elettriche, la riduzione degli sprechi e il miglioramento dell'efficienza. Inoltre, grazie all'utilizzo di appositi algoritmi, l'IA può prevedere le tendenze dei consumi di energia, agevolare la pianificazione degli investimenti ed essere utilizzata in diverse attività sul fronte del cambiamento climatico.

Quanto alla blockchain, può offrire trasparenza e sicurezza nelle transazioni energetiche, consentendo la registrazione sicura e immutabile delle transazioni, eliminando la necessità di intermediari e riducendo il rischio di frodi. Da una ricerca fatta con il supporto di chatGPT emerge che nel settore energetico, "la blockchain può essere utilizzata per tracciare l'origine dell'energia, garantendo che provenga da fonti rinnovabili e riducendo il fenomeno del greenwashing. Un'applicazione innovativa della blockchain è il commercio peer-to-peer di energia, dove i consumatori possono scambiare energia direttamente tra loro, creando comunità energetiche più sostenibili e resilienti. Inoltre, facilita la gestione dei certificati verdi e dei crediti di carbonio, promuovendo pratiche più ecologiche e sostenibili".

Oltre all'IA e alla blockchain, altre tecnologie digitali stanno contribuendo alla trasformazione energetica. L'Internet of Things (IoT) consente lo sviluppo di reti energetiche intelligenti, dove dispositivi connessi monitorano e ottimizzano il consumo energetico in tempo reale.

Il cloud computing offre la capacità di elaborare e archiviare grandi quantità di dati, migliorando la gestione delle reti energetiche e favorendo l'integrazione delle fonti rinnovabili.

I digital twin, modelli virtuali delle infrastrutture energetiche, permettono di simulare e ottimizzare le operazioni, riducendo i costi e migliorando l'efficienza. Infine, le tecnologie di accumulo dell'energia, come le batterie avanzate, sono essenziali per garantire una fornitura energetica continua e stabile, soprattutto quando si utilizzano fonti rinnovabili intermittenti.

Di fatto, quindi, la trasformazione digitale, guidata dall'IA, dalla blockchain e da altre tecnologie abilitanti, sta rivoluzionando il settore energetico. Le innovazioni descritte migliorano non solo l'efficienza e la sostenibilità, ma promuovono una gestione più trasparente e resiliente delle risorse energetiche. La transizione verso un futuro energetico più sostenibile è ormai inevitabile, e le tecnologie digitali sono al centro di questa trasformazione.

N. 3 Gennaio 2025

Direttore Responsabile

Cristina Corazza

Coordinamento Editoriale

Paola Giaquinto

Comitato di direzione

Ilaria Bertini, Claudia Brunori, Alessandro Coppola, Alessandro Dodaro, Giorgio Graditi, Giulia Monteleone

Redazione

Laura Di Pietro, Roberto De Ritis, Laura Moretti, Antonio Opromolla

Lingua inglese

Fabiola Falconieri

Progetto Grafico

Paola Carabotta

Grafica e Impaginazione

Flavio Miglietta

Elaborazione Grafica Copertina

Maurizio Giuliani

Edizione web

Antonella Andreini

Stampa

Laboratorio Tecnografico
Centro Ricerche ENEA Frascati
Numero chiuso nel mese di dicembre 2024

Registrazione

Tribunale Civile di Roma
Numero 42/2019 del 28 marzo 2019
(versione stampata)
Numero 43/2019 del 28 marzo 2019
(versione telematica)

Foto in copertina: elaborazione AI



23 Rendere l'Italia un polo di eccellenza nel panorama internazionale dell'IA di *Giuseppe De Pietro*

- 1 Dall'IA alla IoT: trasformazione digitale e tecnologie abilitanti per la transizione ecologica e sociale
di Giorgio Graditi
- 4 Dall'IA alla blockchain: trasformazione digitale e tecnologie abilitanti per la trasformazione energetica
di Cristina Corazza

GLI INTERVENTI

- 8 La trasformazione digitale: il ritorno dell'investigatore olistico
di Gianluca Calabretta
- 13 Transizione energetica e trasformazione digitale: un binomio necessario
di Giulia Monteleone

GLI SCENARI

- 16 L'IA: le sfide che ci aiuta ad affrontare e quelle che ci pone
di Sara Colantonio
- 20 Intelligenza artificiale e pubblica amministrazione
di Anna Corrado
- 23 Rendere l'Italia un polo di eccellenza nel panorama internazionale dell'IA
di Giuseppe De Pietro
- 26 Sostenibilità digitale: attenzione alle semplificazioni!
di Stefano Epifani
- 29 IA di qualità per dati affidabili e di livello
di Sergio Ferraris e Alessandro Baltaro
- 31 Raccontare l'innovazione guidata dall'IA
di Alessio Jacona
- 34 La sinergia tra rivoluzione digitale e transizione energetica
di Mario Nobile
- 37 Ma le macchine possono pensare?
di Massimo Sideri
- 39 Supercalcolo, IA e infrastrutture digitali: il valore della condivisione
di Maurizio Tira

LE INTERVISTE

- 42 Carlo Bartoli: L'IA non può sostituire il giornalista
- 45 Franco Federici: L'IA è fondamentale per migliorare la resilienza delle infrastrutture critiche
- 49 Luciano Floridi: L'intelligenza artificiale è un ossimoro

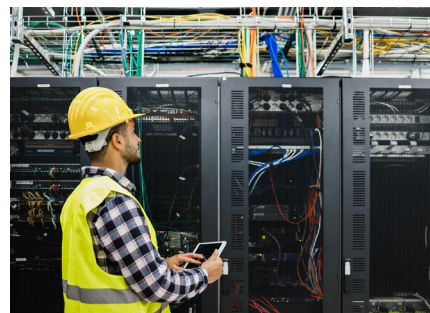
Sommario



16 L'IA: le sfide che ci aiuta ad affrontare e quelle che ci pone
di Sara Colantonio



20 Intelligenza artificiale e pubblica amministrazione
di Anna Corrado



39 Supercalcolo, IA e infrastrutture digitali: il valore della condivisione
di Maurizio Tira

- 52** Corrado Giustozzi: Per ogni tecnologia è imprescindibile una *governance* etica
- 55** Enrico Vicenti: La tecnologia deve sostenere sviluppo sostenibile e obiettivi etici

FOCUS ENEA

- 59** Il Digital Twin in ambienti estremi
di Gianluca Bianchi Fasani, Samuele Pierattini, Riccardo Scipinotti
- 62** L'intelligenza artificiale al servizio delle reti e microreti elettriche
di Amedeo Buonanno e Maria Valenti
- 66** L'intelligenza artificiale per i servizi climatici
di Sandro Calmanti, Elena Tomasi, Gabriele Franch
- 69** IA e scienza dei materiali: rivoluzione per il futuro del settore energetico
di Massimo Celino e Giovanni Ponti
- 72** Intelligenza artificiale e robot: i due pilastri abilitanti della transizione energetica
di Stefano Chiesa, Saverio De Vito, Sofia Dutto, Marco Paoloni, Gabriele Piantadosi, Sergio Taraglio, Andrea Zanella e Girolamo Di Francia

- 77** L'intelligenza artificiale a supporto della manifattura additiva
di Giovanni Di Girolamo e Giuseppe Barbieri
- 80** L'Osservatorio sottomarino di Smart Bay S. Teresa e il Digital Twin
di Chiara Lombardi, Giancarlo Raiteri, Andrea Bordone, Tiziana Ciuffardi, Massimiliano Palma, Gianmaria Sannino
- 84** IA per l'ottimizzazione di molecole terapeutiche e di trattamenti medici di precisione
di Nicolò Colistra, Francesca Camera, Paolo Roberto Saraceni, Arianna Casciati, Mirella Tanori, Caterina Arcangeli, Caterina Merla
- 87** Il futuro dei beni culturali: i Digital Twin e la nuova frontiera della transizione digitale
di Marialuisa Mongelli, Gianluca Calabretta, Giovanni Ponti
- 90** In Italia l'IA è in forte crescita, +34% nel 2024
di Laura Moretti

- 92** Le applicazioni della Blockchain al servizio di territori e infrastrutture
di Laura Blaso, Gianluca D'Agosta, Gilda Massa, Claudia Meloni, Fabio Moretti, Stefano Pizzuti, Maurizio Pollino, Alberto Tofani
- 97** Infrastrutture critiche, trasformazione digitale e tecnologie abilitanti
di Maurizio Pollino
- 99** L'infrastruttura ENEA per il supercalcolo HPC e l'IA
di Giovanni Ponti, Angelo Mariano, Massimo Celino, Francesco Iannone
- 103** Cybersicurezza dei sistemi energetici
di Maria Valenti, Giovanna Adinolfi, Roberto Ciavarella, Massimo Celino
- 106** L'infrastruttura di ricerca METROFOOD per la digitalizzazione delle filiere agroalimentari
di Claudia Zoani, Valeria Poscente, Emilia Pucci, Claudia Scagliarino, Massimo Iannetta

Gli interventi

La trasformazione digitale: il ritorno dell'investigatore olistico

La trasformazione digitale all'interno delle organizzazioni richiede un corretto bilanciamento di tecnologie, persone e processi. Gli investimenti nelle competenze digitali e lo sviluppo di standard e linee guida comuni per la sostenibilità tecnologica sono essenziali per governarne il corretto impatto sociale e ambientale. E se l'emergere di tecnologie abilitanti, come l'AI generativa, promette di accelerare ulteriormente il processo di innovazione, la sostenibilità e l'impatto sociale dovranno diventare sempre più centrali nella progettazione di percorsi di trasformazione digitale.



di Gianluca Calabretta, Direttore della Direzione Transizione Digitale, Trattamento e Protezione Dati (DIGIT) - ENEA

Digitalizzazione, Transizione Digitale, Trasformazione Digitale sono termini ricorrenti e spesso utilizzati come sinonimi di un singolo concetto astratto che, nell'intento dell'interlocutore, dovrebbero evocare innovazione, miglioramento e un cambiamento positivo nell'esperienza quotidiana di lavoratore, consumatore. In realtà, la letteratura specialistica tende a separare nettamente la digitalizzazione e la trasformazione digitale, proponendone la transizione digitale come una *nuance* intermedia.

La trasformazione digitale è da intendersi come un processo complessivo che implica un cambiamento radicale nei modelli di business, nelle culture aziendali e nelle esperienze degli utenti/clienti, attraverso l'adozione e l'integrazione di tecnologie digitali. L'obiettivo è cambiare radicalmente il modo in cui le organizzazioni operano, producono e forniscono valore a tutti i propri stakeholders. Essa è quindi basata su un ambito ampio e strategico; obbliga a introdurre una modifica alla cultura organizzativa; impatta tecnologie, processi e la tipologia di leadership, per approccio e visione, necessaria alla messa a terra di tale trasformazione.





La digitalizzazione ha, invece, un ambito operativo più ristretto si concentra principalmente sull'uso della tecnologia per automatizzare e ottimizzare i processi già esistenti. Non di rado ci si riferisce ad essa come all'attività di conversione di processi e informazioni analogiche in formato digitale, alla ricerca un miglioramento dell'efficienza operativa e dell'accuratezza dei risultati prodotti.

La prima ha, quindi, un raggio d'azione più ampio e strategico, la seconda più ristretto e, per così dire, tattico.

La transizione digitale, invece, rappresenta un processo graduale di adattamento e implementazione di tecnologie digitali in un'organizzazione; si concentra sul miglioramento dei flussi di lavoro e delle operazioni quotidiane, facilitando l'adozione di tecnologie, senza necessariamente comportare un cambiamento strategico radicale del modello aziendale.

Le definizioni sono utili a delinearne le rispettive peculiarità, l'utilità pratica è comprenderne la corretta sequenza temporale e la collocazione delle relative azioni, nell'ambito della strategia digitale complessiva di un'organizzazione alla ricerca di efficienza e competitività nella produzione di valore.

Il Panorama della Trasformazione Digitale attraverso le tecnologie abilitanti

Indipendentemente dalle definizioni, è patrimonio comune che l'evoluzione stia ridisegnando profondamente il panorama operativo e sociale delle organizzazioni e dei cambiamenti nelle aspettative dei propri utenti. **Le organizzazioni si trovano ad affrontare una rivoluzione che va ben oltre la semplice adozione di nuove tecnologie.**

Uno dei cambiamenti più significativi, indotta dall'adozione pervasiva di tali tecnologie, si manifesta nella transizione in corso verso modelli di business basati sulla **servitizzazione**. Le aziende stanno progressivamente abbandonando l'approccio tradizionale, basato sulla vendita di prodotti, per abbracciare modelli a sottoscrizione. Questo fenomeno, noto come **"Everything-as-a-Service" (XaaS)**, sta ridefinendo interi settori. Ad esempio, nel settore manifatturiero, aziende che tradizionalmente vendevano macchinari ora offrono soluzioni complete che includono manutenzione predittiva, ottimizzazione delle prestazioni e servizi di analisi dei dati. Altro trend significativo è rappresentato dall'economia delle piattaforme: aziende come Uber, Airbnb e Amazon hanno dimostrato l'efficacia di modelli di business basati sulla creazione di ecosistemi digitali che facilitano l'interazione tra diversi attori del mercato. Questa tendenza si sta oramai espandendo in settori tradizionali,



con banche che creano marketplace finanziari e produttori che sviluppano piattaforme per connettere fornitori, distributori e clienti. Questi esempi obbligano a riflettere su cambi di paradigma ed effetti indiretti che non sempre sono di facile gestione: un esempio è quello delle pubbliche amministrazioni che, coinvolte nei processi migratorie al Cloud, hanno visto trasformata la propria spesa in ICT, da investimento in conto capitale (*capex*) a spesa corrente (*opex*), e doverne valutare gli impatti sui relativi bilanci diversamente dal consueto.

Tra le tecnologie, l'Intelligenza Artificiale (AI) rappresenta uno dei principali catalizzatori della trasformazione digitale. Le applicazioni spaziano dall'automazione dei processi all'analisi predittiva, dalla personalizzazione dell'esperienza cliente al supporto decisionale. **I Large Language Models (LLM) stanno rivoluzionando l'interazione uomo-macchina, mentre il machine learning (ML) sta ottimizzando processi operativi e decisionali in ogni settore industriale.** Il Cloud Computing continua a evolversi, con l'emergere di architetture multi-cloud e edge computing. Questa evoluzione permette alle organizzazioni di bilanciare scalabilità, performance e conformità normativa.

L'edge computing, in particolare, sta abilitando nuovi casi d'uso nell'Internet of Things (IoT), consentendo l'elaborazione dei dati più vicino alla fonte e riducendo la latenza. L'IoT sta trasformando prodotti tradizionali in dispositivi intelligenti interconnessi che generano un flusso continuo di dati che alimenta processi decisionali e servizi innovativi

abilitando la manutenzione predittiva, l'ottimizzazione della produzione e la gestione intelligente delle risorse. In parallelo ai trend tecnologici, sono ben delineate le trasformazioni facilitate dalla disponibilità delle stesse tecnologie. **Tra queste risaltano sicuramente le RPA (Robotic Process Automation), che combinate con l'IA puntano verso l'iperautomazione dei processi di produzione, e i Digital Twin che stanno rivoluzionando la gestione degli asset.** Questi *gemelli digitali* permettono di simulare e ottimizzare operazioni complesse in tempo reale, migliorando l'efficienza operativa, riducendo i rischi e pianificando opportunamente la manutenzione. La cybersecurity sta evolvendo verso approcci basati sull'AI e ML. I Security Operations Center (SOC) utilizzano correntemente analisi predittiva e automazione per identificare e rispondere alle minacce in tempo reale. *Zero Trust* e *Identity-first security* stanno emergendo come paradigmi dominanti nella sicurezza digitale. La *privacy by design* sta diventando un principio fondamentale nella trasformazione digitale, anche attraverso l'implementazione di *privacy-enhancing computation* che permettono di elaborare dati sensibili mantenendo la riservatezza.

Infine, in questa rapida occhiata sui principali trend, un breve cenno va indirizzato a come **l'organizzazione del lavoro stia evolvendo verso modelli ibridi che combinano presenza fisica e remote working, grazie alle tecnologie collaborative e agli strumenti di produttività con un approccio all'innovazione verso modelli più agili e sperimentali. Le organizzazioni stanno adottando metodologie come il design thinking e il lean startup per accelerare l'innovazione, e gli innovation lab e gli ecosistemi di open innovation stanno facilitando la collaborazione tra grandi organizzazioni, startup e centri di ricerca.**

L'importanza dell'Investimento nelle Competenze Digitali

Nell'ambito della trasformazione digitale, l'investimento nelle competenze digitali (digital skills) rappresenta una necessità imprescindibile per individui, organizzazioni e società nel loro complesso. La rapidità con cui le tecnologie evolvono richiede un approccio sistematico e continuo all'apprendimento digitale, non solo per rimanere competitivi nel mercato del lavoro, ma anche per comprendere e gestire le profonde implicazioni etiche e di sostenibilità che queste trasformazioni comportano.



Secondo il World Economic Forum ¹, entro il 2025, il 50% di tutti i lavoratori avrà bisogno di una significativa riqualificazione delle proprie competenze digitali. Questo dato evidenzia **l'urgenza di un investimento massiccio nella formazione digitale, non solo a livello individuale ma anche a livello sistemico e istituzionale.**

Il divario digitale (digital gap) rappresenta una delle sfide più critiche da affrontare. I dati Eurostat ² mostrano che in Europa circa il 42% della popolazione adulta non possiede competenze digitali di base, con significative variazioni tra i diversi paesi membri. Questo gap non si manifesta solo in termini di competenze tecniche, ma anche nella capacità di comprendere e gestire le implicazioni etiche delle nuove tecnologie, creando potenziali rischi di esclusione sociale e professionale. Le competenze digitali non si limitano alla mera capacità di utilizzare dispositivi e software. Esse includono la comprensione critica delle tecnologie, la capacità di valutarne l'impatto sociale ed ambientale, e la consapevolezza delle questioni etiche correlate. **L'avvento dell'intelligenza artificiale, per esempio, solleva questioni complesse riguardanti la privacy, l'equità algoritmica e la responsabilità delle decisioni automatizzate.** L'Osservatorio Artificial Intelligence ³ del Politecnico di Milano indica come la comprensione di questi aspetti etici sia essenziale per lo sviluppo e l'implementazione responsabile delle tec-

¹ World Economic Forum, "The Future of Jobs Report 2023"

² Eurostat, "Digital Economy and Society Statistics", 2023

³ Osservatorio Artificial Intelligence, Politecnico di Milano, "Rapporto 2023"



nologie digitali. La Commissione Europea ⁴ ha stabilito che entro il 2030 almeno l'80% della popolazione europea dovrebbe possedere competenze digitali di base, evidenziando l'importanza di un approccio sistemico alla formazione digitale. Tale obiettivo ci obbliga come Stato membro a fornire la formazione digitale di base a circa 20 milioni di cittadini entro il 2030.

Il digital gap è una delle principali sfide per il futuro economico e sociale in Italia

Il digital gap in Italia rappresenta una delle principali sfide per il futuro economico e sociale del paese, compromettendo la competitività e rallentando l'innovazione. Secondo il DESI (Digital Economy and Society Index) solo il 45,8% della popolazione italiana possiede competenze digitali di base, un valore significativamente inferiore alla media europea del 55,6%.

Entro il 2026, si stima che l'Italia avrà bisogno di sviluppare competenze digitali di base per circa 2 milioni di lavoratori per soddisfare le esigenze del mercato. La mancanza di competenze non riguarda solo le abilità fondamentali: oltre il 75% dei lavoratori ha mostrato lacune nella cybersecurity e in conoscenze adeguate in AI.

Una delle principali cause di questo gap è la carenza di un sistema formativo adeguato, incapace di fornire le competenze richieste in tempi rapidi. **Il sistema educativo tradizionale non riesce a preparare i giovani alle reali esigenze del mercato del lavoro, trascurando le abilità specifiche necessarie nei settori in crescita come la tecnologia e la scienza.** È necessario, quindi, ripensare i curricula formativi per includere non solo competenze tecniche, ma anche soft skills digitali come il pensiero critico digitale, la collaborazione online e la cittadinanza digitale responsabile. È assolutamente necessario che le istituzioni educative, aventi un ruolo fondamentale in questo processo, collaborino con le imprese per garantire che i programmi formativi siano allineati alle esigenze del mercato, promuovendo iniziative che incentivino l'acquisizione di competenze digitali dalla scuola primaria fino all'Università.

La sostenibilità digitale

"TANSTAAFL!". Nonostante l'aspetto da grido di guerra vichingo, l'acronimo dell'espressione "There Ain't No Such

Thing As A Free Lunch", che in italiano si può tradurre con "Non esistono pasti gratis", è ricorrente in economia e ci riporta alla dimensione critica della trasformazione digitale. La trasformazione digitale, come la transizione ecologica, sono variazioni nella società che prevedono dei benefici concreti di medio e lungo periodo, ma che non possono avvenire in assenza di investimenti e costi significativi, a qualsiasi scala dell'organizzazione coinvolta. Questi investimenti iniziali, a sostegno delle policy da implementare, è necessario siano affiancati dalle valutazioni critiche più generali sulle modalità di evoluzione delle tecnologie abilitanti, dove la necessità di controllare e gestire l'impatto di queste stesse tecnologie è cruciale per garantire uno sviluppo davvero sostenibile nel lungo termine.

L'addestramento e l'esecuzione dei modelli di AI richiedono, ad esempio, quantità di energia significative. È stato stimato che un singolo ciclo di addestramento di un grande modello linguistico può consumare l'equivalente del fabbisogno energetico annuale di diverse abitazioni (l'addestramento di un modello come GPT-3 avrebbe richiesto circa 1300 MWh di energia elettrica, producendo circa 552 tonnellate di CO2 equivalente ⁵; questo consumo è paragonabile all'impronta carbonica annuale di circa 120 abitazioni americane), e le operazioni di inferenza, ovvero l'utilizzo pratico dei modelli già addestrati, possono consumare tra 0,5 e 1 kWh per milione di query.

Tuttavia, modelli di stima così complessi con tante variabili soggette a frequente variazione e nel caso di fenomeni così dirompenti, non permettono di assumere con certezza i trend di consumo indicati. **Se da una parte, infatti, vi sono proiezioni che indicano come il 2026 il consumo energetico dei data center dedicati all'AI potrebbe aumentare del 50-75% ⁶, altre correnti di pensiero sostengono che il maggiore consumo di energia elettrica attribuibile allo sviluppo dell'AI, sarebbe controbilanciato dai risparmi ottenibili grazie ai recuperi di efficienza resi possibili proprio dall'AI stessa.**

Analogamente, la tecnologia blockchain, nella sua implementazione più nota delle criptovalute, presenta sfide significative dal punto di vista della sostenibilità. Il processo di mining, basato sul protocollo Proof of Work, richiede una potenza di calcolo considerevole; nel caso del Bitcoin, ad esempio, l'Università di Cambridge ha creato il CBECI

⁴ Commissione Europea, "Digital Compass 2030"

⁵ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.10350> "Carbon Emissions and Large Neural Network Training"

⁶ Secondo l'International Energy Agency (IEA), i data center che ospitano i sistemi di AI consumano già circa l'1% dell'elettricità globale, con proiezioni che indicano un possibile aumento al 3-4% entro il 2030 se non verranno implementate significative misure di efficientamento



(Cambridge Bitcoin Estimate Index)⁷ ossia uno strumento in grado di calcolare in tempo reale una stima del limite inferiore e di quello superiore dell'elettricità assorbita annualmente dalle operazioni di mining, aggiornato ogni 24 ore. Al momento di redazione del presente articolo il valore medio stimato si posizionava ad un valore annualizzato pari a 166,68 TWh (superiore al consumo annuale di circa 7 Milioni di abitanti). Infine, per ciò che attiene il consumo di energia e di acqua dei Data Center, centri nevralgici della Trasformazione digitale, uno studio del 2022, affermava che i Data Center Google consumassero 20 miliardi di litri di acqua dolce per il raffreddamento con un aumento del 20% rispetto all'anno precedente e un aumento nello stesso periodo di circa il 34% per i Data Center Microsoft. Provando a isolare il contributo dell'IA a tale incremento, alcune stime suggerivano un consumo equivalente, minimo, di mezzo litro d'acqua ogni 50 domande.

In definitiva, se i modelli e le stime possono essere oggetto di critiche, la certezza che il fenomeno non sia trascurabile è evidenziato dall'impegno delle stesse aziende Microsoft, Meta e Google a diventare "net water positive" e a reintegrare entro il 2030 una quantità d'acqua superiore a quella utilizzata nelle loro attività dirette.

Inoltre a marzo 2024, la Commissione Europea ha approvato un nuovo regolamento⁸ che istituisce un sistema di valutazione della sostenibilità dei data center. In base al regolamento entro il 15 settembre 2024 gli operatori dovranno riportare al database europeo i principali indicatori di performance idrica ed energetica, con il primo aggiornamento fissato entro il 15 maggio 2025. Al momento, gli obblighi di rendicontazione e le eventuali misure per la riduzione del consumo energetico e idrico riguardano solo i data center situati in Europa, ma le normative ambientali dell'Ue spesso sono da modello per gli altri Paesi extraeuropei.

La collaborazione tra industria, ricerca e regolatori sarà fondamentale per la sostenibilità tecnologica

La forte multidisciplinarietà, l'approccio poliedrico e l'attenzione alle tematiche di innovazione, energia e sostenibilità ambientale di un' Agenzia pubblica di ricerca come ENEA consentono di intercettare facilmente molti dei trend e dei punti di attenzione citati nel presente articolo, grazie anche al proprio ruolo di interlocutore e/o partner in progetti di ricerca a valenza sovranazionale.

Nel presente articolo, in particolare, si è cercato di evidenziare come l'avvio di azioni di trasformazioni digitali all'interno delle organizzazioni necessiti di un approccio olistico che bilanci tecnologie, persone e processi. L'investimento nelle competenze digitali rappresenta una priorità strategica per il futuro. Il digital skill gap, non solo in Italia, rappresenta una sfida significativa che richiede un intervento coordinato da parte di governi, delle istituzioni educative e delle imprese. Attraverso l'impegno collettivo è possibile colmare questo divario e garantire un passo fondamentale verso un futuro più inclusivo e sostenibile per tutti.

Investire nelle competenze digitali significa investire nel futuro economico e sociale, garantendo a ciascuno i benefici provenienti dalle opportunità offerte dalle tecnologie in continua evoluzione.

Le organizzazioni, alle diverse scale operative, dovranno bilanciare innovazione e responsabilità, creando valore e adottando framework di governance che integrino considerazioni di sostenibilità fin dalle prime fasi di progettazione e sviluppo delle soluzioni tecnologiche, includendo la valutazione dell'efficienza energetica come criterio chiave nella selezione e ottimizzazione degli algoritmi, e la preferenza per soluzioni che bilancino prestazioni e impatto ambientale. **La collaborazione tra industria, ricerca e regolatori sarà fondamentale per sviluppare standard e linee guida comuni per la sostenibilità tecnologica.**

In conclusione, si può affermare che se l'emergere di tecnologie abilitanti, come l'AI generativa, promette di accelerare ulteriormente il processo di innovazione, la sostenibilità e l'impatto sociale dovranno diventare sempre più centrali nella progettazione di percorsi di trasformazione digitale.

NdA: L'IA ha contribuito a trasformare idee e suggestioni presenti nella mente dell'autore, nelle immagini del presente articolo. Nessuna IA è stata maltrattata durante l'interazione uomo-macchina.

⁷ <https://ccaf.io/cbnsi/cbeci>

⁸ https://energy.ec.europa.eu/news/commission-adopts-eu-wide-scheme-rating-sustainability-data-centres-2024-03-15_en



Transizione energetica e trasformazione digitale: un binomio necessario

Le tecnologie digitali sono e saranno sempre più indispensabili nel mondo del lavoro, dell'apprendimento, dell'intrattenimento, per socializzare, fare acquisti ed erogare e accedere a qualsiasi servizio, dalla sanità alla cultura, dai trasporti al sociale. La digitalizzazione avrà un ruolo di primo piano soprattutto nello sviluppo del nuovo modello energetico. E' essenziale mantenere un approccio equilibrato e responsabile, promuovendo la trasparenza, l'etica e una governance efficace delle tecnologie emergenti, per un risultato che sia inclusivo e orientato al bene comune.



di Giulia Monteleone, Direttore del Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili - ENEA

Per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione dettati dal RePowerEU, dobbiamo affrontare una serie di sfide importanti, quali ad esempio l'obbligo dell'installazione di moduli fotovoltaici sui tetti di tutti i nuovi edifici commerciali e pubblici a partire dal 2026 e su tutti i nuovi edifici residenziali a partire dal 2029, l'obbligo per 10 milioni di pompe di calore entro il 2027 e 40 milioni entro il 2030, e la sostituzione di 30 milioni di automobili con veicoli a emissioni zero in circolazione entro il 2030. **Tutto ciò sarà possibile solo se l'Europa sarà in grado di costruire un sistema energetico adeguato al nuovo modello di sviluppo: un sistema energetico integrato, flessibile, interattivo e digitalizzato.**

L'Unione Europea (UE) ha piena coscienza che la tecnologia digitale svolgerà un ruolo fondamentale nella trasformazione dell'economia e della società e nel perseguimento dell'obiettivo della neutralità climatica nel 2050. La digitalizzazione è una priorità della Commissione Europea che il 9 marzo 2021 ha annunciato la propria strategia digitale, attraverso la "bussola per il digitale" definendo gli obiettivi al 2030: perseguire politiche per raggiungere la

sovranità digitale in un mondo interconnesso, sviluppando tecnologie e competenze e dotando i cittadini e le imprese di tutti gli strumenti necessari per sfruttare i benefici della trasformazione digitale e contribuire al tempo stesso a costruire una società più verde, decarbonizzata, sostenibile e competitiva.

Negli ultimi anni l'UE ha infatti promulgato numerose iniziative, misure e leggi volte a regolare gli aspetti del panorama digitale (Legge sui Servizi Digitali, Regolamento Mercati Digitali, Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati, Regolamento sull'Intelligenza Artificiale, Data Act, ecc.) dal momento che aspetti quali l'interoperabilità dei dati, la sicurezza dell'approvvigionamento, la cibersicurezza, la vita privata e la protezione dei consumatori non possono essere lasciati al solo mercato e un'adeguata attuazione è essenziale. **Le tecnologie digitali sono e saranno quindi sempre di più indispensabili nel mondo del lavoro, dell'apprendimento, dell'intrattenimento, per socializzare, fare acquisti ed erogare e accedere a qualsiasi servizio, dalla sanità alla cultura, dai trasporti al sociale.**

Per la digitalizzazione un ruolo di primo piano

La digitalizzazione avrà un ruolo di primo piano soprattutto nello sviluppo del nuovo modello energetico.

Ad esempio, le reti energetiche del futuro dovranno gestire e integrare una produzione di energia da fonti rinnovabili sempre più distribuita, dovendosi adattare a un sistema energetico più decentralizzato e flessibile a livello locale in cui gli utenti potranno contribuire attivamente, ad esempio con l'immissione di biometano prodotto da rifiuti organici nelle reti del gas e di energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici nelle reti elettriche o attraverso la ricarica dei veicoli elettrici bidirezionali.

Grazie all'uso delle tecnologie digitali sarà possibile monitorare e gestire in modo efficiente e intelligente i consumi e migliorare la manutenzione predittiva degli impianti favorendo sempre di più l'integrazione di fonti rinnovabili e vettori puliti nel sistema energetico. Ciò sarà reso possibile grazie alla presenza di sensori integrati nelle reti e all'implementazione di tecnologie evolute in ambito ICT, quali l'Internet of Things (IoT), la blockchain, l'Intelligenza Artificiale (IA), il machine learning, i big data, Internet di nuova generazione (NGI) e le logiche di gestione e controllo avanzate. Tramite l'IoT, che collega il mondo fisico a un ambiente digitale in cui gli oggetti connessi riportano il loro stato e l'ambiente che li circonda, è possibile, ad esempio, utilizzare un orologio intelligente per monitorare la salute o la forma fisica, o controllare se il sistema di allarme domestico è acceso o attivare l'accensione o lo spegnimento di sistemi di condizionamento ambientale nelle nostre case, etc. Si stima che il numero di dispositivi IoT attivi nel mondo possa crescere rapidamente e superare i 25,4 miliardi nel 2030.

Combinando, inoltre, sistemi robotici dotati di sensori evoluti e algoritmi di intelligenza artificiale in grado di elaborare rapidamente grandi quantità di dati, sarà possibile ottimizzare tutte le attività di Operation&Maintenance (O&M) dei nuovi impianti per la produzione di energia rinnovabile: le ispezioni del sito potranno diventare autonome e più efficienti, la manutenzione predittiva potrà anticipare i guasti delle apparecchiature, riducendo al minimo i tempi di fermo dell'impianto, il monitoraggio e il controllo a distanza degli impianti potranno permettere di operare a distanza, migliorando l'efficienza e rivoluzionando i protocolli di sicurezza.

L'uso di tecnologie digitali come i dispositivi e i contatori IoT intelligenti oltre a favorire la transizione verso la decarbonizzazione, potrà apportare al contempo benefici alla vita quotidiana. Ad esempio, potranno: aiutare a vi-



sualizzare il consumo energetico in tempo reale e ricevere indicazioni su misura su come ridurlo; controllare automaticamente le temperature degli ambienti preservando al contempo un ambiente interno confortevole e salubre; gestire la carica delle auto elettriche e l'accensione degli elettrodomestici in funzione dell'andamento dei prezzi dell'energia. Con gli strumenti digitali, le pubbliche autorità potranno mappare, monitorare e affrontare meglio la povertà energetica, mentre gli operatori del settore energetico potranno ottimizzare le proprie operazioni ed accrescere il livello di flessibilità e resilienza degli impianti di produzione e delle infrastrutture di rete.

Abilitare il binomio transizione energetica e trasformazione digitale

Per abilitare il binomio transizione energetica e trasformazione digitale, sarà quindi necessario:

- promuovere investimenti nella rete elettrica quale fattore abilitante per un sistema energetico più intelligente e resiliente e un piano coordinato a livello dell'UE per accelerare la diffusione delle necessarie soluzioni digitali;
- consentire ai consumatori, compresi i più vulnerabili o con scarse competenze digitali, di beneficiare delle opportunità offerte dalla transizione energetica (es. adesione a comunità energetiche);
- affrontare il consumo energetico delle tecnologie digitali e promuovere una maggiore efficienza e circolarità;
- promuovere la connettività, l'interoperabilità e lo scambio continuo di dati tra i diversi attori, nel rispetto della vita privata e della protezione dei dati;
- migliorare la sicurezza informatica, con sforzi e investimenti continui;
- progettare una governance efficace che favorisca ricerca, innovazione e sviluppo competitivo.



Per tradurre le ambizioni digitali dell'UE per il 2030 in obiettivi concreti e per abilitare al tempo stesso il percorso verso la decarbonizzazione, bisognerà adottare un approccio integrato, coordinato e trasversale, che abbia come filo conduttore la "smartizzazione" dell'intero sistema energetico inteso come insieme di reti e infrastrutture critiche e non, sistemi di produzione, trasporto, distribuzione, stoccaggio e usi finali.

Tale processo non potrà prescindere dal contributo di programmi, iniziative e attività di ricerca, sviluppo, dimostrazione e innovazione; i progressi nelle energie rinnovabili, nell'IoT e nelle tecnologie blockchain potranno catalizzare la transizione, promuovendo un'economia circolare e catene di approvvigionamento virtuose e resilienti. **Abbracciare la digitalizzazione con un approccio guidato dalla sostenibilità non solo promuoverà la crescita economica e sociale, ma mitigherà anche gli impatti ambientali aprendo la strada a un futuro più sostenibile e inclusivo.**

Tuttavia, accanto alle enormi potenzialità riconosciute alle

tecnologie digitali non vanno trascurati i molti dibattiti in corso come quelli su tematiche etiche e sociali e quelli sulle tematiche energetiche. Ad esempio, l'IA è una tecnologia energivora che impatta a livello globale in quanto i migliori risultati dipendono da un consumo energetico incrementale, quindi, il suo crescente utilizzo potrebbe portare a un aumento della domanda energetica. È importante sottolineare che ci sono soluzioni per mitigare questo impatto (es. ottimizzazione energetica dei Data Center), nonché opportunità per poter sfruttare l'IA stessa in alcuni ambiti applicativi, con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici, favorire la penetrazione delle energie rinnovabili ed il ricorso a tecnologie a basso impatto ambientale.

In conclusione, **è essenziale mantenere un approccio equilibrato e responsabile, promuovendo la trasparenza, l'etica e la governance efficace delle tecnologie emergenti, per un risultato che sia inclusivo e orientato al bene comune.**

L'IA: le sfide che ci aiuta ad affrontare e quelle che ci pone

L'Intelligenza Artificiale (IA) si afferma oggi come una delle forze più rivoluzionarie della società contemporanea, con un grande potenziale di trasformare profondamente settori come la sanità, i trasporti, la finanza, l'intrattenimento, l'agricoltura, l'industria e la gestione ambientale. Dopo anni di ricerche e sviluppi, molte delle aspettative che per tanto tempo hanno animato il mondo scientifico stanno finalmente prendendo forma. Grazie all'avanzamento di algoritmi predittivi e generativi che sfruttano enormi volumi di dati, l'IA è pronta a supportare il nostro approccio alle sfide globali, tra cui il cambiamento climatico e la transizione energetica.

DOI 10.12910/EAI2025-002



di Sara Colantonio, Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo" - Area della Ricerca CNR di Pisa

Il concetto di intelligenza artificiale può essere fatto risalire alla metà del XX secolo, quando pionieri come Alan Turing introdussero l'idea di macchine in grado di simulare l'intelligenza umana. Il termine "intelligenza artificiale" fu coniato formalmente da John McCarty nel 1956 durante la conferenza di Dartmouth, un incontro in cui vari ricercatori si riunirono per discutere della possibilità di creare macchine intelligenti. Ancor prima, il lavoro pionieristico di McCulloch e Pitt, che, nel 1943, durante una delle conferenze Macy, introdussero il modello di neurone artificiale, segnò un punto di partenza cruciale per i grandi successi attuali. I primi sistemi di IA si concentrarono sul ragionamento simbolico, sulla risoluzione dei problemi e sul gioco. Tuttavia, a causa delle limitazioni nella potenza di calcolo e nella disponibilità di dati,

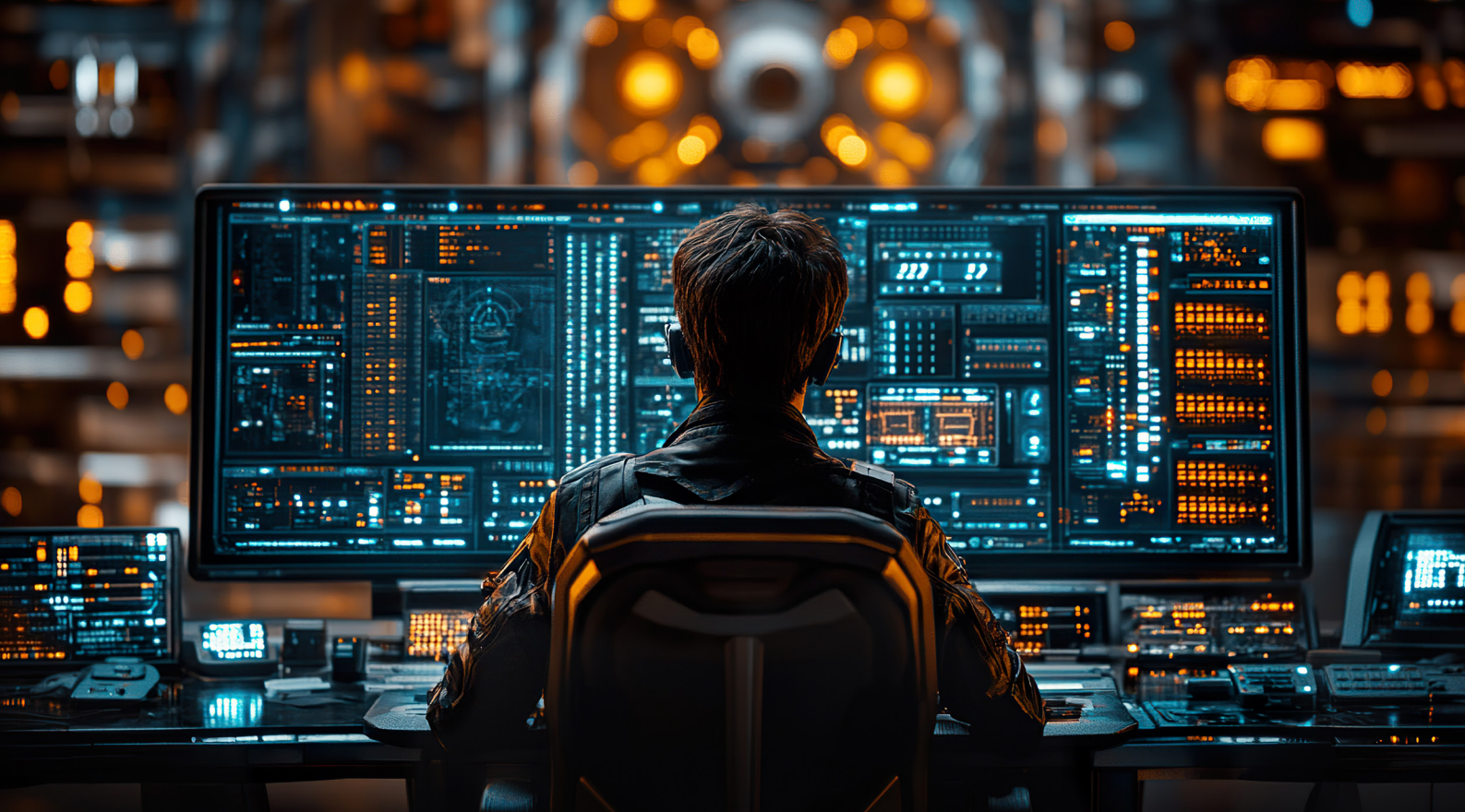
i progressi furono lenti e portarono a periodi noti come "inverni dell'IA", durante i quali i finanziamenti e l'interesse diminuirono.

Nonostante la ricerca nel campo sia sempre proseguita, il grande rinascimento dell'IA si è registrato solo nei primi anni 10 del XXI secolo, grazie a diversi fattori convergenti: la disponibilità di grandi quantità di dati, curati e annotati, i progressi nelle tecniche di apprendimento automatico (machine learning), in particolare, delle reti neurali artificiali e la crescita esponenziale della potenza di calcolo. Oggi le tecnologie di IA permeano la nostra vita quotidiana; le abbiamo in tasca tutti i giorni sotto forma di assistenti virtuali e algoritmi di raccomandazione. Sono molti i sistemi complessi in grado di predire il tempo atmosferico o guidare veicoli autonomi.

Che cos'è l'intelligenza artificiale?

L'intelligenza artificiale può essere definita come "la scienza e l'ingegneria che si occupano della costruzione di macchine intelligenti". Tuttavia, capire cosa significhi "intelligenza" per le macchine non è semplice, proprio come non lo è per gli esseri umani. Per questo motivo, gli scienziati hanno lavorato per sviluppare tecniche in grado di emulare i nostri processi cognitivi e creativi, cercando di riflettere le diverse sfaccettature dell'intelligenza umana. **Le tecniche create nel corso degli anni possono essere suddivise in due aree principali.**

Da una parte troviamo quelle che cercano di imitare le nostre abilità di ragionamento, come il pensiero deduttivo, che ci porta a considerare vantaggi e svantaggi prima di prendere una decisione. Questi sistemi



si basano su regole, relazioni logiche e organizzazione delle conoscenze per risolvere problemi, replicando un modo di pensare analitico e logico. Esempi noti includono Deep Blue, il celebre programma IBM che nel 1997 batté Garry Kasparov, e Watson, che nel 2011 vinse in un quiz televisivo negli USA.

Dall'altra parte, troviamo tecniche che mirano a simulare le capacità di apprendimento e percezione, come il riconoscimento di immagini e il linguaggio. Qui rientrano i sistemi di guida autonoma, capaci di identificare pedoni e segnali stradali, e i modelli di linguaggio come GPT e chatGPT, capace di intrattenere conversazioni naturali con gli utenti. Questi sistemi apprendono da grandi quantità di dati senza necessità di essere programmati per compiti specifici, utilizzando processi di ragionamento induttivo. Attraverso algoritmi avanzati in grado di identificare schemi e relazioni complesse nei dati, sono in grado di adattarsi e migliorare nel tempo.

L'intelligenza artificiale nella transizione energetica

L'IA ha il potenziale per rivoluzionare numerosi settori critici, con un impatto significativo su sfide globali come il cambiamento climatico e la transizione energetica. Nel campo della sostenibilità ambientale, l'IA può facilitare una migliore gestione delle risorse, ottimizzare il consumo energetico e fornire spunti per la modellazione del clima.

Le tecnologie AI possono ottimizzare la produzione, la distribuzione e il consumo di energia, migliorando significativamente l'efficienza e riducendo gli sprechi. Ad esempio, l'intelligenza artificiale può migliorare le prestazioni dei sistemi di energia rinnovabile prevedendo i pattern di generazione di energia, le condizioni meteorologiche e i picchi di domanda. Tali intuizioni consentono una migliore integrazione delle fonti rinnovabili, come il solare e l'eolico, nelle reti energetiche esistenti, facilitan-

do una transizione più agevole verso soluzioni energetiche sostenibili. Le cosiddette smart grid alimentate dall'intelligenza artificiale possono migliorare l'efficienza della distribuzione energetica, prevedere la domanda e integrare le fonti di energia rinnovabile, riducendo la dipendenza dai combustibili fossili.

Gli edifici intelligenti dotati di sistemi di gestione energetica guidati dall'intelligenza artificiale possono regolare l'illuminazione, il riscaldamento e il raffreddamento in tempo reale in base all'occupazione e alle condizioni ambientali. Questo può portare a riduzioni significative del consumo energetico e dell'impronta di carbonio complessiva.

L'intelligenza artificiale può anche svolgere un ruolo cruciale nel monitoraggio e nella gestione di sistemi energetici complessi. Sfruttando l'analisi avanzata e l'apprendimento automatico, gli operatori possono prevedere i guasti delle apparecchiature, ridurre i tempi di inattività

e mantenere l'infrastruttura in modo più efficace. Questi progressi non solo migliorano l'efficienza operativa, ma possono anche portare a una migliore conservazione delle risorse. Inoltre, l'IA può aiutare a monitorare la deforestazione, la conservazione della fauna selvatica e l'accesso all'acqua potabile attraverso l'analisi delle immagini satellitari e i dati dei sensori IoT. Sfruttando l'intelligenza artificiale, è possibile ideare soluzioni intelligenti per la conservazione dell'ambiente, promuovendo un futuro sostenibile.

Occorre, altresì, osservare che lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie di IA richiedono spesso una notevole potenza di calcolo che, a sua volta, richiede notevoli risorse. I centri di calcolo ad alte prestazioni e i centri dati, fondamentali per l'addestramento di sofisticati modelli di IA, consumano grandi quantità di elettricità e di acqua per il raffreddamento. Pertanto, se da un lato l'IA presenta opportunità per ottimizzare l'uso dell'energia, dall'altro la sua stessa domanda energetica rappresenta una sfida significativa che deve essere affrontata. Diverse sono le iniziative che si prefiggono di sviluppare nuovi servizi di analisi dei dati anche su larga scala ad alta efficienza energetica, riducendo al contempo l'impatto ambientale dei processi di gestione dei dati.

Il lavoro del CNR

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) ha una storia di lunga data nella ricerca sull'intelligenza artificiale, basti pensare alle reti di Caianiello 1, ideate negli anni 60 del secondo scorso da Eduardo Renato Caianiello, fondatore del laboratorio di cibernetica presso l'attuale istituto ISASI del CNR ad Arco Felice (Napoli). L'ente ha altresì svolto e sta svolgendo un ruolo

chiave nella definizione della strategia sull'IA del Paese. Già nel 2018, da un'iniziativa di diversi direttori di vari dipartimenti e istituti dell'ente, si sono avviati i lavori dell'Osservatorio sull'Intelligenza Artificiale del CNR, con lo scopo di documentare e mettere in rete gruppi di ricerca impegnati sui vari temi dell'IA. La massa critica messa a sistema è stata impressionante, con circa 30 istituti coinvolti, 90 gruppi di ricerca e circa 580 unità di personale, strutturato e non, con un numero registrato di allora di oltre 200 progetti di ricerca sul campo e più di 600 articoli pubblicati. Una massa critica altrettanto importante è stata spesa nei due Nodi CNR del Laboratorio Nazionale "Artificial Intelligence and Intelligent Systems" (AIIS <https://www.consortio-cini.it/index.php/it/labaiis-home/194-italiano/laboratori/lab-aiis>) del consorzio CINI (Consortio Interuniversitario Nazionale per l'Informatica), con più di 200 unità di personale strutturato coinvolto su temi che spaziano dai sistemi cognitivi, alla visione artificiale, dalla rappresentazione della conoscenza alla analisi dei big data, dall'embodied neuroscience all'algoritmica.

Inoltre, il CNR è stato il promotore principale del Dottorato Nazionale in Intelligenza Artificiale, un modello innovativo (a rete) di dottorato che mira ad ottimizzare ed amplificare le risorse nazionali attraverso la federazione di cinque dottorati di ricerca in IA, ciascuno caratterizzato da una propria area di specializzazione: salute, agricoltura e ambiente, sicurezza, industria, società.

Tra i numerosi progetti di ricerca nel campo, si staglia per la particolare portata il progetto FAIR (Future Artificial Intelligence Research <https://fondazione-fair.it/>), il partenariato

esteso finanziato dai fondi PNRR, coordinato dal CNR e supportato dal Laboratorio Nazionale AIIS del CINI. Il progetto, istituitosi come fondazione, riunisce per la prima volta un ampio partenariato nazionale composto da 4 enti di ricerca tra cui la Fondazione Bruno Kessler, INFN, e l'Istituto Italiano di Tecnologia, 14 università e 7 aziende leader del settore.

FAIR opera secondo il modello "Hub & Spoke": l'hub, situato presso l'Area della Ricerca del CNR a Pisa, funge da centro di coordinamento, mentre i dieci spoke del partenariato, distribuiti in varie regioni italiane, guidano le attività di ricerca su tematiche specifiche legate all'IA. Gli spoke si focalizzano su temi fondamentali, quali Human-centred AI, Integrative AI, Resilient AI, Adaptive AI, High quality AI, Symbiotic AI, Edge-exascale AI, Pervasive AI, Green-aware AI e Bio-socio-cognitive AI. **FAIR si propone di rendere l'Italia un hub globale per la ricerca e l'innovazione nell'intelligenza artificiale, stimolando lo sviluppo di nuovi talenti e contribuendo a trattenere esperti nel paese. Il progetto mira a facilitare la cooperazione tra università, industria e governo nel quadro del Programma Strategico Nazionale per l'Intelligenza Artificiale, assicurando un futuro ruolo di primo piano per l'Italia nel campo dell'IA a livello internazionale.** Numerosi sono i progetti di ricerca e innovazione internazionali e impossibile farne un panorama esaustivo. Tra questi rientrano le due grandi reti di eccellenza TAILOR e AI4Media, i progetti di ricerca e innovazione AI4EU, TANGO e FAITH, tutti impegnati a definire soluzioni per un'IA affidabile, basata su un'opportuna governance di dati e algoritmi e il recente progetto Green.Dat. AI che mira a indirizzare il potenziale dell'IA agli obiettivi del Green Deal

¹ Caianiello, Eduardo R. "Outline of a theory of thought-processes and thinking machines." *Journal of theoretical biology* 1.2 (1961): 204-235. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022519361900467>

europeo, sviluppando nuovi servizi di analisi dei dati su larga scala efficienti dal punto di vista energetico e pronti per l'uso in sistemi industriali, riducendo l'impatto ambientale dei processi di gestione dei dati.

Sfide e opportunità

Se da un lato le opportunità offerte dall'IA sono vaste, dall'altro la sua diffusione è accompagnata da sfide significative. Dal punto di vista scientifico, lo sviluppo di modelli di IA solidi e affidabili richiede una quantità sostanziale di dati di alta qualità. Tuttavia, la raccolta dei dati solleva spesso problemi di privacy e richiede il rispetto di standard etici relativi al consenso e alla proprietà.

Dal punto di vista etico, l'uso dell'IA pone problemi di parzialità ed equità.

I sistemi di IA, in particolare quelli guidati dall'apprendimento automatico, possono inavvertitamente perpetuare i pregiudizi sociali esistenti nei dati di addestramento. Questi pregiudizi possono portare a risultati ingiusti e scelte inique, in particolare in aree critiche come la giustizia, le assunzioni e la sanità. **Garantire l'equità e la responsabilità nei processi decisionali dell'IA è fondamentale per promuoverne un uso giusto ed equo e prevenire rischi. In generale, è fondamentale che i sistemi di intelligenza artificiale siano tecnicamente robusti e affidabili e capaci di adattarsi a diversi contesti e situazioni. Devono lavorare in sintonia con le persone, offrendo un supporto reale e trasparente, rendendo chiari i loro limiti e le circostanze in cui potrebbero non**

funzionare al meglio. Dal punto di vista sociale, l'introduzione delle tecnologie dell'IA può comportare iniquità sociali legate a un accesso non equo alle risorse. Per affrontare queste implicazioni sono necessarie politiche che promuovano un accesso equo ai benefici dell'IA e attenuino le potenziali disparità.

In generale, il CNR ha adottato un approccio multidisciplinare che promuove la collaborazione tra vari settori, tra cui quello accademico, industriale e governativo. Questo sforzo collaborativo mira ad affrontare le profonde sfide e opportunità che l'IA presenta e guidarne un uso che rispetti i diritti della persona, rispetti le corrette politiche di utilizzo e sia di reale beneficio per tutti.

Italiana una delle prime piattaforme di IA in Europa

Sarà italiana una delle prime AI Factory in Europa: il progetto IT4LIA AI Factory è stato ufficialmente selezionato dalla Commissione Europea, consolidando il ruolo del nostro Paese come protagonista nello sviluppo dell'intelligenza artificiale in Europa. L'iniziativa, che mira a creare un ecosistema di IA aperto, competitivo e integrato a livello europeo, si focalizzerà sul supporto a startup e PMI, privilegiando al tempo stesso alcuni settori strategici per l'economia nazionale.

Al centro del progetto è la realizzazione di un supercomputer ottimizzato per l'IA, che verrà installato presso il Tecnopolo di Bologna, già punto di riferimento europeo per supercomputing, big data, intelligenza artificiale e calcolo quantistico. Questa infrastruttura avanzata sarà una delle prime al mondo e leader in Europa per capacità di elaborazione IA. IT4LIA AI Factory rappresenta l'evoluzione naturale di una strategia avviata nel 2017, volta a posizionare l'Italia al centro dell'innovazione tecnologica. La vittoria del progetto segna un traguardo fondamentale, confermando il valore delle competenze e delle risorse italiane in un settore in rapida crescita.

L'iniziativa promuoverà l'adozione di soluzioni IA in settori chiave come l'agroalimentare, la cybersecurity, lo studio della terra e il manifatturiero. Attraverso un modello organizzativo one-stop-shop, l'AI Factory semplificherà l'accesso a dati di grande valore e a una vasta gamma di servizi, incentivando la collaborazione tra ricercatori, sviluppatori, startup e PMI.

IT4LIA AI Factory beneficia di un investimento totale di circa 430 milioni di euro, con il contributo paritario del Governo italiano e della Commissione Europea. Il cofinanziamento nazionale è sostenuto da istituzioni quali il Ministero dell'Università e della Ricerca, l'Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale (ACN), la Regione Emilia-Romagna, il Consorzio Cineca, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), l'Agenzia ItaliaMeteo, la Fondazione per l'IA e la Fondazione Bruno Kessler. Cineca, in consorzio con Austria e Slovenia, sarà l'hosting entity responsabile dell'implementazione del supercomputer e della gestione delle infrastrutture correlate.

Intelligenza artificiale e pubblica amministrazione

Nonostante la centralità del dibattito e la digitalizzazione che pervade le procedure amministrative, va considerato, tuttavia, che gli ambiti di applicazione dei sistemi di intelligenza artificiale alla PA restano allo stato limitati, coinvolgendo soprattutto, le esperienze in atto, l'attività di vigilanza e di controllo e lambendo appena i processi decisionali veri e propri. In particolare, le amministrazioni dovranno prestare grande attenzione nell'assicurare il pieno rispetto dei diritti e delle prerogative dei soggetti coinvolti, affinché l'era digitale non implichi un arretramento sul fronte dei diritti partecipativi e conoscitivi.

DOI 10.12910/EAI2025-003



di Anna Corrado, Magistrato amministrativo, coordinatrice del Gruppo di lavoro sulla digitalizzazione dei contratti pubblici presso il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale (IA) nella pubblica amministrazione è tema molto dibattuto, sia per i grandi vantaggi che porterebbe, sia per la necessità, una volta utilizzata, di non perdere di vista la realizzazione degli interessi pubblici, dei diritti fondamentali, dei servizi e delle prestazioni essenziali ai cittadini. Nuovi principi si delineano all'ombra del tecnicismo immanente e altre tutele si ipotizzano: l'obiettivo è quello di ricercare una strada che assicuri una rinnovata efficienza e un presidio mirato e che sia sempre l'uomo a governare i processi segnati dalle innovazioni, auspicando benessere per l'umanità.

Nonostante la centralità del dibattito e la digitalizzazione che pervade le procedure amministrative, va considerato, tuttavia, che gli ambiti di ap-

plicazione dei sistemi di intelligenza artificiale alla pubblica amministrazione restano allo stato limitati, coinvolgendo soprattutto, le esperienze in atto, l'attività di vigilanza e di controllo e lambendo appena i processi decisionali veri e propri.

Molte le idee e molti i progetti che necessiterebbero di essere sperimentati in concreto, anche per capire gli ambiti di operatività, i dati a disposizione e la loro qualità, per affrontare il tema di eventuali dataset certificati idonei all'addestramento di sistemi destinati alla pubblica amministrazione, per individuare il quadro delle regole necessarie e le riforme da varare a partire dalle modifiche alla legge sul procedimento amministrativo (L. 241/1990), concepita in un'epoca nella quale l'amministrazione non era investita dalla rivoluzione tecnologica.

E' interessante sul punto considerare

l'invito rivolto alle pubbliche amministrazioni con il Piano triennale per l'informatica 2024-26 (AgID) affinché giungano a un "piano dei fabbisogni" al fine di individuare i servizi e i processi da valorizzare con sistemi di IA o di identificare aree specifiche dove l'IA può migliorare l'efficienza e l'efficacia dei servizi pubblici. Sarà, quindi, importante individuare e selezionare set di dati pertinenti, assicurare che i dati siano di alta qualità, rappresentativi e privi di bias, analizzare le implicazioni etiche e legali dell'uso dell'IA nei servizi pubblici, assicurando che ogni implementazione sia in linea con le normative vigenti e i principi etici fondamentali.

I principi guida e le regole applicabili

L'utilizzo di tecnologie avanzate in ambito amministrativo risulta con-

forme ai canoni di efficienza e di economicità dell'azione amministrativa (art.1, l. 241/90), i quali, secondo il principio costituzionale di buon andamento dell'azione amministrativa, impongono all'amministrazione il conseguimento dei propri fini con il minor dispendio di mezzi e risorse e attraverso lo snellimento e l'accelerazione dell'iter procedimentale. Il principio di legalità alla base del diritto amministrativo, visti i tempi, va riguardato come principio di legalità algoritmica che trova il suo principale fondamento proprio nell'art. 97 della Costituzione, in quanto l'introduzione dei modelli decisionali automatizzati e l'utilizzo di tecnologie informatiche risponde alla doverosa declinazione della norma costituzionale, coerente con l'attuale e futura evoluzione tecnologica.

Con riferimento all'attività amministrativa è noto che già a partire dal 2017 si è posto il tema della c.d. decisione algoritmica come quella assunta all'esito di procedure amministrative automatizzate che fanno applicazione di algoritmi. In particolare, è stata puntualizzata la necessità che essa soggiaccia, nonostante sia resa attraverso procedure informatiche evolute, ai principi previsti dalla legge sul procedimento amministrativo e, segnatamente, ai principi di imparzialità, pubblicità e trasparenza. Infatti, per quanto indubbi siano i vantaggi che derivano dall'automazione del processo decisionale dell'amministrazione mediante l'utilizzo di una procedura digitale e algoritmica, l'utilizzo della stessa non dovrebbe mai implicare un sacrificio dei principi fondamentali che segnano il procedimento amministrativo e che si sono oramai consolidati nel nostro ordinamento (Cons. Stato, VI, 8 aprile 2019, n. 2270, 13 dicembre 2019, n. 8474).

Il ricorso all'algoritmo appartiene

alla scelta organizzativa-discrezionale dell'amministrazione al fine di realizzare finalità di interesse pubblico e può ben essere utilizzato non solo per lo svolgimento dell'attività amministrativa vincolata, ma anche per quella discrezionale, considerate entrambe espressione del potere autoritativo esercitato per il perseguimento del pubblico interesse.

Il futuro delle procedure amministrative

Pur nella consapevolezza dell'indubbio "fascino" che accompagna lo studio dell'impiego nell'attività amministrativa di algoritmi, di apprendimento e non, in particolare per le evidenti ricadute in termini di efficienza e di velocizzazione della decisione pubblica, nonché del fatto che tale utilizzo rappresenta inevitabilmente **il futuro delle procedure amministrative, nondimeno le amministrazioni dovranno prestare grande attenzione nell'assicurare il pieno rispetto dei diritti e delle prerogative dei soggetti coinvolti, affinché l'era digitale non implichi un arretramento sul fronte dei diritti partecipativi e conoscitivi.** Sarà, quindi, sempre necessario, in particolare, assicurare una adeguata motivazione e la trasparenza finalizzate a consentire la comprensibilità del "risultato algoritmico".

Sul fronte pubbliche amministrazioni e tutela degli interessi dei cittadini, tre sono i principi importanti e altamente sfidanti da considerare per avere un'IA effettivamente al servizio del cittadino, per consentirne un uso etico e portare fiducia in questa tecnologia, principi cristallizzati nel Regolamento UE 2024/1689 del 13 giugno 2024 (AI Act): **assicurare che venga garantita la trasparenza dei sistemi di intelligenza artificiale in modo da comprenderne il funzionamento (art. 13), assicurare il diritto alla spiegabilità dei singoli processi**

decisionali in favore degli interessati (art. 86), che sia assicurata la sorveglianza umana (art. 14).

Le discipline speciali già introdotte nel nostro ordinamento (art. 30 del d. lgs. 36/2023, art. 9, d. lgs. 103/2024) prevedono che ogni soggetto interessato ha diritto di conoscere l'esistenza di processi decisionali automatizzati che lo riguardano e in tal caso ricevere informazioni sulla "logica utilizzata".

Il dettato normativo pone in capo all'amministrazione che assume una decisione automatizzata, in linea con l'AI Act, il dovere di assicurare la spiegabilità della stessa, mettendo a disposizione dell'interessato la documentazione necessaria per rendere comprensibile le logiche di funzionamento del software utilizzato e la logica alla base della decisione automatizzata assunta con sistemi di IA. **La sfida dei prossimi mesi sarà proprio quella di rendere concreta l'esplicitazione della "logica utilizzata" nell'assunzione della decisione automatizzata. Come è evidente, anche nel caso dell'IA, la strada maestra sarà quella della trasparenza** che, dopo aver superato nel tempo lo scoglio del segreto d'ufficio e aver combattuto per avere pari considerazione nel bilanciamento con la riservatezza, giunge ora al banco di prova dell'intelligenza artificiale, chiamata a traghettare le amministrazioni verso il futuro e ad assicurare ai cittadini il diritto alla spiegabilità.

Quelli sopra enunciati sono principi oramai molto noti, già introdotti dal Gruppo di esperti ad alto livello sull'intelligenza artificiale, istituito dalla Commissione europea nel giugno 2018 e ripresi e confermati dalla giurisprudenza amministrativa fin dal 2019 (Consiglio di Stato, sentenze nn. 2270/2019 e 8474/2019), anche se riferiti all'attività amministrativa algoritmica di prima generazione. Principi

che ora toccherà rendere concreti avviando, in primis, una necessaria e massiccia campagna di alfabetizzazione delle persone che si dovranno occupare di procedure amministrative intelligenti, per assumere decisioni "informate". Trattandosi di una tecnologia tanto potente quanto "oscura", non sarà un percorso facile.

Formazione dei pubblici dipendenti e reclutamento di nuove professionalità

Con riguardo all'intelligenza artificiale nelle pubbliche amministrazioni, tuttavia, il tema che oggi più preoccupa è quello della c.d. "sorveglianza umana", alias "riserva di umanità" che inevitabilmente si intreccia con quello della responsabilità in capo al funzionario pubblico per i procedimenti e provvedimenti adottati attraverso intelligenza artificiale (art. 13 del disegno di legge sull'intelligenza artificiale, A.S. 1146), che potrebbe portare a un rallentamento nell'utilizzo delle nuove tecnologie. **Un'esigenza importante, infatti, nelle amministrazioni, diven-**

ta sempre di più quella di poter contare su personale con competenze tecniche adeguate anche al fine di scongiurare un appiattimento e una eccessiva fiducia nelle decisioni automatizzate e per evitare di correre il rischio di veder vanificata nei fatti l'attuazione del principio, affermato dalla giurisprudenza amministrativa, di non esclusività della decisione algoritmica.

Come è stato infatti chiarito, il diritto di pretendere che in una procedura automatizzata vi sia un intervento umano capace di controllare, validare ovvero smentire la decisione automatica implica anche la presenza di soggetti che siano in grado di controllare gli *input*, gli obiettivi da raggiungere, il processo decisionale e gli *output*; inoltre, questi stessi soggetti dovrebbero avere la capacità di discostarsi dalla decisione proposta dall'algoritmo. **Su questo fronte va considerato che le pubbliche amministrazioni sono allo stato segnate dalla presenza di personale con età media alta e con una scarsa formazione su questi**

temi e scarsa presenza di profili tecnici, criticità queste che non potranno essere facilmente risolte solo con un incremento dell'attività di reclutamento. Il Piano dell'informatica citato individua alcuni profili professionali chiave da ricoprire nelle pubbliche amministrazioni: *innovation manager* esperto di AI, *ethics officer*, esperto di apprendimento automatico e Intelligenza Artificiale; esperto di dati.

Il tema, quindi, non è solo quello di reclutare le figure mancanti, ma soprattutto quello di rendere attrattiva la pubblica amministrazione per i giovani tecnici, da un punto di vista di carriera economica e crescita professionale. Queste problematiche potrebbero pregiudicare l'utilizzo dei sistemi di IA nelle pubbliche amministrazioni privandole di una ventata di efficienza e di opportunità di maggior sviluppo ovvero implicare l'esternalizzazione di molte attività impedendo, nei fatti, la "crescita" e la effettiva trasformazione digitale delle amministrazioni.

Panetta, i data center e l'IA rallenteranno l'abbandono dei combustibili fossili

"Il mondo in cui viviamo sta affrontando una transizione energetica, ma anche una transizione digitale. Sono interconnesse ed entrambe richiedono investimenti significativi. L'espansione delle tecnologie digitali ad alto consumo energetico, come i data center e l'intelligenza artificiale, per non parlare dei cripto-asset, sta facendo aumentare la domanda di energia". Ad affermarlo il governatore della Banca d'Italia, Fabio Panetta, in occasione della conferenza G7-Aie su 'Ensuring an Orderly Energy Transition' che si è tenuta il 16 settembre nella sede di Bankitalia a Roma. A giudizio di Panetta "queste tecnologie rappresentano attualmente il 2% del consumo globale di elettricità, ma si prevede che questa cifra sarà più che raddoppiata entro il 2026, arrivando a 1.000 TWh, una quantità paragonabile alla domanda totale di energia elettrica del Giappone. Questa ulteriore domanda di elettricità - ha proseguito - non solo rallenterà l'abbandono dei combustibili fossili, ma aumenterà anche la pressione sulle risorse idriche a causa dell'ulteriore produzione di elettricità e del fabbisogno di raffreddamento delle apparecchiature informatiche". "Tuttavia - ha osservato - la tecnologia può anche essere un importante alleato nella transizione energetica. Applicazioni promettenti mostrano il potenziale della tecnologia e dell'intelligenza artificiale per aiutare le reti elettriche a gestire una quota crescente di fonti rinnovabili intermittenti, migliorare le previsioni e la valutazione dei rischi climatici e ridurre il costo dei rapporti sulla sostenibilità. Poiché sia la transizione energetica che quella digitale sono trasformazioni inevitabili - ha sottolineato ancora Panetta - spetta a noi sfruttarle al meglio, assicurandoci di massimizzare il loro potenziale combinato e di raccogliere tutti i benefici, non solo i costi".

Rendere l'Italia un polo di eccellenza nel panorama internazionale dell'IA

Nonostante l'ampia attenzione suscitata soprattutto dall'IA generativa (chatGPT e simili), l'Italia registra ancora un ritardo nell'applicazione concreta delle tecnologie di IA in diversi settori chiave. Barriere culturali e tecnologiche, difficoltà di accesso agli strumenti e scarsa comprensione delle potenzialità di questi processi di innovazione hanno rallentato il progresso in questo settore fino ad oggi, sia per gli individui che per le imprese. FAIR punta a colmare questo gap attraverso una strategia multidisciplinare, per rendere l'IA più comprensibile, accessibile e affidabile.

DOI 10.12910/EAI2025-004



di Giuseppe De Pietro, Presidente Fondazione FAIR – Future Artificial Intelligence Research

La Fondazione FAIR nasce come risposta strategica alle esigenze di ricerca avanzata sull'Intelligenza Artificiale nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Grazie a un finanziamento di 114,5 milioni di euro dal Ministero dell'Università e della Ricerca, più ampio nel nostro Paese sul tema, FAIR ha avviato un progetto che coinvolge dalla sua nascita 14 università italiane, 4 centri di ricerca, 7 grandi aziende; a queste si sono aggiunte oltre 100 tra imprese e istituzioni pubbliche vincitrici dei cosiddetti "bandi a cascata", che hanno distribuito circa 30 milioni di euro su università, enti di ricerca e aziende italiane che si occupano di intelligenza artificiale, rafforzando ulteriormente l'ecosistema che ruota intorno a FAIR.

FAIR: struttura e numeri

La Fondazione ha un ruolo di hub centrale per il coordinamento e l'esecuzione del partenariato, mentre le attività di ricerca e innovazione sono svolte da 10 Spoke tematici distribuiti sul territorio nazionale da Nord a Sud. Gli spoke dialogano tra loro su sfide di ricerca trasversali e aperte tramite 7 cosiddetti Transversal Projects, che spaziano su temi come gli aspetti legali, le sfide dell'IA multimodale, la gestione di dati e infrastrutture.

Qualche altro numero per inquadrare l'impatto del progetto FAIR sull'ecosistema italiano dell'IA tra ricerca accademica e aziende: la rete di ricerca FAIR è formata da 350 tra ricercatrici e ricercatori come massa critica iniziale, a cui si sono aggiunti

55 altre unità di personale di ricerca delle aziende partner del progetto e 341 nuovi assunti, portando ad oggi il numero di persone coinvolte a quasi al doppio della capacità iniziale, un totale di 746 tra ricercatrici e ricercatori. Il reclutamento nelle regioni del Sud è stato pari a circa il 40% del reclutamento complessivo, così come richiesto dal PNRR. Il 90% degli assunti ha meno di 40 anni e circa il 40% ha meno di 30 anni.

Le sfide di ricerca e l'approccio di FAIR

Nonostante l'ampia attenzione suscitata soprattutto dall'intelligenza artificiale generativa (chatGPT e simili) negli ultimi tempi, l'Italia registra ancora un ritardo nell'applicazione concreta delle tecnologie di intelligenza artificiale in diversi set-



tori chiave. Barriere culturali e tecnologiche, difficoltà di accesso agli strumenti e scarsa comprensione delle potenzialità di questi processi di innovazione hanno rallentato il progresso in questo settore fino ad oggi, sia per gli individui che per le imprese. FAIR punta a colmare questo gap attraverso una strategia multidisciplinare, per rendere l'intelligenza artificiale più comprensibile, accessibile e affidabile.

L'obiettivo del progetto è rispondere alle sfide della ricerca scientifica e tecnologica sull'IA esplorando metodi, modelli e tecnologie avanzate, per sviluppare sistemi capaci di collaborare attivamente con gli esseri umani, adattarsi a contesti in evoluzione, riconoscere i propri limiti e operare in modo sicuro e responsabile. **Particolare attenzione viene posta sull'impatto ambientale e sociale di queste tecnologie, per garantirne una progettazione sostenibile e affidabile.** Anche gli aspetti etici e legali, oltre a quelli tecnologici, sono tenuti in grande considerazione, in un progetto che coinvolge non solo informatici ma esperti nei settori delle scienze sociali e umane, il tutto in linea con le principali strategie europee e nazionali sull'IA, tra cui il Piano Coordinato della Commissione Europea e la Strategia Italiana per l'Intelligenza Artificiale.

Con un approccio olistico e multidisciplinare, FAIR si propone di ridefinire le basi dell'IA analizzando anche le sue implicazioni sociali. La rivoluzione guidata dall'intelligenza artificiale potrebbe ampliare le capacità decisionali dell'uomo o limitarle, creare nuovi lavori o eliminarli, diffondere benessere o concentrare ricchezza e potere. Per questo, i ricercatori di FAIR vogliono che l'intelligenza artificiale diventi una risorsa per affrontare le sfide globali, dalla democrazia, alla sostenibilità ambientale, alla salute pubblica, anziché un ulteriore fattore di rischio in una società frammentata e complessa come quella che il contesto mondiale ci presenta oggi.

Un risultato importante: Minerva, il primo LLM italiano

Tra i primi risultati del progetto, oltre a una imponente produzione scientifica di articoli e progetti attivi, spicca senz'altro la realizzazione di Minerva, il Large Language Model (LLM) completamente italiano, frutto del lavoro del gruppo di ricerca Sapienza NLP (Natural Language Processing) guidato dal Professor Roberto Navigli proprio all'interno del progetto FAIR. Lanciato in aprile, l'LLM Minerva ad oggi è disponibile nella sua versione più avanzata, addestrata con 7 miliardi di parametri. Minerva rappresenta

un passo importante nell'elaborazione e comprensione del linguaggio naturale in italiano, grazie a un massiccio dataset di 1,5 trilioni di parole e a un avanzato processo di instruction tuning che permette al modello di generare risposte più accurate, pertinenti e sicure, riducendo fenomeni come le "allucinazioni" e garantendo contenuti appropriati.

Il progetto Minerva è la rappresentazione più evidente del percorso di sinergia e collaborazione che sta alla base del progetto FAIR, perché l'addestramento del modello è stato possibile grazie all'impiego del supercomputer Leonardo di CINECA, che ha con FAIR un accordo di collaborazione per lo sviluppo di applicazioni di intelligenza artificiale a supporto di sfide di rilievo per la Pubblica Amministrazione e per l'industria.

Nonostante l'enorme attenzione e l'utilizzo ormai pervasivo che se ne fa in molti campi applicativi, il futuro dell'intelligenza artificiale è ancora tutto da scrivere e il ruolo che l'Italia avrà in questa trama internazionale non può non essere di primo piano. Una iniziativa come FAIR lavora proprio per costruire giorno per giorno questo percorso e non c'è dubbio che il punto di arrivo debba essere far diventare l'Italia in un punto di riferimento globale per la ricerca e l'innovazione in un settore così cruciale

per il futuro di tutti. Questo si può fare soltanto riducendo la frammentazione della ricerca italiana, rendendola più sinergica e creando un ambiente fertile per attrarre e valorizzare i migliori talenti del settore. La Fondazione FAIR lavora proprio per

questo, per creare un ecosistema nazionale che favorisca la collaborazione tra ricercatori, imprese e cittadini, promuovendo una visione condivisa e integrata dell'intelligenza artificiale. Il percorso è ancora lungo, ma i risultati a più di metà del percorso temporale

del progetto PNRR confermano che FAIR sta tracciando la strada giusta per rendere l'Italia un polo di eccellenza nel panorama internazionale dell'IA.

Sostenibilità digitale: attenzione alle semplificazioni!

Quando parliamo di sostenibilità digitale è facile cadere nella tentazione di etichettare alcune tecnologie come intrinsecamente sostenibili o insostenibili. Questa visione, tuttavia, è riduttiva e rischia di distorcere il dibattito su uno dei temi più critici del nostro tempo. Non esistono tecnologie sostenibili o insostenibili in sé. Ogni tecnologia può generare impatti differenti a seconda del contesto in cui viene adottata, del modo in cui è utilizzata e delle conseguenze, dirette e indirette, che ne derivano. Comprendere questa complessità significa andare oltre la superficie e analizzare la questione attraverso un approccio multidimensionale e sistemico.

DOI 10.12910/EAI2025-005



di Stefano Epifani, Presidente della Fondazione per la Sostenibilità Digitale

Viviamo in un'epoca in cui il digitale pervade ogni aspetto della nostra vita. Dalle comunicazioni quotidiane alle infrastrutture economiche globali, le tecnologie digitali sono ormai indispensabili. Tuttavia, il loro impatto sull'ambiente, sulla società e sull'economia solleva interrogativi fondamentali, rendendo sempre più urgente una riflessione sulla sostenibilità digitale.

Quello della Sostenibilità Digitale è un concetto spesso frainteso, che non riguarda (soltanto) la sostenibilità delle tecnologie digitali, ma un ben più complesso rapporto sistemico tra esse ed i temi ambientali, economici e sociali. Spesso, purtroppo, la semplificazione giornalistica porta – una parte per il tutto – a confondere il concetto di sostenibilità digitale con quello di sostenibilità del digitale.

Quando parliamo di sostenibilità digi-

tale, infatti, è facile cadere nella tentazione di etichettare alcune tecnologie come intrinsecamente sostenibili o insostenibili. Questa visione, tuttavia, è riduttiva e rischia di distorcere il dibattito su uno dei temi più critici del nostro tempo. **Non esistono tecnologie sostenibili o insostenibili in sé. Ogni tecnologia può generare impatti differenti a seconda del contesto in cui viene adottata, del modo in cui è utilizzata e delle conseguenze, dirette e indirette, che ne derivano. Comprendere questa complessità significa andare oltre la superficie e analizzare la questione attraverso un approccio multidimensionale e sistemico.**

La valutazione della sostenibilità tecnologica richiede un approccio sistemico che tenga conto sia degli impatti negativi, associati alla sostenibilità "del" digitale, sia di quelli positivi, legati alla sostenibilità "grazie" al

digitale. Questo approccio è cruciale per evitare giudizi semplicistici e promuovere un utilizzo responsabile delle tecnologie.

La sostenibilità (del) digitale

Ogni azione umana, ogni sistema, ogni essere vivente ed ovviamente ogni tecnologia ha un impatto intrinseco sull'ambiente, sull'economia e sulla società.

Se ci si limita a considerare il ciclo di vita della tecnologia, si devono prendere in considerazione almeno tre fattori:

- **Produzione:** L'estrazione delle materie prime necessarie alla produzione di dispositivi digitali, come smartphone o server, comporta costi ambientali significativi. La distruzione di habitat naturali, le emissioni di gas serra e l'uso intensivo di risorse idriche ed energetiche sono conseguenze sin troppo spesso sottovalutate. Inoltre, queste

attività spesso hanno implicazioni sociali complesse, come il lavoro in condizioni non dignitose, specialmente nei paesi in via di sviluppo, dove molte materie prime vengono estratte.

- **Utilizzo:** L'uso delle tecnologie digitali consuma energia, che in molti casi proviene ancora da fonti non rinnovabili. **Il crescente utilizzo di data center per supportare il cloud computing e l'intelligenza artificiale è emblematico di questa sfida, con una domanda energetica in costante aumento.** E non si può scordare l'hype degli anni scorsi di fronte all'impatto energetico della blockchain. Allo stesso tempo, è necessario considerare l'impatto dell'obsolescenza programmata, che incentiva il consumo continuo di nuovi dispositivi.
- **Disposal:** Lo smaltimento dei dispositivi elettronici pone il problema dei rifiuti elettronici, una delle fonti di inquinamento più complesse da gestire a livello globale. La mancanza di infrastrutture adeguate al riciclo e alla gestione dei rifiuti in molte regioni aggrava ulteriormente questa sfida, contribuendo alla dispersione di sostanze tossiche nell'ambiente. **Complessivamente, anche soltanto considerando l'impatto in termini di CO₂, le stime collocano il digitale tra il 2% ed il 4% delle emissioni globali.** Con prospettive di raddoppio nei prossimi anni. È poco? È molto? Dipende.

La sostenibilità (grazie) al digitale

L'invio di una mail con un allegato da 1 megabyte comporta un'emissione di CO₂ stimata tra 10 e 20 grammi. Un dato che dipende da diversi fattori: l'infrastruttura utilizzata, il consumo energetico dei data center, il percorso della rete e l'efficienza energetica dei dispositivi coinvolti. Questi valori, pur sembrando bassi, assumono enorme rilevanza se moltiplicati per i miliardi di e-mail inviate ogni giorno a

livello globale. Ora, se è ovvio che tale cifra vada tenuta più bassa possibile attraverso il ricorso a datacenter green, dispositivi progettati per il riuso e molti altri importantissimi accorgimenti, è meno ovvio giungere alla conclusione che "le email non sono sostenibili". Perché la domanda che ci si deve sempre fare per valutare la sostenibilità di una tecnologia è: "come sarebbe andata senza?". Come sarebbe andata se non avessimo potuto spedire quell'email? Avremmo dovuto stampare il messaggio, inserirlo in una busta, spedirlo per posta. E poi avremmo dovuto smaltirlo. Totale delle emissioni? oltre 100 grammi di CO₂. In questa prospettiva ecco che l'e-mail appare come l'alternativa più sostenibile. A meno che, ovviamente, non fosse una mail inutile. E questo vale per la blockchain, l'intelligenza artificiale, l'automobile elettrica. **Ciò non implica che la tecnologia digitale sia sempre sostenibile, ma che, se vogliamo avere una risposta corretta, dobbiamo porre la domanda in modo altrettanto corretto.**

E queste sono le considerazioni da fare per l'impatto rispetto agli effetti diretti della tecnologia. Il discorso diventa ancora più articolato quando ci espandiamo sulla filiera dell'impatto. Ad esempio, implementando un algoritmo di intelligenza artificiale al sistema di gestione del condizionamento di un grande stabile (un ospedale, una fabbrica, un'università) i dati empirici ci dicono che il risparmio in termini di CO₂ è valutabile nell'ordine del 10% delle emissioni. Secondo le stime, gli impianti di raffreddamento e di riscaldamento possono essere responsabili di una quota significativa delle emissioni cittadine, che può variare tra il 30% e il 50% del totale in base al contesto geografico, climatico e infrastrutturale. E quindi ecco che **l'impatto negativo generato dal sistema di intelligenza artificiale (la**

sostenibilità del digitale) è probabilmente trascurabile in relazione all'impatto positivo generato dall'utilizzo di questa tecnologia (la sostenibilità grazie al digitale).

Ma non finisce qui: come calcolare gli impatti intersistemici? Se anche una tecnologia producesse un effetto negativo (o positivo) sul sistema ambientale, non è detto che sia complessivamente insostenibile (o sostenibile): potrebbe infatti produrre effetti positivi sul sistema sociale, o su quello economico.

Come valutare la sostenibilità digitale di un sistema di guida autonoma che impatta molto sull'ambiente ma riduce gli incidenti, e quindi le morti sulla strada? E quando definire "insostenibile" un algoritmo di intelligenza artificiale che costa molto in termini energetici, ma consente la diagnosi precoce di un tumore? Oppure, al contrario, come valutare un sistema che fa ridurre le emissioni, ma a discapito della privacy degli utenti? **La sostenibilità è una funzione di bilanciamento intersistemico: è quindi particolarmente complesso valutare bene l'impatto effettivo della componente tecnologica senza un approccio basato su modelli di full life cycle analysis davvero ben strutturati.**

La sostenibilità digitale

Insomma: spesso pensiamo di parlare di sostenibilità digitale ma stiamo parlando di sostenibilità del digitale o, ancora meglio, di impatto energetico del digitale, che è la cosa più semplice da calcolare, ma non per questo la più corretta. **Ragionare in termini di sostenibilità digitale vuol dire ben altro: implica rendersi conto del fatto che tecnologia digitale, ambiente, economia e società sono legate da rapporti sistemici complessi, per i quali sarebbe sbagliato considerare la tecnologia un semplice strumento, essendo essa un elemento sistemico**

al pari degli altri, che con essi entra in relazione ridefinendoli. La sostenibilità digitale, infatti, definisce il ruolo sistemico del digitale rispetto alla sostenibilità, guardando ad esso da una parte come strumento di supporto per il perseguimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile, dall'altra come elemento da indirizzare attraverso criteri di sostenibilità. **In questo duplice ruolo, la sostenibilità digitale riguarda quindi le interazioni complesse e sistemiche della digitalizzazione e della trasformazione digitale rispetto a sostenibilità ambientale, economica e sociale.**

Affermare che una tecnologia sia sostenibile o insostenibile in sé è una semplificazione che rischia di oscurare la complessità delle sfide legate alla sostenibilità. Solo un'analisi attenta, sistemica e contestuale può fornire una valutazione completa e bilanciata. Il futuro della sostenibilità digitale dipenderà dalla nostra capacità di sviluppare modelli che integrino gli impatti negativi e positivi, promuovendo un uso consapevole e responsabile delle innovazioni digitali. Questo richiede uno sforzo collettivo che coinvolga governi, aziende, cittadini e comu-

nità accademiche, in un percorso di trasformazione culturale e tecnologica. E questo è lo sforzo che, come Fondazione per la Sostenibilità Digitale, stiamo cercando di compiere a supporto del Paese, ad esempio con lo sviluppo dell'Osservatorio per la Sostenibilità Digitale, che analizza da anni il punto di vista degli italiani, oppure con la PdR UNI137:2024, la Prassi di Riferimento sviluppata con l'Ente Italiano di Normazione per misurare la sostenibilità digitale dei progetti complessi.

Gli italiani e il digitale: paura di fake news e deepfake

Il 76% degli italiani ritiene che le fake news siano una seria minaccia per la società; il 73% considera i deepfake¹, ovvero video falsi generati dall'intelligenza artificiale, un rischio per la democrazia ma solo il 24% del campione verifica poco, o per nulla, le informazioni presenti in rete. Sono alcuni dei risultati del Rapporto "Informazione tra AI, Fake News, Deep Fake 2024", elaborato dalla Fondazione per la Sostenibilità Digitale che analizza le correlazioni tra trasformazione digitale e sostenibilità in Italia.

L'indagine evidenzia significative differenze tra chi vive nei piccoli centri e chi risiede nelle grandi città. Nei grandi centri urbani, il 36% degli intervistati verifica costantemente le informazioni, mentre nei piccoli centri solo il 17%. Questo divario riflette una maggiore esposizione alle dinamiche digitali nelle aree urbane.

Il rapporto mette in luce, inoltre, un quadro complesso della capacità di riconoscere i deepfake. Il 40% degli intervistati si considera poco o per nulla capace di identificare un deepfake, ma questa percentuale cresce al 50% quando si tratta di giudicare le capacità collettive. Quando si tratta di valutare le competenze degli altri, invece, prevale il pessimismo. Nei grandi centri, la percezione di incapacità altrui raggiunge il 59%, mentre nei piccoli centri si attesta al 43%, riflettendo una maggiore fiducia relativa.

L'indagine 2024 ha coinvolto un campione rappresentativo di cittadini italiani di diverse fasce d'età, livelli di istruzione e posizioni sulla sostenibilità. I risultati evidenziano il ruolo centrale delle tecnologie digitali nella trasformazione della mobilità urbana, ma anche alcune ambivalenze significative.

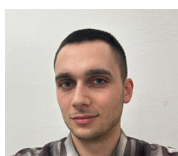
In particolare il rapporto fa emergere l'esigenza di un approccio integrato volto a formare i cittadini al riconoscimento delle fake news, a investire in strumenti di verifica e a definire normative chiare sull'uso delle tecnologie, con l'obiettivo di mitigare i rischi e favorire lo sviluppo di una cultura digitale basata sulla consapevolezza.

¹ "deepfake" deriva dalla combinazione di "deep learning" e "fake" e si riferisce a contenuti multimediali (video, immagini, audio) manipolati o creati utilizzando tecniche avanzate di intelligenza artificiale, in particolare il deep learning.

IA di qualità per dati affidabili e di livello

Passata, forse, la prima fase di scoperta da parte del grande pubblico dell'Intelligenza Artificiale (AI), spesso fatta di paure oppure di infatuazioni estreme, oggi la riflessione e lo sviluppo delle tecnologie legate all'intelligenza artificiale generativa si sta spostando sulla sostanza di queste tecnologie, ossia la qualità e la completezza dei sistemi IA. E una grande discussione è sulla base dei dati usati per l'addestramento delle IA.

DOI 10.12910/EAI2025-024



di Sergio Ferraris, Direttore di Nextville.it
e Alessandro Baltaro, Consulente e ricercatore presso ReteAmbiente

Passata, forse, la prima fase di scoperta da parte del grande pubblico dell'Intelligenza Artificiale (AI), spesso fatta di paure oppure di infatuazioni estreme, oggi la riflessione e lo sviluppo delle tecnologie legate all'intelligenza artificiale generativa si sta spostando sulla sostanza di queste tecnologie, ossia la qualità e la completezza dei sistemi IA. E una grande discussione è sulla base dei dati usati per l'addestramento delle IA.

Non è una questione di poco conto ben nota a chi utilizza e addestra AI per i segmenti professionali. Chi possiede basi di dati, o di contenuti, qualificati da tempo rivendica diritti sulle elaborazioni delle IA. È emblematico, sotto a questo profilo il caso che ha contrapposto OpenAI e il New York Times riguardo una controversia legale sul diritto d'autore, specificamente sull'uso non autorizzato di contenuti protetti da copyright per addestrare i modelli di intelligenza artificiale di

OpenAI, come ChatGPT.

Il New York Times ha intentato una causa federale contro OpenAI e Microsoft il 27 dicembre 2023, accusandoli di violazione del diritto d'autore per l'uso non autorizzato di milioni di articoli del NYT, sostenendo che l'uso di questi contenuti senza consenso o pagamento costituisce una violazione del copyright su larga scala e minaccia la capacità del giornale di sostenere il proprio modello di business, inclusi investimenti nel giornalismo di qualità.

OpenAI e Microsoft sostengono che l'uso dei dati rientra nella dottrina del cosiddetto "fair use", che consente l'uso di materiale protetto da copyright per scopi educativi, di ricerca o commento, a condizione che l'elaborazione sia trasformativa e non compete con l'originale.

L'accesso all'archivio del NYT, e comunque di qualsiasi giornale con decenni d'esperienza, rappresentano per le IA un efficace "antidoto" alle

cosiddette allucinazioni che le IA hanno avuto spesso durante la loro prima fase d'addestramento. **Le IA sono a caccia sistematica di contenuti, o dati, di qualità con le quali addestrare i propri sistemi. Rimanendo sempre nel campo dell'editoria, altri editori, come Associated Press e Vox Media, hanno scelto una strada diversa, raggiungendo accordi con OpenAI per condividere i propri contenuti.**

Dati di qualità

Un'evoluzione di questo dibattito è quello delle intelligenze artificiali generative verticali, basate su archivi selezionati e qualitativi che rappresentano un'evoluzione specifica dell'IA generativa, che si concentra su compiti specialistici e settoriali.

Si tratta di sistemi che utilizzano dataset selezionati e qualitativi per addestrare modelli che possono generare contenuti altamente specializzati e pertinenti a un segmento del lavoro della conoscenza specifi-

co, soddisfacendo bisogni precisi e puntuali, come l'ottimizzazione dei processi di produzione, anche sulle filiere della produzione di contenuti oppure sulla consulenza o della catena di approvvigionamento, materiale o immateriale. Per esempio, in ambito legale, l'IA generativa può essere adattata per effettuare il fine-tuning per gestire documentazione specifica, procedure aziendali o di sistema. I vantaggi circa l'utilizzo di archivi selezionati si possono riassumere in tre punti:

- la precisione, visto che i modelli addestrati su archivi selezionati e qualitativi generano contenuti più precisi e pertinenti a un settore specifico;
- l'efficienza, poiché l'uso di dataset mirati riduce il tempo e le risorse necessarie per l'addestramento, migliorando l'efficienza complessiva del sistema;
- l'adattabilità perché diventa possibile un facile adattamento a nuove esigenze specifiche del settore attraverso un fine-tuning.

Approcci verticali

In sintesi, le intelligenze artificiali generative verticali, basate su archivi selezionati e qualitativi, offrono un approccio personalizzato e efficiente per generare contenuti altamente specializzati, migliorando la precisione e l'efficienza in vari settori.

Se pensiamo ai vantaggi portati da queste tecnologie all'interno del settore, sicuramente il mondo normativo spunta subito tra i maggiori candidati per applicazioni future di modelli AI verticali, che possano essere una

guida affidabile in uno scenario come quello della normativa italiana, le cui luci e ombre possono essere paragonate, senza dubbi, a quelle di un inferno dantesco.

Considerando la delicatezza degli argomenti trattati, risulta difficile ai più affidarsi a sistemi artificiali per consigli di carattere giuridico e normativo, un campo minato in cui ad ogni passo si rischiano sanzioni o cause legali; c'è però una realtà, storica nel settore, che ha trovato in questo campo una nuova frontiera da esplorare, e che nei test condotti con alcuni gruppi ristretti di esperti in occasione di Key Energy a Rimini, ha già mostrato risultati più che sorprendenti.

Esperienza diretta

Si tratta di Nextville, dell'Osservatorio Normativa Ambientale e della Rivista Rifiuti, facenti tutte parte del gruppo ReteAmbiente, società che è stata tra le prime a creare database ordinati nei minimi dettagli dedicati alla normativa energetica nel primo caso, e a quella ambientale negli altri, con testi coordinati curati e aggiornati quotidianamente dalle diverse redazioni, che possono contare su figure autorevoli e di spessore.

Partendo da questa base, grazie alla collaborazione con un team di sviluppo dedicato, l'implementazione di modelli IA diventa, nella sua complessità, molto più semplice; tramite una ricerca vettoriale fatta su misura, questi modelli navigano all'interno dei database proprietari che coprono la normativa comunitaria, nazionale e

regionale, con sezioni dedicate a bandi, sanzioni, giurisprudenza e così via, fornendo non solo tutti i riferimenti di legge necessari, ma garantendo anche un'armonizzazione tra tutti i testi, nelle relazioni reciproche e nei "combinati disposti", affidabile, precisa e dettagliata, che in questa fase sperimentale è riuscita a impressionare i più esperti e i più scettici.

Lavoro integrati

Quello che a prima vista potrebbe sembrare un altro sistema IA comparabile ai più famosi citati già in precedenza, risulta invece soltanto un lontano parente: le prime sono dei tuttologi, come quei soggetti che su Facebook pensano di essere campioni in ogni materia, che sanno un po' di tutto ma nulla in particolare, e che basano le loro risposte su contenuti presenti nei propri database ma spesso di dubbia provenienza. In questo caso invece, ci troviamo di fronte a due esperti di normativa che elaborano risposte, consigli e analisi altamente affidabili basate sui materiali prodotti ogni giorno, è bene ricordarlo, dalle redazioni umane, come commenti, guide, focus e dossier dedicati.

Una sorta di nuovo modello ibrido nel quale il lavoro umano si fonde con quello dell'AI, coniugando la produttività dell'AI con il controllo e le competenze degli esperti. Una logica oltretutto contrapposta alla vulgata che vuole il lavoro delle persone in competizione con quello delle IA. Una strada che con ogni probabilità è quella da seguire per aumentare l'accettabilità sociale delle IA.

Raccontare l'innovazione guidata dall'IA

In un mondo dove l'IA sta trasformando ogni aspetto dell'attività umana, l'Osservatorio Intelligenza Artificiale dell'ANSA è il presidio informativo con cui l'Agenzia veicola notizie, approfondimenti e reportage sotto forma di articoli, video e podcast sviluppati ad hoc sul tema. Un "canale" dedicato del sito ANSA.it che, come già avviene su diversi argomenti come Salute, Motori o Lifestyle, offre una narrazione continua e puntuale sia degli sviluppi dell'intelligenza artificiale, sia delle complesse implicazioni sociali, politiche e culturali derivanti dalla sua diffusione sempre più capillare.

DOI 10.12910/EAI2025-006



di Alessio Jacona, curatore Osservatorio Intelligenza Artificiale - ANSA.it

In un mondo dove l'intelligenza artificiale sta trasformando praticamente ogni aspetto dell'attività umana, l'Osservatorio Intelligenza Artificiale dell'ANSA è il presidio informativo con cui l'Agenzia veicola notizie, approfondimenti e reportage sotto forma di articoli, video e podcast sviluppati ad hoc sul tema. Un "canale" dedicato del sito ANSA.it che, come già avviene per altre sezioni verticali su diversi argomenti come Salute, Motori o Lifestyle, offre una narrazione continua e puntuale sia degli sviluppi dell'intelligenza artificiale, sia delle complesse implicazioni sociali, politiche e culturali derivanti dalla sua diffusione sempre più capillare.

Attivo già dal 2019, l'Osservatorio si occupa anche di curare un'ampia rete di relazioni con istituzioni, università, centri di ricerca e imprese, da cui attinge conoscenza e informazioni

di prima mano, e che coinvolge ogni anno nell'organizzazione di eventi divulgativi in presenza. Il primo di questi, intitolato "Giornalismo 'Aumentato': il futuro dell'informazione al tempo dell'intelligenza artificiale", ha inaugurato sei anni fa una serie di convegni (trasmessi in streaming sulla home page del sito ANSA.it) in cui ogni anno a novembre l'Osservatorio ha raccontato lo stato dell'arte e i principali trend evolutivi dell'IA, ampliando progressivamente il numero dei temi trattati. Per quattro anni, fino al 2023, decine di esperti, scienziati e stakeholder si sono riuniti a Roma per discutere dell'impatto che l'intelligenza artificiale ha sugli ambiti più diversi: dall'automotive alla medicina, dalla robotica alle relazioni sociali.

Poi, nel 2024, il progetto si è evoluto ancora per dare seguito all'improvviso successo e diffusione delle tecnologie di intelligenza artificiale

generativa: a novembre dello scorso anno è infatti iniziato "Fabbrica delle Realtà - Roadshow", una serie di eventi verticali su singoli settori industriali, le cui prime due date si sono svolte a Napoli (l'IA nell'ecosistema dell'innovazione campano) e a Roma (Re-Immagini, l'umano, l'IA e la co-creazione), e che per tutto il 2025 continuerà con nuovi incontri in varie regioni d'Italia tra cui Puglia, Emilia-Romagna, Trentino e Liguria. **L'obiettivo è raccontare l'innovazione guidata dall'IA direttamente dai territori in cui essa avviene, assieme ai suoi protagonisti.**

All'origine del progetto Osservatorio IA c'è un'idea semplice: se c'è una rivoluzione tecnologica in corso, il pubblico deve essere informato affinché possa comprendere al meglio cosa sta accadendo. Un compito che ANSA, fedele alla sua storica missione giornalistica, ha fatto suo intuendo

do in anticipo l'importanza che l'intelligenza artificiale avrebbe assunto in questi anni. Un compito che ora si fa sempre più complesso. Vediamo perché.

Il balzo in avanti dell'IA

C'è un prima e c'è un dopo: prima, l'intelligenza artificiale si è evoluta per decenni restando di fatto invisibile, quando senza saperlo l'abbiamo utilizzata facendo ricerche su Google, lasciandoci consigliare da Amazon rispetto a cosa comprare, accettando i suggerimenti di Netflix per la prossima serie tv coreana da vedere tutta d'un fiato. A partire dalla fine dello scorso decennio, tuttavia, qualcosa ha iniziato a cambiare: IA sempre più capaci hanno iniziato ad attrarre maggiore interesse e, con esso, investimenti; gli investimenti hanno sostenuto l'evoluzione dell'hardware, che ha portato in dote maggiore potenza di calcolo e consentito di far

"girare" software sempre più evoluti, con il risultato di creare IA sempre più capaci. Un circolo virtuoso inarrestabile, la cui evoluzione restava ancora tutto sommato lenta rispetto a quanto avviene oggi.

Poi è arrivato il 30 novembre 2022: mentre il mondo subiva ancora le conseguenze della pandemia, in quella data la startup OpenAI ha reso accessibile a tutti ChatGPT3.0, un chatbot basato su ciò che poi abbiamo imparato a chiamare intelligenza artificiale generativa. È un punto di svolta: improvvisamente, milioni di persone si sono trovate a interagire con una macchina che - per la prima volta nella storia - non solo comprendeva il loro linguaggio, ma era in grado di scrivere testi nuovi, costruendo discorsi apparentemente sensati, complessi e ben strutturati in pochi istanti.

Nei mesi successivi avremmo imparato a capire che questa IA (come tutte

le altre comparse subito dopo sull'onda del suo successo tra cui quelle di Google, Anthropic o Meta) era lontana dall'essere perfetta, ed era spesso imprecisa, ma a quel punto il cambio di paradigma era già avvenuto: era ormai iniziata l'era delle macchine che parlano, ascoltano, rispondono, creano idee sotto forma di testo, immagini e video. **L'impatto sull'immaginario globale è stato enorme, l'intelligenza artificiale è diventata improvvisamente "pop" entrando nelle discussioni quotidiane di una popolazione sempre più ampia. E con la popolarità, è cresciuta drasticamente la necessità di un racconto giornalistico che dia conto in maniera affidabile di cosa sta accadendo.**

Quattro sfide per il giornalismo

Il successo planetario dell'IA generativa si somma al ritmo vertiginoso con cui essa si evolve: nuovi modelli, applicazioni e scoperte si susseguono



senza sosta, generando un flusso imponente di notizie. In questo contesto, **la prima sfida per i professionisti dell'informazione è riuscire a stare al passo con questa mole di informazioni, selezionando quelle rilevanti e fornendo al pubblico un resoconto tempestivo e accurato. Questo richiede la capacità di filtrare l'hype e individuare i trend veramente significativi, senza perdersi in un mare di annunci, proclami del marketing e tecnicismi.**

Per fare un esempio, nel raccontare i progressi dell'IA generativa sull'Osservatorio IA di ANSA.it spesso ci troviamo a ribadire che essa non è in grado di comprendere ciò che produce, che simula la creatività degli umani senza avere umanità, in modo da evitare che il pubblico cada nell'errore di credere che questi sistemi siano senzienti. Così come è importante sottolineare che **queste macchine sono imperfette, prive di etica e inquinate da pregiudizi che assorbono quando le addestriamo usando big data che abbiamo prodotto noi, che sono specchio della società inclusi tutti i suoi problemi, le sue contraddizioni insanabili, le sue ingiustizie.**

La seconda sfida è **spiegare la complessità con parole semplici**: L'IA generativa è una tecnologia complessa sia dal punto di vista tecnico, sia per le sue implicazioni sociali, economi-

che ed etiche. Il giornalista deve quindi sviluppare una comprensione approfondita di questi sistemi e dei loro effetti sul mondo per essere in grado di raccontarli in un linguaggio accessibile al pubblico, aiutando i lettori a discernere tra realtà e marketing, tra possibilità concrete e promesse vuote.

Giornalisti come "gatekeeper" dell'informazione

La terza sfida è rappresentata dal fatto che questa tecnologia è alla portata di tutti, anche di chi vuole creare contenuti falsi ma credibili, come testi, immagini e video (i cosiddetti "deepfake"), per distorcere i fatti, creare una realtà "alternativa" e manipolare l'opinione delle persone. In questo contesto, **il ruolo dei giornalisti (tutti, non solo quelli specializzati in tecnologia) è oggi più che mai quello di gatekeeper ("guardiano" ndr) dell'informazione**: da un lato, devono essere in grado di distinguere le notizie vere da quelle fake generate con l'IA, svolgendo il ruolo di "curatori" dell'informazione che contrastano la diffusione di falsità; dall'altro, devono spiegare al pubblico come fare altrettanto. Infine, **la quarta sfida che i giornalisti devono affrontare nella nuova era dell'intelligenza artificiale è imparare essi stessi ad utilizzare questa tecnologia per "aumentare" il proprio**

lavoro. Ad esempio, l'IA può essere utilizzata in redazione per automatizzare compiti ripetitivi, analizzare e selezionare grandi quantità di notizie, generare idee e persino creare bozze di articoli che poi il giornalista può editare, verificare e completare.

E poi, ancora, strumenti di IA possono essere utilizzati per individuare fake news generate a loro volta con intelligenza artificiale. ANSA, oltre a informare il pubblico tramite il lavoro della propria redazione e quello dell'Osservatorio IA, sperimenta ed utilizza già da alcuni anni «sistemi di intelligenza artificiale in modo tale da assicurare il rispetto dei diritti fondamentali, senza diminuire, limitare o fuorviare l'autonomia umana», come si legge nel codice etico di cui l'Agenzia si è dotata specificamente per l'adozione di questi strumenti tecnologici.

In particolare, per ANSA, l'IA è uno strumento di supporto al lavoro giornalistico che non sostituisce l'essere umano, e il suo utilizzo è limitato alla ricerca e classificazione di contenuti, con supervisione umana e editing finale da parte di un redattore. L'approccio è di apertura alle potenzialità dell'IA, ma sempre nel rispetto dei principi deontologici della professione, della dignità umana e con un'attenta supervisione redazionale.

La sinergia tra rivoluzione digitale e transizione energetica

L'intelligenza artificiale rappresenta una risorsa fondamentale per affrontare le sfide della transizione energetica e della gestione sostenibile delle risorse. Grazie alla sua capacità di analizzare grandi quantità di dati e di prevedere scenari complessi, può migliorare l'efficienza energetica, ridurre gli sprechi e integrare in modo ottimale le fonti di energia, per costruire un futuro più sostenibile e resiliente. L'IA può inoltre giocare un ruolo cruciale nella gestione della domanda energetica, attraverso l'uso di algoritmi di machine learning, per prevedere i picchi di domanda e implementare strategie di gestione, con vantaggi anche economici per cittadini e imprese.

DOI 10.12910/EAI2025-007



di Mario Nobile, Direttore Generale dell'Agenzia per l'Italia Digitale (AgID)

La rivoluzione digitale è ormai una realtà concreta e irreversibile che permea ogni settore delle nostre società, trasformandone profondamente le dinamiche. Questo fenomeno sta ridefinendo il modo in cui viviamo, lavoriamo e interagiamo, portando con sé opportunità e sfide senza precedenti. Tra le questioni principali che tale cambiamento ci impone di affrontare vi è l'integrazione dello sviluppo tecnologico con la transizione energetica in corso, al fine di garantire un progresso equo e sostenibile, in linea con gli obiettivi dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. In particolare, tra le nuove tecnologie, la crescita esponenziale dell'intelligenza artificiale e di modelli di machine learning, sempre più diffusi, rende necessario valutarne opportunità e rischi al fine di garantire una digitalizzazione che possa tenere conto e,

anzi, supportare, attraverso modelli di analisi e previsione, un nuovo modello di sviluppo basato su un utilizzo consapevole delle risorse.

Le potenzialità dell'IA per il risparmio energetico

La Strategia italiana per l'Intelligenza Artificiale, elaborata da un Comitato di esperti con il supporto della Segreteria Tecnica istituita presso l'Agenzia per l'Italia Digitale (AgID) per assistere il Governo nella definizione di una normativa nazionale e delle politiche sull'IA, pone l'accento sull'importanza di integrare l'IA nei processi di gestione e ottimizzazione delle risorse energetiche. Il documento riflette l'impegno del Governo nel creare un ambiente in cui l'IA possa svilupparsi in modo sicuro, etico e inclusivo, massimizzando i benefici e minimizzando i potenziali effetti avversi.

Dopo un'analisi del contesto globale e del posizionamento italiano, il documento definisce le azioni strategiche, raggruppate in quattro macroaree: Ricerca, Pubblica Amministrazione, Imprese e Formazione. La strategia propone, inoltre, un sistema di monitoraggio della relativa attuazione e un'analisi del contesto regolatorio che traccia la cornice entro cui dovrà essere dispiegata.

Particolare attenzione è stata riservata al tema della transizione energetica, in quanto l'intelligenza artificiale può rappresentare un valido strumento per migliorare la qualità della vita delle persone e per gestire in modo sostenibile le risorse, ottimizzando l'uso di energia e materie prime.

Ad esempio, i sistemi di gestione dell'energia basati su IA possono monitorare e analizzare i dati provenienti da sensori distribuiti in edifici,



impianti industriali e reti di distribuzione. Questi sistemi sono in grado di identificare pattern di consumo, prevedere picchi di domanda e suggerire interventi per ridurre gli sprechi. Inoltre, l'IA può ottimizzare l'utilizzo delle fonti di energia rinnovabili, come l'energia solare ed eolica, prevedendo la produzione e integrandola efficacemente nella rete.

L'IA può anche giocare un ruolo cruciale nella gestione della domanda energetica, attraverso l'uso di algoritmi di machine learning, per prevedere i picchi di domanda e implementare strategie di gestione, con vantaggi anche economici per cittadini e imprese.

Non di minore importanza risulta, nel contesto attuale caratterizzato da cambiamenti climatici ed eventi estremi sempre più frequenti, l'impiego dell'IA per costruire modelli predittivi che siano in grado di supportare la gestione delle emergenze.

L'intelligenza artificiale rappresenta, quindi, una risorsa fondamentale per affrontare le sfide della transizione energetica e della gestione sostenibile delle risorse. Grazie alla sua capacità di analizzare grandi quantità di dati e di prevedere scenari complessi, può migliorare l'efficienza energetica, ridurre gli sprechi e integrare in modo ottimale le fonti di energia, per costruire un futuro più sostenibile e resiliente.

L'IA: una tecnologia energivora

Anche il programma della COP29, la ventinovesima conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, svoltasi a Baku dall'11 al 22 novembre, ha previsto, per la prima volta, un'intera giornata tematica dedicata alla digitalizzazione, sottolineando quanto le strategie climatiche e di gestione delle risorse debbano necessariamente integrarsi con l'utilizzo di strumenti digitali. Nonostante le

sue potenzialità, è infatti importante riconoscere che l'IA stessa è una tecnologia ad alto consumo energetico, anche se spesso l'entusiasmo per le sue applicazioni oscura il fatto che il suo addestramento e la sua esecuzione richiedono enormi quantità di risorse. Per esempio, si stima che per l'addestramento di un recente modello generativo siano stati utilizzati fino a 62 mila megawattora, pari al fabbisogno energetico di 1.000 famiglie in cinque-sei anni. O ancora, l'addestramento di un Large Language Model ha determinato un aumento nel consumo di acqua del 20% da parte della società che lo sviluppa.

È necessario quindi creare una maggiore consapevolezza di queste implicazioni fra gli utenti, affinché possano fare un uso responsabile di questa tecnologia. Se una ricerca su uno dei principali motori di ricerca emette 0,2 grammi di CO₂, la stessa ricerca su un modello generativo

ne genera 4,32 grammi. Aumentare le competenze dei cittadini al fine di sfruttare al meglio le potenzialità dell'intelligenza artificiale è uno degli obiettivi proposti dalla Strategia Italiana per l'Intelligenza Artificiale, che prevede la promozione di percorsi educativi per le scuole e l'intera cittadinanza, oltre che iniziative di reskilling e upskilling dedicati sia ai lavoratori pubblici che privati.

L'impatto ambientale dei data center

Tra le implicazioni dell'utilizzo dell'IA, va considerato anche l'impatto ambientale dell'infrastruttura necessaria per supportarla. I data center, che ospitano i server utilizzati per l'addestramento e l'esecuzione dei modelli di IA, sono noti per il loro elevato consumo energetico. In Europa,

Dublino è il principale hub di data center hyperscale, nonché il terzo tra i più grandi al mondo. Secondo l'ufficio centrale di statistica irlandese, i data center hanno consumato nel 2023 il 21% di tutta l'elettricità misurata, superando per la prima volta il consumo delle abitazioni urbane.

Per affrontare queste sfide è necessario adottare, quindi, un approccio olistico che consideri l'intero ciclo di vita delle tecnologie di IA, dalla progettazione all'implementazione e alla gestione operativa.

Per esempio, l'adozione di pratiche di progettazione sostenibile, come l'uso di materiali a basso impatto ambientale e l'ottimizzazione dell'efficienza energetica delle infrastrutture e dei dispositivi, può contribuire a ridurre l'impatto ambientale complessivo dell'IA. Anche la transizione verso le

energie rinnovabili, l'adozione di tecnologie di raffreddamento innovative e l'uso di acqua riciclata o non potabile per il raffreddamento rappresentano soluzioni utili per ridurre i consumi di risorse legati all'IA.

Infine, gli stessi modelli di machine learning possono essere sfruttati per migliorare l'efficienza dei data center, prevedendo le esigenze di raffreddamento, gestendo i carichi di lavoro in modo più efficiente e riducendo i tempi di inattività dei server.

Solo attraverso un approccio equilibrato e consapevole, che comprenda anche un'adeguata consapevolezza degli utenti, sarà possibile sfruttare appieno i benefici di questa tecnologia, minimizzando al contempo il suo impatto ambientale e promuovendone un utilizzo responsabile e sostenibile.

AI via il laboratorio di IA dell'Università di Torino. Sperimenterà gli algoritmi del futuro

Si chiama HighESt Lab ed è il laboratorio di Big Data e Intelligenza Artificiale (AI), nato all'interno del Dipartimento di Economia e Statistica Cognetti de Martiis dell'Università di Torino per sviluppare competenze, ricerca, innovazione e occuparsi di Big Data e Intelligenza Artificiale. In particolare, il centro - realizzato con la collaborazione di Oracle, Technology Reply e Tim Enterprise - si occuperà di ricerca applicata all'IA con aziende pubbliche, private ed enti, utilizzando l'IA e l'analisi dei dati per accrescere il valore di progetti e attività e rispondere a nuove esigenze in settori come sanità, cultura, formazione, ricerca e ambiente.

L'iniziativa nasce sulla base di una collaborazione pubblico-privato e avrà come riferimento un team multidisciplinare composto da accademici, studenti e professionisti del settore industriale che lavoreranno congiuntamente su progetti di ricerca accademica e applicata. Attualmente il laboratorio HighESt Lab sta sviluppando progetti in settori quali la didattica, la ricerca scientifica e il patrimonio culturale; tra le iniziative in corso, tuttavia, rientrano anche lo sviluppo di assistenti virtuali e di agenti intelligenti per agevolare la produzione scientifica, l'adozione di soluzioni innovative per potenziare le competenze degli studenti e l'applicazione dell'IA a professioni specializzate come quello del restauro.

In questo contesto è stata anche sviluppata una soluzione tecnologica per il laboratorio, che utilizza l'Intelligenza Artificiale a supporto agli studenti. Si tratta del Virtual Tutor, realizzato dal gruppo Tim attraverso Tim Enterprise, e si distingue per l'utilizzo delle potenzialità dell'IA generativa nella preparazione degli esami universitari. L'applicazione consente di accedere a un tutor virtuale avanzato per favorire un apprendimento personalizzato su fonti di conoscenza certificate. È già stato utilizzato in via sperimentale dagli studenti del corso di 'Economia e gestione dell'innovazione e dei modelli di business' nella sessione estiva del 2024 per prepararsi agli esami attraverso oltre 2.000 interrogazioni, utilizzando un sistema intelligente dedicato alla ricerca rapida di informazioni e alla generazione di risposte a domande specifiche. Tra le altre iniziative avviate figurano anche lo studio di applicazioni di GenAI nelle imprese per ridurre il pregiudizio di genere e sostenere le donne nel raggiungere posizioni di rilievo all'interno delle organizzazioni e l'utilizzo della GenAI per creare modelli di business innovativi.

Ma le macchine possono pensare?

C'è da chiedersi se siamo tutti vittime di un'illusione di massa a vedere quanti frammenti, collegamenti, connessioni e fili stanno emergendo ad annodare e stringere due mondi così distanti: l'intelligenza artificiale da una parte e le suggestioni letterarie e saggistiche del Novecento dall'altra.

DOI 10.12910/EAI2025-008



di Massimo Sideri, Inviato ed Editorialista del Corriere della Sera

C'è da chiedersi se siamo tutti vittime di un'illusione di massa a vedere quanti frammenti, collegamenti, connessioni e fili stanno emergendo ad annodare e stringere due mondi così distanti: l'intelligenza artificiale da una parte e le suggestioni letterarie e saggistiche del Novecento dall'altra. È noto che il padre naturale dell'AI è Alan Turing. Si è posta la domanda del nuovo secolo (il nostro): le macchine possono pensare? Ma a consumare il tempo in un esercizio di resilienza analogica (sfogliare vecchi libri) c'è da rimanere colpiti dalla quantità di suggestioni che hanno riempito le giornate di grandi scrittori e letterati. Primo fra tutti (ma non ultimo) Italo Calvino che già negli anni Sessanta teneva delle conferenze internazionali sulla prima primavera dell'AI. Consiglio di leggere (studiare) il saggio "Cibernetica e fantasmi" dove Calvino anticipa l'arrivo di una macchina scrivente (non da scrivere) come evoluzione dell'informatica. Oggi la chiamiamo ChatGPT ma solo perché non siamo stati abbastanza veloci nel battezzarla CalvinoGPT. Leggere per credere.

Il caso di Primo Levi

Come anticipato non fu l'unico. Primo Levi è un altro caso forse meno noto ma per certi versi più impressionante: scrisse il "Versificatore", racconto in cui immaginava che le macchine potranno aiutare i poeti a scrivere versi, semplicemente immettendo le caratteristiche preferite: endecasillabi, componimento breve, argomento: "il lavoro del futuro". Quello che oggi chiamiamo prompt, la richiesta. Sul suo soggetto venne anche girato un mini film dalla Rai che oggi potete trovare su YouTube. Qui è interessante aprire una piccola parentesi: Calvino era l'editor per l'Einaudi di Levi. Scrisse lui, probabilmente, la biografia sulla terza di copertina, sottolineando che Levi, già famoso per "Se questo è un uomo", era un "chimico". Un particolare che per Calvino - che si considerava la pecora nera della propria famiglia per non averne seguito le pulsioni scientifiche - era molto importante. Per tutta la vita lo scrittore che era nato a Cuba ma si divertiva a spacciarsi per sanremese (una allucinazione?) si dedicò alla lettura di riviste scientifiche che daranno poi

vita in particolare alle Cosmicomiche, tentativo di affrancare la fantascienza dagli schemi in cui era ricaduta. Dunque, scienza e letteratura. Insieme. Non potremmo ipotizzare che facciano parte entrambe di quella ricetta che porta allo sviluppo di tecnologie? Allora ecco un altro esempio. Meno visibile eppure concreto: passiamo a Borges e alla sua "Biblioteca di Babele" che contiene tutti i libri possibili, infiniti, che si possono ottenere dalla combinazione di 25 simboli (lettere più una punteggiatura scarnificata). In altre parole: un algoritmo che combini le lettere come fossero numeri, combinazioni. Vi ricorda qualcosa? Come era possibile che la stessa suggestione tornasse in autori così distanti? (Anche se è vero come Calvino incontrò Borges. Lo scrittore argentino teneva strette relazioni con l'Italia che, allora, piccola nota malinconica, era considerata ancora uno dei centri più luminosi della letteratura).

Rendere le macchine accessibili

A rileggere sempre quei vecchi libri si scopre che il dibattito sulla scrittura come arte combinatoria era inter-



nazionale. In particolare oltre ai matematici russi se ne occupò l'Oulipo, l'Officina delle letterature potenziali (oggi diremmo letterature algoritmiche), in cui oltre che Calvino militava Raymond Queneau (non a caso autore di "Centomila miliardi di poesie"). La storia dell'umanità come ricombinazione infinita sempre della stessa trama. Non a caso un altro amante delle domande faceva dire al vecchio frate cieco de "Il Nome della Rosa" (Borgus,

chiaro riferimento a Borges) che il compito delle biblioteche era preservare la conoscenza. Non diffonderla. Insomma quelle tracce e quei frammenti di cibernetica e GPT ante litteram non sono un caso di illusione di massa ma l'output di precisi input che il dibattito si diede al tempo. E che i letterati accettarono. È forse questa la vera considerazione su cui soffermarsi: lo scomparso padre del Basic, Thomas Kurtz, aveva l'obiettivo di

rendere le macchine accessibili a filosofi, umanisti, artisti grazie a un linguaggio semplice che nascondesse i codici dietro comuni lemmi dell'inglese, come THEN. Quanto di quella promessa è stata mantenuta? Quanti umanisti oggi sono pronti ad accettare la sfida di dare forma al nuovo mondo della conoscenza che fuoriuscirà dal nuovo Deus ex Machina-GPT?

Supercalcolo, IA e infrastrutture digitali: il valore della condivisione

In un contesto sempre più complesso e interconnesso, la rilevanza delle infrastrutture digitali travalica gli aspetti puramente tecnologici e determina impatti significativi anche a livello sociale, economico e geopolitico. Diventa cruciale quindi interrogarsi sul ruolo che il mondo dell'università e della ricerca può giocare in un settore che troppo spesso appare dominato da pochi colossi privati. **Emerge dunque con forza la necessità di garantire che il progresso tecnologico sia guidato da principi di sostenibilità a vario livello.**

DOI 10.12910/EAI2025-009



di Maurizio Tira, Presidente GARR^[1]

In un contesto sempre più complesso e interconnesso, la rilevanza delle infrastrutture digitali travalica gli aspetti puramente tecnologici e determina impatti significativi anche a livello sociale, economico e geopolitico. Diventa cruciale quindi interrogarsi sul ruolo che il mondo dell'università e della ricerca può giocare in un settore che troppo spesso appare dominato da pochi colossi privati. In particolar modo, se pensiamo alle intelligenze artificiali, non possiamo non considerare quanto si stiano affermando, facendo intravedere da un lato le loro immense opportunità, ma sollevando dall'altro rilevanti questioni etiche. **Emerge dunque con forza la necessità di garantire che il progresso tecnologico sia guidato da principi di sostenibilità a vario livello: ambientale, sociale, economico ed anche politico-istituzionale. Si tratta di trovare il giusto equilibrio all'interno di un articolato ecosistema di cor-**

relazioni tra vari elementi nel quale la componente del digitale assume una dimensione centrale.

Gli sviluppi dell'IA, legati strettamente alle possibilità offerte dal supercalcolo e dallo sviluppo delle reti per la trasmissione di dati, infatti, vanno di pari passo e la loro crescita esponenziale dà un contributo enorme nell'affrontare grandi sfide globali, come le politiche di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico o la medicina di precisione. Allo stesso tempo, l'uso massiccio di modelli di deep learning e i data center per la loro elaborazione fanno crescere significativamente i consumi energetici e le emissioni di CO₂.

Non si può certamente ignorare questo aspetto: non esistono azioni umane neutrali rispetto alle conseguenze ambientali; occorre dunque affrontare la questione della mitigazione dell'impatto e di ottimizzazione delle risorse, siano esse fisiche o economiche. In questa direzione, la

comunità accademica e della ricerca ha una grande responsabilità perché può rappresentare un baluardo nel garantire un accesso equo, con investimenti mirati, una gestione efficace, libera da logiche competitive di mercato ed una naturale propensione alla condivisione.

Creare sistemi efficienti e collaborativi

Fin dagli albori di Internet, infatti, si è dimostrato come si possano ottenere risultati significativi anche senza disporre dei mezzi economici dei grandi operatori commerciali. Ciò è stato possibile grazie a strategie come la federazione dei servizi, l'armonizzazione dell'accesso ai dati e l'interoperabilità delle infrastrutture, che hanno permesso di creare sistemi efficienti e collaborativi.

Un esempio è quanto fatto storicamente da GARR, in Italia, e dalle altre reti nazionali della ricerca, a livello mondiale. La condivisione di

infrastrutture e delle competenze è la chiave del successo, così come lo è saper coniugare innovazione e valori fondamentali. In questo è molto importante il ruolo dell'Europa che, seppur indietro negli investimenti in ICT rispetto a Stati Uniti e Cina (come ben evidenziato dal recente Rapporto Draghi) e apparentemente frenata da un'eccessiva attenzione agli aspetti normativi, **rappresenta tuttavia un modello a cui fare riferimento affinché la crescita tecnologica non lasci indietro nessuno e garantisca quei pilastri irrinunciabili di democrazia, inclusione, impegno contro il digital divide.**

Guardando più da vicino il nostro Paese, lo scenario che si sta delineando con le recenti iniziative, va proprio in questa direzione. Il PNRR è stato un'occasione unica per recuperare un gap infrastrutturale e l'uso efficiente dei fondi a disposizione ha portato al completamento di una dorsale ad altissima capacità in grado di interconnettere data center distribuiti su tutto il territorio nazionale. È stato possibile raggiungere aree in forte divario digitale aumentando la capillarità della rete e dare così ai ricercatori le stesse opportunità, indipendentemente dalla loro posizione geografica. Questo consente anche di avvicinare le risorse di calcolo all'utilizzatore, riducendo costi e consumi.

Nel supercalcolo l'Italia in primo piano a livello mondiale

Dal punto di vista del supercalcolo, inoltre, l'Italia è in una posizione di primo piano a livello mondiale. Dopo la realizzazione del supercomputer Leonardo pochi anni fa, è arrivata a dicembre la notizia che sarà il nostro Paese ad ospitare, con IT4LIA AI Factory, una delle prime piattaforme strategiche di intelligenza artificiale della Commissione europea finanziate nell'ambito dello **European High**

Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC-JU). Si tratta di un investimento importante, di circa 430 milioni di euro, cofinanziato equamente dall'Italia e dall'iniziativa comune EuroHPC, frutto del lavoro congiunto di istituzioni ed enti di ricerca, e che dà evidenza del potenziale di una collaborazione ampia e strategica.

Cuore del progetto è la realizzazione di un supercomputer avanzato, ottimizzato per l'IA, che sarà installato presso il Tecnopolo di Bologna, già punto di riferimento europeo per il supercomputing, i big data, l'IA e il calcolo quantistico. IT4LIA AI Factory avrà un impatto decisivo su settori strategici come l'agroalimentare, la cybersecurity, le scienze del clima e della Terra e il manifatturiero. Il coinvolgimento attivo del mondo della ricerca nel guidare questo processo dimostra la forza e l'efficacia del settore quando riesce ad unire le forze e lavorare in modo coordinato. Nonostante lo strapotere dei big player, si è ancora in grado di bilanciare innovazione e trasparenza, evitando la concentrazione di potere e conoscenza nelle mani di pochi e garantire che le tecnologie, siano davvero uno strumento al servizio della collettività.

La pervasività dell'IA e dell'automazione è ormai sotto gli occhi di tutti e anche le reti di telecomunicazioni non possono farne a meno per migliorare il controllo e l'efficienza nella gestione. All'interno della rete GARR stiamo lavorando per introdurre progressivamente tecnologie e strumenti innovativi di automazione e programmazione che consentano una gestione dinamica in funzione del traffico e delle esigenze degli utenti. Sono previsti interventi mirati, come la realizzazione di sistemi di monitoraggio in tempo reale per rilevare anomalie, di diagnostica predittiva per prevenire guasti e di tecnologie

per ottimizzare l'efficienza energetica.

Attacchi informatici, cybersecurity e ritardi nelle competenze digitali

Un altro campo dove l'IA è entrata in modo prepotente e sta cambiando profondamente il modo in cui vengono gestiti gli attacchi è la cybersecurity. Grazie alla capacità di permettere analisi di grandi quantità di dati in tempo reale, l'IA è in grado di identificare comportamenti anomali, rilevare vulnerabilità e prevenire minacce prima che possano causare danni significativi.

Le nuove sfide e la velocità con cui si susseguono i cambiamenti richiedono, tuttavia, un forte impegno sulla formazione delle competenze. Qualsiasi investimento in tecnologie avanzate o ricerca di frontiera richiede un livello di competenze adeguate, che deve essere costantemente sviluppato e valorizzato. Solo così è possibile garantire la sostenibilità e l'efficacia nel lungo termine.

Purtroppo, l'attrattività dei talenti nel settore pubblico è piuttosto bassa e **l'Italia sconta anche un ritardo a livello europeo**, come dimostra il **"Report on the state of the Digital Decade 2024"**, il rapporto che da due anni ha sostituito il DESI (Digital Economy and Society Index). Nel documento, i valori relativi alle competenze digitali sono tra i più critici: l'Italia si posiziona al quint'ultimo posto tra gli Stati Membri con il 45,8% della popolazione in possesso delle competenze digitali di base. Non brilliamo neanche per la percentuale di specialisti impiegati nel settore ICT: con il 4,1% ci collochiamo al quart'ultimo posto.

Come invertire la tendenza? Sicuramente non è semplice, ma nessuno può farcela da solo: **è necessario attuare un'ampia collaborazione tra i settori, come ad esempio sta avven-**

nendo nell'ambito dei Centri Nazionali finanziati dal PNRR che uniscono in maniera sinergica l'accademia, la ricerca e il mondo produttivo. È importante, inoltre, promuovere una

diffusa cultura digitale, per favorire l'evoluzione di uno spirito critico, senza demandare all'IA, o alla tecnologia in generale, l'onere delle decisioni, contando sulle scelte effettuate da

altri. **Aumentare la consapevolezza, quindi, diventa un'azione fondamentale** per essere protagonisti del futuro, porsi le giuste domande e trovare le soluzioni adeguate.

¹ GARR è la rete nazionale ad altissima capacità dedicata alla comunità dell'istruzione, della ricerca e della cultura. Il suo principale obiettivo è quello di fornire connettività ad alte prestazioni e di sviluppare servizi innovativi per le attività quotidiane di docenti, ricercatori e studenti e per la collaborazione a livello internazionale.

La rete GARR è ideata e gestita dal Consortium GARR, un'associazione senza fini di lucro fondata sotto l'egida del Ministero dell'Università e della Ricerca. Gli enti soci sono CNR, ENEA, Fondazione CRUI, INAF, INFN, INGV, le università statali italiane, gli Istituti di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico (IRCCS) e gli Istituti Zooprofilattici Sperimentali (IZS).

La rete GARR è unica e si distingue dagli operatori commerciali per la sua natura istituzionale e per le capacità trasmissive estremamente elevate in download e upload. Il carattere di unicità è stato riconosciuto nel Decreto Legislativo n. 218 del 25 novembre 2016 che definisce la rete GARR "unica rete nazionale della ricerca e facente parte della rete della ricerca europea GÉANT". La rete GARR è stata inserita, inoltre, nella roadmap nazionale delle infrastrutture di ricerca di interesse europeo e tra le infrastrutture prioritarie nel Piano Nazionale per le Infrastrutture di Ricerca (PNIR) 2021-2027

L'IA non può sostituire il giornalista



Intervista con Carlo Bartoli, Presidente del Consiglio nazionale dell'Ordine dei giornalisti

Uno dei settori più interessati e più coinvolti dall'arrivo dell'IA è quello del giornalismo. Per questo abbiamo chiesto un'intervista al Presidente dell'Ordine nazionale dei giornalisti Carlo Bartoli, che pubblichiamo qui di seguito.

Presidente Bartoli, con l'adozione crescente dell'intelligenza artificiale nel settore giornalistico, quali sono i rischi principali per l'etica e l'indipendenza della professione?

Ogni innovazione tecnologica pone dei rischi e delle opportunità per la professione giornalistica. Lo abbiamo visto con l'avvento dei computer e la sostituzione della macchina da scrivere. Poi è arrivato internet seguito a stretto giro dai social media. Ora abbiamo l'Intelligenza Artificiale generativa, in grado di creare autonomamente contenuti multimediali, cioè testi, audio, video, foto. La IA coinvolge tutti i settori della nostra società, quello dell'informazione, è tra i più interessati in quanto si innesta su un ecosistema digitale ormai pervasivo dove le grandi piattaforme tirano le fila. Il rischio per l'indipendenza dei giornalisti, con la IA, dipende dal livello con cui viene utilizzata ed applicata. Innanzitutto la IA non può essere sostitutiva del giornalista, è necessario che ci sia sempre il controllo e la verifica dei contenuti informativi realizzati con il suo supporto.

“Negli strumenti di IA vi sono aspetti interessanti,

In che modo l'intelligenza artificiale può essere utilizzata dai giornalisti per migliorare il processo di raccolta e analisi delle informazioni, senza compromettere la qualità e l'autenticità del lavoro?

Vi sono indubbiamente aspetti interessanti negli strumenti di intelligenza artificiale, in particolare nei processi di velocizzazione e alleggerimento per le funzioni ripetitive o per il trattamento di una grande mole di dati. Pensiamo, ad esempio, ai risultati elettorali o ai tabellini di competizioni sportive, tanto per citare esempi. Vi sono anche strumenti particolarmente utili: per il data mining, per la produzione di immagini, per le traduzioni. Potenzialmente l'intelligenza artificiale può dare un contributo a migliorare la qualità dell'informazione liberando tempo. Ovviamente il punto centrale è sempre lo stesso: tutte le funzioni devono comunque ricadere sotto il controllo umano del giornalista. Faccio un esempio: posso chiedere alla IA di creare una immagine, ma devo verificare che essa corrisponda a ciò che voglio pubblicare, con tutte le implicazioni etiche e deontologiche che implica la creazione di un contenuto.

E' necessaria un'autoregolamentazione da parte dei giornalisti per evitare i rischi e cogliere le opportunità dell'IA?

Nella seduta di dicembre 2024 il Consiglio nazionale dell'Ordine dei giornalisti ha approvato all'unanimità il nuovo Codice deontologico delle giornaliste e dei giornalisti. Frutto di un lavoro complesso e di un proficuo confronto con enti, sindacati e associazioni della categoria. Questo nuovo Codice, che entrerà in vigore dal primo giugno 2025, è molto più sintetico e agile e introduce importanti innovazioni, a cominciare dalle regole sull'Intelligenza artificiale. Riporto qui integralmente le otto righe del nuovo articolo 19 che recita: "1. Fermo restando l'uso consapevole delle nuove tecnologie, l'intelligenza artificiale non può in alcun modo sostituire l'attività giornalistica. 2. Quando si avvale del contributo dell'intelligenza artificiale, la/il giornalista: a) ne rende esplicito l'utilizzo nella produzione e nella modifica di testi, immagini e sonori, di cui assume comunque la

responsabilità e il controllo, specificando il tipo di contributo; b) verifica fonti e veridicità dei dati e delle informazioni utilizzati. 3. In nessun caso il ricorso all'intelligenza artificiale può considerarsi esimente in tema di obblighi deontologici.”

“In nessun caso il ricorso all'IA può considerarsi esimente dagli obblighi deontologici,,

La diffusione di strumenti di IA come i chatbot genera preoccupazioni per la possibile proliferazione di fake news. Qual è il ruolo del giornalismo nel contrastare questi rischi e come dovrebbe evolversi la formazione dei giornalisti?

Il Consiglio nazionale ha portato avanti in questi ultimi tre anni un grande sforzo per incrementare l'offerta formativa, abbiamo aumentato i fondi per gli Ordini regionali, incrementato i corsi on-demand, prestato più attenzione all'innovazione tecnologica. Nello scenario digitale, al netto della tipologia degli strumenti, il ruolo del giornalista rimane invariato: verifica delle fonti, verità sostanziale dei fatti, rispetto delle persone.

L'accuratezza con cui IA e chatbot possono produrre notizie false e manipolate è un grande rischio, ma sta al giornalista attrezzarsi in modo adeguato per individuare e, nel caso, smascherare i falsi. Vi sono anche strumenti di IA che aiutano nella verifica delle fonti. Il problema è un altro. Il giornalista è iscritto all'Albo, il suo nome e cognome sono pubblici e individuabili, rispondiamo a leggi sempre più restrittive come quelle che limitano la pubblicazione di atti giudiziari; siamo oggetto di specifici articoli del codice penale, vedi la diffamazione a mezzo stampa. Inoltre le violazioni deontologiche vengono perseguite e sanzionate in via disciplinare. Al contrario abbiamo il web e i social media che si muovono a ruota libera e in anonimato.

Come può evolvere la professione giornalistica nell'era dell'intelligenza artificiale? Quali azioni l'Ordine Nazionale dei Giornalisti intende intraprendere per affrontare questa trasformazione?

Cerchiamo di seguire l'evoluzione dei processi di innovazione che investono la professione giornalistica. Ab-

biamo promosso l'Osservatorio sul giornalismo digitale. Un think tank di esperti che ogni anno elabora un rapporto. Il primo, nel 2023, è stato dedicato al comparto editoriale ed ha mostrato con grande chiarezza le dinamiche della crisi strutturale del sistema dell'informazione, sia a livello globale che nazionale. Quello del 2024, invece, concentra l'attenzione sul “lettore perduto”, ossia sui destinatari finali dell'attività giornalistica e sulle modalità di fruizione dell'informazione, mettendo a fuoco i rischi, opportunità ed esperienze con l'intelligenza artificiale generativa.

“Il giornalista deve attrezzarsi per individuare e smascherare i falsi,,

Con la LUMSA, invece, abbiamo lanciato un questionario per raccogliere le esperienze e le opinioni delle colleghe e dei colleghi sulla IA. Teniamo inoltre presente che il nuovo contesto digitale necessita di un adeguamento dei profili giornalistici. Oggi, oltre alle consolidate attività legate alla comunicazione digitale quali social media, videomaker e operatori su diverse piattaforme, emerge la domanda di giornalisti specializzati nel “data mining”, ossia quelli che scavano a fondo nel web; servono specializzati in “debunking”, capaci di individuare e di svelare le notizie false o le abili manipolazioni che si fanno sul web; di esperti in podcast, per non parlare dei graphic journalists, molto richiesti con l'incremento della comunicazione visuale che tende a sostituire sempre più quella scritta. C'è poi il nuovo filone di giornalisti che si devono interfacciare l'Intelligenza artificiale.

Lei ha sostenuto che l'IA è una sfida cruciale per il futuro del giornalismo e della democrazia e ha ribadito che il progresso tecnologico non deve accentuare la precarietà lavorativa nel settore editoriale. Quali soluzioni possono essere adottate per bilanciare innovazione e sostenibilità professionale?

Sul piano legislativo sia europeo che italiano possiamo ritenere sostanzialmente acquisito il principio della prevalenza del controllo umano su quello delle macchine e degli algoritmi, sia nelle fasi di addestramento che di elaborazione e pubblicazione dei contenuti. Ovviamente c'è da vedere cosa questo implica nella realtà e come

si articoleranno nel dettaglio le normative. Allo stesso modo occorrerà intervenire per garantire che la IA non venga utilizzata per espellere giornalisti dalle redazioni. Il rischio maggiore, in prospettiva, riguarda i tentativi di "sostituzione" dei giornalisti e un approccio meramente economicista da parte delle aziende editoriali. Questo sarebbe devastante per il giornalismo e impoverirebbe la qualità dell'informazione. Altro grande problema riguarda la remunerazione, la tutela del prodotto giornalistico e dei diritti d'autore, una questione già vissuta con l'avvento del web. Allora gli editori si erano lanciati ad occhi chiusi nelle braccia delle grandi piattaforme, restandone in gran parte fagocitati e ricavandone ben poco e scaricando, quindi, i costi sulla compressione del lavoro giornalistico.

“Il rischio maggiore riguarda i tentativi di "sostituzione" dei giornalisti,

Con la IA può accadere qualcosa di molto simile. Servono trasparenza e regole nelle intese con gli OTT ¹ al fine di garantire – come scritto nel Disegno di Legge 1146 (la legge quadro italiana su IA) – un “equo compenso” per i produttori di contenuti informativi che vengono usati sia per addestrare e che per far funzionare le IA. La qualità dell'informazione professionale passa attraverso un lavoro contrattualizzato e retribuito in modo dignitoso. Precarietà e frammentarietà del lavoro vanno nella direzione opposta. Sostenere la qualità dell'informazione significa anche sostenere il lavoro giornalistico.

Giornalismo senza robot ai tempi dell'Intelligenza artificiale

di Manuela Pelati, Corriere della Sera

Trovano ampio spazio i temi ambientali nel libro della giornalista del Corriere della Sera, Manuela Pelati, uscito a gennaio 2025 dal titolo «Giornalismo senza robot ai tempi dell'Intelligenza artificiale» edito da Gangemi editore (www.gangemi.com). Dalla cronaca alla politica, dai cold case alle inchieste, dalla politica estera alla violenza sulle donne, l'informazione in questo libro ha un punto di vista centrato sulla persona, perché la tecnologia aiuta e velocizza il lavoro del giornalista ma non sostituisce la creatività e la capacità critica. All'uso spregiudicato dell'intelligenza artificiale e alla concorrenza sleale di ChatGpt rispondono la denuncia del New York Times, le norme internazionali, lo scenario etico e deontologico. Sfide da perseguire. Il viaggio dentro la notizia è proposto a partire dalla scrittura del testo e dalle forme del giornalismo tradizionale arrivando al web con le nuove redazioni del Seo e della Serp dove convivono tecnici, giornalisti e marketing.

Il 21 novembre 2023 in un'audizione presso il Comitato sull'Intelligenza Artificiale presieduto da Giuliano Amato per studiare l'impatto dell'IA sul sistema editoriale, il diritto d'autore, la produzione, organizzazione e diffusione dei contenuti, lei ha lanciato la proposta di un patto fra tutti i soggetti interessati per realizzare un piano organico che non tagli fuori l'Italia dai nuovi scenari dell'informazione, Quali sono i punti cardine sui quali dovrebbe poggiare questa grande alleanza? E chi sono i soggetti da coinvolgere?

Oggi si tratta di compiere scelte strategiche di lungo respiro, capaci di rispondere agli interessi di tutti i soggetti in campo con una visione ampia: editori, giornalisti, istituzioni, ma anche tanti altri settori della società, in un'ottica di sistema-paese e non settoriale. Il giornalismo può avere un futuro solo se punta alla qualità, all'autorevolezza, se si dimostra ogni giorno attendibile ed affidabile; in grado di fare da controcanto a tutto ciò che irrompe, senza alcuna regola, dal web. Per fare questo occorrono politiche di sistema, con risorse e norme adeguate. In questo quadro serve anche una revisione della legge istitutiva dell'Ordine che ormai risale a sessanta anni fa, un'altra era geologica. Il Consiglio nazionale, alla unanimità, ha elaborato e approvato una proposta di riforma che punta proprio ad innalzare la qualità dei giornalisti: dall'accesso, alla digitalizzazione dell'esame, alla semplificazione di una serie di procedure ormai obsolete. La proposta è stata sottoposta al Parlamento sottolineando la necessità di una riforma delle norme per i giornalisti al fine di avere profili professionali e regole adeguati alle sfide dell'innovazione.

¹ Over-the-top sono le imprese che forniscono direttamente attraverso Internet servizi, contenuti e pubblicità, bypassando i sistemi di distribuzione tradizionali come il digitale terrestre. Si tratta di aziende come Amazon, Facebook, Netflix e Google

L'IA è fondamentale per migliorare la resilienza delle infrastrutture critiche



Intervista con Franco Federici, Consigliere Militare del Presidente del Consiglio dei Ministri

Franco Federici, è il Consigliere Militare del Presidente del Consiglio dei ministri e, in tale incarico, è responsabile delle segreterie infrastrutture critiche. Generale di Corpo d'Armata (alpino) dell'Esercito, ha frequentato il 166° Corso presso l'Accademia Militare di Modena e, nel corso della sua carriera, ha partecipato a diverse Operazioni, come la "Joint Guard" in Bosnia Erzegovina e NATO ISAF in Afghanistan. Ha comandato la Brigata "Taurinense" e, in tale veste, ha comandato il settore ovest della missione Unifil in Libano. È anche stato capo del Reparto Operazioni dello Stato Maggiore dell'Esercito e Capo Reparto Operazioni e Supporto Operativo del Comando operativo di vertice interforze. Nel 2020 ha assunto il Comando NATO della KOSOVO Force.

A lui abbiamo chiesto quali sono le principali minacce che l'Italia deve affrontare nella protezione delle infrastrutture critiche?

La protezione e la resilienza delle infrastrutture critiche non sono tematiche recenti: il dibattito ha avuto origine alla fine degli anni '90, con l'aumento dell'integrazione tra diversi settori e l'evoluzione delle tecnologie digitali, che da strumenti di supporto sono diventate elementi centrali nella gestione di queste infrastrutture, aumentando, al contempo, i rischi legati alla cybersicurezza, alle interdipendenze tra settori e agli effetti a cascata. Le principali minacce che l'Italia si trova ad affrontare si possono riassumere in tre macro-categorie:

1. Interdipendenze e vulnerabilità sistemiche. L'interconnessione crescente tra le infrastrutture ha introdotto fenomeni di dipendenza reciproca che possono amplificare l'impatto di un incidente. Un guasto

o un attacco in un settore – ad esempio, l'energia o le telecomunicazioni – può propagarsi rapidamente, compromettendo l'operatività di altri servizi essenziali. Un esempio concreto si è verificato il 28 novembre 2023, quando un danno alla rete del gas in Svizzera ha interrotto cavi in fibra ottica, bloccando in Italia i pagamenti elettronici e causando un impatto economico stimato intorno al miliardo di euro.

2. Cambiamento climatico e eventi estremi. L'aumento della frequenza e dell'intensità di fenomeni meteorologici avversi – ondate di calore, alluvioni, tempeste – mette sotto pressione le reti energetiche, idriche e di trasporto, aumentando il rischio di blackout, interruzioni dei servizi e danni strutturali.
3. Minacce dolose e cyber-attacchi - Le infrastrutture critiche sono bersaglio di attacchi dolosi, inclusi atti terroristici, sabotaggi e cyber-attacchi. La crescente esposizione dell'Italia sulla scena internazionale nei prossimi mesi accresce ulteriormente il rischio. Il governo ha già adottato misure per la protezione del cyber-spazio con l'implementazione del Perimetro di sicurezza cibernetica nazionale e l'istituzione dell'Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale (ACN).

“Aumentano i rischi legati alla cybersicurezza,”

A queste si aggiungono le minacce ibride, come ad esempio campagne di disinformazione e azioni di sabotaggio che rimangono al di sotto della soglia di un attacco armato.



In che modo la tecnologia può essere utilizzata per migliorare la resilienza delle infrastrutture critiche italiane?

La tecnologia gioca un ruolo essenziale nel rafforzare la sicurezza e la resilienza delle infrastrutture critiche nazionali, permettendo un miglioramento significativo delle capacità di monitoraggio, rilevamento delle minacce (detection) ed early warning. L'adozione di sistemi Internet of Things avanzati, combinati con l'impiego di droni e impianti di videosorveglianza intelligenti, consente un controllo più capillare e tempestivo degli asset strategici. L'IoT infatti consente il monitoraggio in tempo reale delle condizioni delle infrastrutture, consentendo una rapida identificazione e risposta alle anomalie.

Inoltre, per gestire l'enorme quantità di dati generata da questi sistemi, è fondamentale l'impiego dell'Intelligenza Artificiale, che permette di filtrare le informazioni rilevanti, identificare anomalie e segnalare in tempo reale situazioni potenzialmente critiche, riducendo i tempi di risposta. Inoltre, l'IA può essere utilizzata per automatizzare l'analisi dei dati e migliorare il processo decisionale.

Una volta identificata una minaccia, la tecnologia deve supportare non solo la fase di contrasto, ma soprattutto quella di gestione dell'evento avverso, garantendo un coordinamento efficace tra i diversi attori coinvolti. Questo aspetto è cruciale per affrontare le problematiche legate alle interdipendenze tra settori e mitigare i possibili effetti a cascata.

In questo contesto, risultano particolarmente rilevanti le iniziative promosse da ENEA, che da oltre un decennio conduce studi sulle interdipendenze infrastrutturali. Un esempio significativo è CipCast, una piattaforma avanzata per la valutazione del rischio e la gestione ottimizzata degli scenari interdipendenti, che rappresenta uno strumento di grande interesse per il rafforzamento della resilienza delle infrastrutture critiche in Italia.

È possibile citare qualche esempio di come l'IA è stata implementata con successo nella protezione delle infrastrutture critiche?

Le infrastrutture critiche, come la rete elettrica e quella ferroviaria, si estendono per migliaia di chilometri sul territorio nazionale. Per garantirne il funzionamento e la sicurezza, gli operatori stanno progressivamente implementando reti di sensori in grado di raccogliere una

grande quantità di dati relativi allo stato delle infrastrutture.

Questi dati, che affluiscono in tempo reale nelle sale di controllo, vengono già oggi analizzati con tecniche di Intelligenza Artificiale, che consentono di aggregare, filtrare e prioritizzare le informazioni in base alla loro rilevanza operativa. L'IA, inoltre, può integrare questi dati con quelli provenienti da altre fonti – come sensori ambientali o sistemi di monitoraggio esterni – per individuare potenziali situazioni di pericolo, sia accidentali che dolose, fornendo agli operatori un supporto decisionale più efficace.

Per fare un altro esempio, la distribuzione di energia in Italia sta utilizzando l'IA per migliorare la resilienza della rete. In particolare, si sta sviluppando un sistema basato su dati satellitari per prevedere e mitigare i rischi di alluvione. Sempre nel settore della distribuzione di energia si sta utilizzando l'IA per stimare la probabilità di malfunzionamenti e anticipare le esigenze di manutenzione.

Un esempio concreto di applicazione avanzata dell'IA riguarda la protezione dei cavi sottomarini, un'infrastruttura sempre più strategica nel contesto geopolitico globale, ma al tempo stesso altamente vulnerabile a causa della sua estensione e della molteplicità di soggetti coinvolti. In questo ambito, la Marina Militare, attraverso il Programma Nazionale di Ricerca Militare (PNRM), sta sviluppando il progetto IMPROVE, che sfrutta tecniche di Intelligenza Artificiale per analizzare dati provenienti da AIS (Automatic Identification System), radar e satelliti, creando un quadro operativo unificato in grado di individuare imbarcazioni che seguono rotte anomale o potenzialmente minacciose.

Parallelamente, a livello europeo, l'Ufficio del Consigliere militare sta seguendo da vicino il progetto VIGIMARE, che rappresenta un ulteriore sviluppo delle tecnologie IA applicate al monitoraggio marittimo. Questo progetto, operativo sia nel Baltico che nel Mediterraneo, mira a potenziare la capacità di sorveglianza e prevenzione, sfruttando modelli avanzati di analisi comportamentale delle imbarcazioni per identificare e contrastare attività sospette prima che possano rappresentare una minaccia concreta.

La IA oltre che risorsa per aumentare la resilienza delle infrastrutture critiche, può introdurre nuove minacce alla capacità di questi sistemi di erogare con continuità i loro servizi essenziali?



L'Intelligenza Artificiale rappresenta uno strumento potente, destinato a migliorare significativamente non solo la resilienza delle infrastrutture critiche, ma anche molteplici aspetti della vita quotidiana. Tuttavia, come ogni tecnologia avanzata, introduce anche nuove vulnerabilità che devono essere identificate, monitorate e gestite per garantire la continuità operativa dei servizi essenziali.

“L'IA è uno strumento potente, ma introduce anche nuove vulnerabilità,,

Uno dei rischi più rilevanti, oggi al centro del dibattito pubblico, riguarda la dipendenza tecnologica dell'Europa da altri attori globali. Il timore di una perdita di sovranità tecnologica a favore di competitor internazionali è una questione strategica che l'Unione Europea sta cercando di affrontare. In questa direzione va il piano da 200 miliardi di euro annunciato dal presidente Von der Leyen al recente vertice sull'IA a Parigi, un'iniziativa volta a rafforzare la competitività e l'indipendenza europea in questo settore chiave.

Dal punto di vista tecnico, l'IA – come qualsiasi software complesso – è soggetta a bug e vulnerabilità che potrebbero essere sfruttati da attori ostili per indurre comportamenti anomali nei sistemi, con potenziali impatti sulla sicurezza e sulla continuità dei servizi. Il rischio di manipolazione dei modelli di IA attraverso attacchi mirati, come l'adversarial AI, è una minaccia concreta che richiede strategie di mitigazione efficaci.

Infine, l'implementazione diffusa dell'IA porterà a un'integrazione sempre più stretta tra sistemi e infrastrutture, con effetti sia positivi che problematici. Da un lato, ciò consentirà una gestione più efficiente e reattiva; dall'altro, potrebbe aumentare la complessità sistemica, rendendo le infrastrutture più vulnerabili a effetti a cascata, in cui un malfunzionamento o un attacco in un punto della rete potrebbe propagarsi rapidamente, compromettendo interi settori strategici.

Occorre inoltre essere consapevoli che oggi l'IA ha alcuni limiti che possono renderla uno strumento non sempre idoneo per sostenere la resilienza delle infrastrutture critiche: consuma troppa energia; non è pronta per studiare sistemi complessi e le dinamiche complessive di correlazione non sono sempre comprese bene; non

esiste un meccanismo per capire le correlazioni causa effetto generate dall'IA. Vi è infine il limite degli aggiornamenti il quale risiede nel fatto che, pur migliorando continuamente grazie ai nuovi dati e alle ottimizzazioni degli algoritmi, ogni aggiornamento può introdurre nuove vulnerabilità o comportamenti imprevisti.

Affrontare queste sfide richiede un approccio bilanciato, che sappia sfruttare le potenzialità dell'IA senza trascurarne i rischi, attraverso investimenti mirati, regolamentazioni efficaci e una solida strategia di cybersecurity.

Come vede il futuro della collaborazione tra settore pubblico e privato nella protezione delle infrastrutture critiche?

È fondamentale instaurare una collaborazione efficace tra il settore pubblico e quello privato. Le aziende che gestiscono infrastrutture critiche giocano un ruolo cruciale nella protezione e nella resilienza delle proprie infrastrutture. Il governo, dal canto suo, deve fornire il quadro normativo e il supporto necessario per facilitare questa collaborazione. Un quadro normativo chiaro e la creazione di partnership pubblico-privato sono strumenti importanti per definire ruoli, responsabilità e meccanismi di collaborazione. In quest'ottica, il decreto legislativo del 4 settembre 2024, n. 134, sottolinea l'importanza della collaborazione tra settore pubblico e privato nella protezione delle infrastrutture critiche. Nel decreto, la collaborazione pubblico privata è stata realizzata attraverso varie disposizioni che mirano a favorire il dialogo, la cooperazione e lo scambio di informazioni tra soggetti pubblici e privati.

“È fondamentale una collaborazione efficace tra il settore pubblico e quello privato,,

È stata istituita la Conferenza per la Resilienza dei Soggetti Critici composta da un rappresentante per ciascuna delle Autorità settoriali competenti, un rappresentante del Ministero dell'interno, uno del Ministero della difesa e uno del Dipartimento della Protezione civile, e per le questioni di cybersicurezza, un rappresentante



dell'Agenzia per la cybersicurezza nazionale. Alla conferenza potranno partecipare i soggetti critici appartenenti ai settori di volta in volta oggetto della discussione, nonché soggetti pubblici e privati invitati dal Punto di Contatto Unico in base all'oggetto della conferenza. La condivisione delle informazioni sulle minacce, le vulnerabilità e gli incidenti sono fondamentali per la resilienza delle infrastrutture critiche. Il settore pubblico può fornire dati di intelligence, mentre il settore privato può contribuire con la conoscenza dei propri sistemi e delle proprie esperienze.

Inoltre, programmi di formazione congiunti ed esercitazioni pratiche permettono di preparare gli operatori e testare la risposta agli incidenti, migliorando il coordinamento tra pubblico e privato. Anche l'esercizio di effettuare stress test sulle infrastrutture critiche può essere visto in quest'ottica. Infine, a ricerca e l'innovazione tecnologica rappresentano un terreno fertile per tale collaborazione: sviluppare nuove tecnologie condivise può consentire di migliorare la protezione delle infrastrutture critiche.

L'intelligenza artificiale è un ossimoro



Intervista con Luciano Floridi, Presidente della Fondazione Leonardo di Alice Avila, Unità Relazioni e Comunicazione - ENEA

Luciano Floridi è uno dei maggiori esperti di rivoluzione digitale: oltre 300 le sue pubblicazioni, tradotte in molte lingue, sulla filosofia dell'informazione, l'etica dell'intelligenza artificiale e la filosofia della tecnologia. Fondatore e direttore del Digital Ethics Center di Yale, ordinario di Sociologia della cultura e della comunicazione all'università di Bologna, è dal gennaio 2025 presidente della Fondazione Leonardo. Lo abbiamo intervistato sui risvolti professionali, normativi, etici e sociali dell'uso dell'intelligenza artificiale.

Professore, Lei ha dichiarato recentemente, nel corso della presentazione della Fondazione Leonardo alla Camera dei Deputati: "L'intelligenza artificiale non esiste. Esistono straordinarie, potentissime tecnologie che, nelle mani di un'intelligenza umana capace, potranno fare delle cose straordinarie. Altrimenti finisce male". A che cosa si riferisce quando parla di "cose straordinarie"? Nel campo energetico, per esempio?

Quando parlo di "cose straordinarie", mi riferisco al potenziale che queste tecnologie hanno nell'analizzare e risolvere problemi complessi e migliorare la nostra qualità di vita e l'ambiente. Nel campo energetico, ad esempio, possono fornirci analisi dettagliate, prevedere consumi, simulare scenari alternativi e di rischio, su tutta la catena della produzione e del consumo energetico. Questa è la parte analitica.

“L'IA può fornirci analisi dettagliate nel campo energetico,,

Poi, per la parte operativa, possono aiutarci a implementare processi di ottimizzazione delle reti di distribuzione, ridurre gli sprechi, migliorare il recupero e accelerare la transizione verso fonti rinnovabili. Ma tutto questo accade solo se c'è un'intelligenza umana che le guida con competenza e lungimiranza progettuale.

È necessario, quindi, uno sforzo collettivo di intelligenza per disegnare e gestire le trasformazioni tecnologiche, come lei ha scritto nel suo libro "Etica dell'intelligenza artificiale". Che ruolo ha in questo senso la formazione - scientifica e non solo - delle nuove generazioni e delle nuove generazioni di ricercatori?

La formazione è cruciale. Non lo dico da professore, o da presidente, ma da cittadino ed essere umano. Non solo la formazione scientifica, o nell'ambito delle STEM, che fornisce gli strumenti intellettuali e tecnici per comprendere e sviluppare le tecnologie, ma anche quella umanistica, che aiuta a riflettere sugli impatti etici e sociali e sulla "governance". Insieme, possono permettere comprensione e gestione del presente e disegno del futuro. Dobbiamo educare le nuove generazioni a essere non solo utenti consapevoli, ma anche progettisti responsabili, capaci di vedere oltre il puro tecnicismo sterile o la vuota chiacchiera culturale. La cultura

scientifico e quella umanistica sono due lati della stessa medaglia, sono l'intelletto umano al suo meglio.

Ma l'intelligenza artificiale è davvero intelligente? Non è già un ossimoro l'espressione "intelligenza artificiale"?

No, non lo è. Come ho ricordato nell'inaugurazione alla Camera dei Deputati, l'espressione "intelligenza artificiale" è effettivamente un ossimoro. Queste tecnologie non sono intelligenti, in nessun senso ragionevole del termine, che include anche l'uso che ne facciamo per dire che un cane o un gatto sono più o meno intelligenti: non comprendono, non hanno coscienza né intenzionalità. Si tratta di sistemi avanzati di calcolo, capaci di elaborare dati in modo estremamente potente, ma l'intelligenza, quella vera, resta una prerogativa umana. Sono straordinari sistemi sintattici, non semantici.

“L'intelligenza vera resta una prerogativa umana,,

Per capire la differenza, forse un'analogia è utile: è come se l'AI completasse puzzle enormi, da milioni di tessere, guardandole dal lato "sbagliato", quello bianco, calcolando solo il loro numero, le loro forme e contorni, e come si incastrano tra di loro. Questa è mera sintassi. Noi invece completiamo gli stessi puzzle guardando al loro colore e al disegno delle tessere e capendone la coerenza con l'immagine finale da completare, usando le stesse tessere ma dal lato "giusto". Questa è semantica. Se uno ci pensa è per questo che ogni tanto l'AI inserisce perfettamente la tessera sbagliata nel posto sbagliato. Le chiamiamo allucinazioni.

Possiamo sfatare il luogo comune "intelligenza artificiale=meno posti di lavoro"?

La storia ci insegna che le nuove tecnologie trasformano profondamente il mondo del lavoro ma spesso creano più posti di lavoro (domanda) di quanti ne distruggano, anche se in settori diversi. La disoccupazione tecnologica non è generata da mancanza di domanda (posti richiesti), ma dal mancato allineamento tra la nuova domanda e la vecchia offerta (potenziali lavoratori impiegabili). Bisogna migliorare l'offerta. Per questo

la formazione è così importante: riallinea l'offerta alla domanda, che è in crescita. La vera sfida è garantire una transizione giusta, con politiche di riqualificazione e formazione per adattarsi ai nuovi scenari.

Piaccia o meno, l'intelligenza artificiale sta sostituendo in molti campi l'apporto umano. Quali sono le sfide etiche da affrontare?

Le due principali sfide etiche riguardano l'umanità e l'ambiente. Da un lato dobbiamo assicurarci che l'IA sia usata per potenziare e sostenere l'umanità, non per renderla superflua, o come un mero mezzo verso un fine che non sia esso stesso umano. Questo implica trasparenza, equità, inclusività e responsabilità, evitando che le decisioni automatizzate incrementino forme di discriminazione o disuguaglianza o ne creino di nuove.

“La sfida è garantire una transizione giusta, con politiche di riqualificazione e formazione,,

Dall'altro, dobbiamo assicurarci che l'IA sia a servizio della natura, parte della soluzione non del problema, in modo almeno sostenibile all'inizio e poi di crescita, non solo di conservazione. Si può fare, ma servono volontà e lungimiranza gestionale e politica nel senso più ampio dei due termini.

E la regolamentazione quanto è importante? Dal 2 febbraio sono entrate in vigore le prime disposizioni del discusso "AI Act", la normativa approvata lo scorso anno dall'Unione europea che stabilisce regole dettagliate per lo sviluppo, l'immissione sul mercato e l'uso dell'intelligenza artificiale. Lei cosa ne pensa?

Come ho ricordato alla Camera, ogni civiltà si sviluppa sul binario della formazione dei cittadini, chiamiamola 'Paideia', e della regolamentazione della loro vita sociale, chiamiamola 'Nomos'. Oggi abbiamo un enorme bisogno di entrambi, più del solito, perché stiamo entrando in una civiltà nuova, digitale, dove la vecchia Paideia e il vecchio Nomos sono necessari ma del tutto insuffi-



cienti. L'Europa sta colmando bene questo divario, ma c'è ancora molto da fare per assicurarsi che alla nuova architettura di una società digitale corrisponda la giusta architettura di una Paideia corretta e di un Nomos adeguato. È un progetto dai tempi lunghi che, in termini democratici, oggi solo l'Unione Europea può implementare. In ogni altro angolo del mondo mancano o la democrazia o i tempi lunghi.

L'uso dell'intelligenza artificiale nei diversi settori della transizione ecologica può essere utile alla salvezza del pianeta (penso, per esempio, ai dati sugli ecosistemi)?

Assolutamente sì. Ed è forse anche l'unica strategia seria che abbiamo. Non meno tecnologia, ma più tecnologia a servizio dell'ambiente. L'IA può analizzare enormi quantità di dati sugli ecosistemi, monitorare i cambiamenti climatici e ottimizzare le soluzioni per la sostenibilità. Può sostenere la decarbonizzazione e migliorare la gestione delle risorse naturali, contribuendo così alla salvezza del pianeta.

“L'intelligenza artificiale può contribuire alla salvezza del pianeta,,

Ma, ancora una volta, tutto dipende da come viene utilizzata. Torniamo all'importanza della politica al suo meglio, che definirei come traduzione del possibile nel preferibile.

Può creare, però, anche fake news ambientali?

Sì, certamente e purtroppo. L'IA può essere usata per diffondere disinformazione, in tutti i campi, anche quello ambientale. Per esempio, simulazioni o dati falsi potrebbero essere disseminati per negare l'emergenza climatica o per alimentare narrazioni ingannevoli, che spostano responsabilità su fonti errate. La lotta contro le fake news richiede vigilanza, trasparenza, buone leggi e una solida educazione digitale. Paideia e Nomos, per tornare alla precedente ricetta.

“L'IA può essere usata per diffondere disinformazione,,

La comparsa sulla scena di DeepSeek metterà da parte ChatGPT?

Parlerei di complementarità futura e di sfida agli attuali modelli di business. Non credo si tratti di una semplice sostituzione. Ogni tecnologia ha il suo ambito e le sue potenzialità. DeepSeek, come più in generale l'Open Source, potrebbe rappresentare un'evoluzione o una diversificazione rispetto a ChatGPT e le soluzioni “proprietarie”, ma il vero valore sta nell'integrazione e nell'uso intelligente di queste piattaforme e nella buona competizione tra di esse. Qui l'Europa potrebbe giocare un ruolo fondamentale sia nello sviluppo sia nella regolamentazione dell'Open Source.

Per concludere, l'intelligenza artificiale contribuirà alla costruzione di una nuova società, forse migliore, o a una società nel quale l'uomo sarà ai margini?

Potrei cavarmela con un potenzialmente sì, ma non sarei onesto. Direi invece decisamente sì, ma dipende da noi. L'IA è una tecnologia “buona” come tutto il digitale. Non è uno strumento di tortura, per esempio. Non è come la bomba atomica. Come tale, va progettata e utilizzata con intelligenza e saggezza da parte nostra. Se non contribuirà a costruire una società migliore, più equa e sostenibile, se non ci aiuterà a salvare e far prosperare l'ambiente, se non sarà messa al servizio del pianeta e dell'umanità che lo abita, non solo sarà colpa nostra, ma vorrà dire che avremo fatto uno sforzo per distorcerne la natura inizialmente positiva. La scelta è, e resterà per sempre, solo e interamente nostra.

Per ogni tecnologia è imprescindibile una *governance* etica



Intervista con Corrado Giustozzi, informatico, consulente strategico, docente e divulgatore scientifico

Informatico, consulente strategico, docente e divulgatore sui temi della cybersecurity, Corrado Giustozzi, è docente nel corso di Laurea magistrale in Ingegneria dei sistemi intelligenti dell'Università Campus Bio-medico; nei Master universitari di 1° e 2° livello in Cybersecurity di LUISS, Campus Bio-medico, Link Campus; nel Master universitario di 2° livello in Homeland Security del Campus Bio-medico; nel Master in Protezione strategica del Sistema Paese della SIOI. È stato esperto supersenior di sicurezza cibernetica presso l'Agenzia per l'Italia Digitale per lo sviluppo del CERT della PA e componente dell'Advisory Group dell'Agenzia dell'Unione Europea per la Cybersecurity (ENISA). Giornalista pubblicitario, membro dell'Unione Giornalisti Italiani Scientifici (UGIS), svolge un'intensa attività di divulgazione sui temi della cybersecurity. L'Università di Roma Tor Vergata gli ha conferito la laurea magistrale *honoris causa* in Ingegneria di Internet e delle Tecnologie per l'Informazione e la Comunicazione.

A lui abbiamo chiesto quali sono le principali sfide tecniche e operative che le aziende devono affrontare quando cercano di integrare tecnologie come l'intelligenza artificiale e/o la blockchain, riuscendo a garantire una corretta postura di sicurezza informatica? Come possono superare queste difficoltà?

Premetto che, a mio avviso, Intelligenza Artificiale e blockchain sono tecnologie con pochi punti di contatto in comune, per non dire che sono ortogonali tra loro. Possiamo infatti considerare la IA come una tecnologia "orizzontale", nel senso di "general purpose" o "universale", in quanto può essere applicata a molteplici ambiti di

attività in settori eterogenei, ed è in grado di risolvere i problemi più disparati.

La blockchain è invece una tecnologia molto "verticale", che di fatto risolve un unico problema in un ambito molto specifico (ovvero: garantire l'integrità dei dati scritti da molteplici soggetti in un registro distribuito, laddove non vi sia un singolo soggetto affidabile cui affidarne la gestione centralizzata). È probabilmente possibile individuare casi d'uso in cui queste tecnologie possono convivere e magari anche cooperare, ma almeno per il momento mi sembrano più frutto di riflessioni accademiche che di reali esigenze pratiche. Tuttavia, a prescindere da tali considerazioni, è chiaro che oggi, nel momento in cui tecnologie realmente nuove e dirompenti stanno entrando nell'uso quotidiano senza che se ne siano ancora comprese a pieno le grandi potenzialità e gli inevitabili limiti, il mantenimento di una adeguata postura di sicurezza è un aspetto assolutamente cruciale per ogni azienda o impresa, pubblica o privata.

“È assolutamente cruciale mantenere un'adeguata postura di sicurezza,”

Le sfide però non sono tecniche ma soprattutto organizzative, e direi addirittura culturali: si tratta infatti principalmente di *governare* nel senso più ampio tali tecnologie, ossia adottare processi che consentano di impiegarle in modo consapevole, trasparente, etico e responsabile; nonché di vigilare affinché vengano evitati abusi e utilizzi impropri, i quali potrebbero creare

indebiti impatti su terzi oltre che ritorcersi contro l'utilizzatore. La sicurezza sul piano tecnico è compito relativamente più semplice, ma deve collocarsi all'interno di questo quadro altrimenti rischia di essere inefficace.

In quali settori ritiene che l'adozione di nuove tecnologie, come ad esempio l'intelligenza artificiale, possa avere il maggiore impatto sulla cybersecurity? Può condividere alcuni esempi pratici di applicazioni innovative che ha osservato o sviluppato?

Del rapporto tra intelligenza artificiale e cybersecurity si parla in realtà da parecchi anni, senz'altro da molto prima che il recente boom portasse gli LLM e le IA generative all'attenzione del grande pubblico. In particolare, è un tema da sempre molto considerato in ambito militare, per le sue evidenti implicazioni sia operative che strategiche; ma in tempi più recenti sta catturando sempre più gli interessi anche commerciali del settore civile. Generalmente esso viene declinato sui due approcci possibili, diametralmente opposti tra loro: quello in cui l'IA può supportare le attività dei difensori, e quello in cui può invece supportare le attività degli attaccanti. È chiaro, infatti, che la tecnologia in sé è neutra, e tutto dipende dall'uso che se ne fa.

“La tecnologia in sé è neutra: tutto dipende dall'uso che se ne fa,”

Per quanto riguarda il primo caso, basta ricordare come già da diversi anni esistono sul mercato prodotti di sicurezza che impiegano tecniche di *machine learning* (le quali, giova ricordarlo, non sono IA di per sé ma piuttosto ne costituiscono un componente) per migliorare le capacità di rilevazione ed analisi di eventi anomali che potrebbero sottendere attività malevole o attacchi; mentre per quanto riguarda il secondo, ci sono purtroppo evidenze del fatto che diversi attori criminali stiano già facendosi aiutare dalle IA per confezionare messaggi di phishing più accurati e credibili, per scrivere *malware* migliore in modo più rapido ed efficace, o addirittura per imitare le voci di reali personaggi famosi e autorevoli al fine di confezionare truffe ed inganni assai verosimili nei confronti di imprenditori o altri soggetti facoltosi.

La vera innovazione sta forse proprio in questa ampia varietà di applicazioni della IA a fini offensivi, cui purtroppo non sembra ancora corrispondere altrettanta creatività e fantasia da parte di chi la usa a fini difensivi. Ma è una legge di natura che i predatori siano sempre un passo più avanti rispetto alle prede, altrimenti si estinguerebbero...

Guardando al futuro, come vede l'evoluzione delle stesse tecnologie nei prossimi cinque anni? Quali trend o sviluppi prevede che possano trasformare il panorama tecnologico e sociale?

L'Intelligenza Artificiale, pur essendo nota ed impiegata da decenni, è diventata la “tecnologia del momento” (per non dire “di moda”) grazie alla felice concomitanza di due fattori: la messa a punto di nuovi paradigmi per l'elaborazione di modelli linguistici di grandi dimensioni, mediante i cosiddetti *transformer*; e la disponibilità delle enormi potenze di calcolo necessarie per elaborarli, per merito delle GPU di ultima generazione.

Progressi assai recenti hanno portato a migliorare ulteriormente la combinazione, definendo *transformer* assai più efficaci e sviluppando GPU ancora più potenti, col risultato che le prestazioni dei nuovi sistemi di IA stanno crescendo in modo più che lineare.

“L'IA è diventata la tecnologia del momento,”

Ciò porta diversi analisti a ritenere che nell'arco di pochi anni potremo avere una “reale” intelligenza a bordo di dispositivi relativamente semplici ed economici, con applicazioni potenzialmente dirompenti per la vita di tutti i giorni e conseguenti importanti impatti sulla sfera sociale.

Con l'aumento dell'uso dell'intelligenza artificiale, emergono preoccupazioni etiche significative. Qual è la sua opinione sull'importanza della governance etica nell'implementazione dell'AI?

Come dicevo prima, ritengo che una *governance* etica sia imprescindibile per ogni tecnologia. Nello specifico, il rischio che un sistema di IA fornisca involontariamente risultati affetti da *bias* o pregiudizi è assai elevato; ma



lo è altrettanto che fornisca risultati viziati da *allucinazioni*, ossia contenuti verosimili ma erronei, i quali sono artefatti tipici e purtroppo pressoché inevitabili nelle IA generative. Inoltre, al di là di tali eventualità ascrivibili ad ambiti di errore o casualità, vi potrebbero essere casi di usi *deliberatamente* distorti o impropri dell'IA, al fine di perseguire obiettivi spregiudicati se non esplicitamente illeciti o addirittura criminali. Per prevenire tutto ciò occorre dotarsi di un vero e proprio sistema di gestione che garantisca il rispetto dimostrabile degli irrinuncia-

bili principi etici nell'utilizzo delle tecnologie. Occorre dunque dotarsi innanzitutto di una politica appropriata, e quindi sviluppare un adeguato insieme di processi a supporto della sua attuazione, che si fondino su una attenta analisi del rischio sviluppata in ottica costi-benefici. Ultimo fattore, ma non in ordine di importanza, è fornire a tutto il personale, da quello direttivo a quello operativo, un'adeguata formazione e sensibilizzazione sui temi della sicurezza e della responsabilità nell'uso delle nuove tecnologie.

La tecnologia deve sostenere sviluppo sostenibile e obiettivi etici



Intervista con Enrico Vicenti, Segretario Generale della Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO

La Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO è stata istituita nel 1950 con l'obiettivo di favorire la promozione, il collegamento, l'informazione, la consultazione e l'esecuzione dei programmi UNESCO in Italia. In questi ultimi anni fra i temi all'attenzione dell'UNESCO è emersa anche l'intelligenza artificiale sulla quale nel settembre 2023 è stata pubblicata la prima Guida per l'Intelligenza Artificiale generativa nell'educazione e nella ricerca, con l'obiettivo di supportare gli Stati Membri a realizzare azioni immediate, pianificare politiche di lungo termine e assicurare che lo sviluppo di queste nuove tecnologie sia incentrato sull'essere umano. Su queste tematiche abbiamo intervistato Enrico Vicenti Segretario Generale della Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO.

L'intelligenza artificiale sta trasformando rapidamente settori come l'istruzione, la cultura e la scienza. Come sta lavorando l'UNESCO per promuovere un utilizzo etico e inclusivo dell'IA in questi ambiti?

L'UNESCO adotta un approccio incentrato sugli esseri umani per promuovere il dialogo internazionale sugli aspetti universali dell'Intelligenza Artificiale nelle aree relative all'istruzione, alle scienze, alla cultura, alla comunicazione e all'informazione, con particolare attenzione alla parità di genere, allo sviluppo sostenibile e ai cambiamenti sociali. Già nel 2018, un numero della rivista UNESCO Courier è stato dedicato al tema dell'IA (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265211>), con un focus sui vantaggi e le minacce legati al suo sviluppo. Da allora l'impegno dell'UNESCO in ambito IA si è andato consolidando con un numero sempre crescente di iniziative e pubblicazioni orientate ad evidenziare la

necessità di un approccio alla materia che tenga anche conto dei possibili rischi derivanti da un uso irresponsabile e non etico dell'IA. Se da un lato, l'IA può essere una grande opportunità per accelerare il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile, dall'altro, occorre anticipare nuovi squilibri che qualsiasi rivoluzione tecnologica porta con sé.

“Anticipare i nuovi squilibri che questa rivoluzione tecnologica porta con sé,”

Il 24 novembre 2021 la Conferenza Generale dell'UNESCO ha adottato la "Raccomandazione sull'etica dell'Intelligenza Artificiale", il primo strumento normativo che fissa i principi etici dell'IA nel rispetto dei diritti umani e delle libertà fondamentali (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>). Il percorso per arrivare all'adozione della raccomandazione è durato due anni e ha coinvolto tutti gli Stati Membri, che hanno partecipato inviando commenti e proposte di modifica a una prima bozza, basata sullo studio preliminare sull'etica dell'IA effettuato dalla Commissione Mondiale dell'UNESCO per l'Etica della Conoscenza Scientifica e delle Tecnologie (COMEST), di cui è membro il Prof. Amedeo Santosuosso dell'Università di Pavia. Per la stesura della bozza erano state avviate in precedenza consultazioni con un ampio numero di stakeholder per contribuire a un testo il più inclusivo possibile.

Molti temono che l'IA possa ampliare le disuguaglianze globali, specialmente nei paesi in via di sviluppo. Quali iniziative sta intraprendendo l'UNESCO per garantire che l'accesso alle tecnologie di intelligenza artificiale sia equo e sostenibile a livello globale?

In occasione della Mobile Learning Week (una iniziativa faro nell'ambito ITC) già nel 2019 l'UNESCO ha presentato un interessante rapporto sull'uso dell'IA per contribuire allo sviluppo sostenibile (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370308>). Dal 2023 è stata lanciata la Digital Learning Week, che mira ad esplorare le tematiche di maggiore rilevanza e attualità relativamente all'impatto dell'IA sui sistemi educativi tenendo presente la necessità di rafforzare la loro capacità di stimolare un modo di pensare incentrato sull'essere umano, promuovere le competenze digitali e assicurare che la tecnologia sostenga sviluppo sostenibile e obiettivi etici.

“L'IA può essere rapida e utile ma ci sono rischi,”

Per fornire delle risposte agli interrogativi più comuni in materia di IA, l'UNESCO ha anche pubblicato una prima serie di video, “Thinking Ethics of AI”, che hanno l'obiettivo di diffondere la consapevolezza che oggi sempre più le decisioni che prendiamo possono essere guidate dall'intelligenza artificiale non solo per quanto riguarda gli acquisti online o la scelta del ristorante dove andare a mangiare. Gli algoritmi, infatti, aiutano anche i medici a raggiungere diagnosi più accurate o i giudici ad elaborare una sentenza. L'IA, dunque, può essere rapida e utile; dall'altra parte però, il rischio è quello di nutrire l'IA di un insieme di dati che si presentano già come parziali e non neutrali. Il limite è rappresentato dall'incapacità dei sistemi di IA di comprendere qualità tipicamente umane come l'empatia e più in generale le sfumature di carattere socioculturale conducendo potenzialmente verso risultati che comportano disuguaglianza e ingiustizia. L'UNESCO ha poi realizzato una seconda serie di video che riguardano l'applicazione delle tecnologie digitali alla genetica e i risvolti etici in campo medico e nei diversi settori produttivi. Queste brevi filmati si propongono di richiamare l'attenzione su questioni come le implicazioni etiche, i costi e i benefici dell'editing genomico per i trattamenti medici o l'impatto sull'ambiente e sulla bio-

diversità che avrebbe l'editing genomico per modificare le caratteristiche delle piante e degli animali.

E sono state intraprese misure rispetto ai pregiudizi di genere causa di discriminazioni?

Nel maggio 2023 l'UNESCO ha lanciato una rete di Donne per l'Intelligenza Artificiale etica, “Women4Ethical AI”, una piattaforma collaborativa composta da 17 esperte (3 le italiane) provenienti dal mondo accademico, delle aziende e della società civile, per far leva su governi e settore privato affinché le donne siano equamente rappresentate, sia nella progettazione che nella realizzazione dell'IA. L'iniziativa è una risposta all'allarme lanciato da più parti circa la possibilità di replicare e amplificare, nelle diverse applicazioni future dell'IA, gli esistenti pregiudizi di genere causa di discriminazioni. I risultati di questo lavoro di ricerca saranno inclusi in una raccolta online per favorire la diffusione di buone pratiche. Il gruppo di studio e analisi guiderà e promuoverà anche i progressi nell'applicazione degli algoritmi di IA non discriminanti, incentivando così donne, ragazze e gruppi poco rappresentati a partecipare agli studi mondiali sull'IA. Tra gli strumenti individuati per il raggiungimento di questi obiettivi, sono previsti anche possibili sostegni economici e supporto alle donne impegnate nell'IA, sia come ricercatrici accademiche che imprenditrici.

Quali sono le principali linee guida dell'UNESCO per proteggere i diritti umani e la diversità culturale nell'era dell'intelligenza artificiale?

La Conferenza Internazionale di Pechino sull'Intelligenza Artificiale nel 2019 ha raccomandato all'UNESCO di sviluppare linee guida e risorse per sostenere l'integrazione delle competenze nell'IA nell'ambito educativo e di rafforzare la collaborazione internazionale in questo campo. Per questo nel 2021 l'UNESCO ha pubblicato un interessante documento dal titolo “Intelligenza Artificiale e istruzione: indicazioni per i decisori politici” (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>), che intende offrire una guida su come usare in modo vantaggioso le opportunità offerte dall'IA per innovare l'insegnamento e accelerare il progresso verso l'Obiettivo 4 dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile, un'educazione di qualità, equa e inclusiva. Allo stesso tempo il documento fornisce indicazioni,

ispirate ai principi di inclusione ed equità, per affrontare i rischi presentati dalla crescente connessione tra IA e istruzione, attraverso un'analisi delle tendenze che stanno emergendo e delle implicazioni dell'IA per l'insegnamento e l'apprendimento.

“Le implicazioni dell'IA per l'insegnamento e l'apprendimento sono una priorità,,

Come già detto, sempre nel 2021 l'UNESCO ha adottato la “Raccomandazione sull'etica dell'Intelligenza Artificiale”, che rappresenta il primo strumento normativo che fissa i principi etici dell'IA nel rispetto dei diritti umani e delle libertà fondamentali. A seguito della richiesta di sospendere la formazione sull'utilizzo dei sistemi più potenti di intelligenza artificiale, incluso ChatGPT, proveniente da oltre mille professionisti del settore, il 30 marzo 2023 l'UNESCO ha fatto appello a tutti i paesi per attuare subito la sua “Raccomandazione sull'etica dell'intelligenza artificiale”. Al momento oltre 40 paesi in tutto il mondo stanno già lavorando con l'UNESCO per sviluppare sistemi di pesi e contrappesi a livello nazionale sulla base della Raccomandazione. (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385082>)

Nel maggio 2023 le Commissioni Nazionali tedesca, olandese e slovena, con il supporto dell'International Research Centre of Artificial Intelligence under the auspices of UNESCO hanno pubblicato il documento “The UNESCO Recommendation on The Ethics of AI: Shaping the Future of Our Societies”. Si tratta di un documento molto utile che fornisce brevi risposte alle domande che comunemente insorgono sull'intelligenza artificiale e che offre una sintetica descrizione dei contenuti della Raccomandazione, identificando cinque aree chiave di intervento delle politiche nazionali. La Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO ha curato la traduzione in italiano del documento (<https://www.unesco.it/wp-content/uploads/pdf/UploadCKEditor/Brochure%20su%20Raccomandazione%20UNESCO%20sullIntelligenza%20Artificiale.pdf>).

“La prima guida per l'IA nell'educazione e nella ricerca,,

Sempre nel 2023 l'UNESCO ha pubblicato la prima Guida per l'Intelligenza Artificiale generativa nell'educazione e nella ricerca (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>), con l'obiettivo di aiutare gli Stati Membri a realizzare azioni immediate, pianificare politiche di lungo termine e assicurare uno sviluppo di queste nuove tecnologie incentrato sull'essere umano.

La Guida propone alcuni passi per arrivare ad una regolamentazione degli strumenti di IA generativa, tra i quali in primo luogo esigere la protezione dei dati personali e stabilire un limite minimo di età per interagire con le piattaforme di IA generativa. Al fine di indicare un uso appropriato di questi strumenti nei settori dell'educazione e della ricerca, la Guida propone un approccio adeguato alla validazione etica e ai processi di progettazione pedagogica.

Guardando al futuro, quali passi concreti ritiene essenziali affinché l'intelligenza artificiale contribuisca al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile?

L'UNESCO presta particolare attenzione all'attuazione dell'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile 4 “Istruzione di qualità” che prevede di “Garantire un'educazione di qualità, equa e inclusiva, e opportunità di apprendimento permanente per tutti”. A questo proposito l'UNESCO Courier ha pubblicato nel 2023 un numero intitolato “l'educazione ai tempi dell'Intelligenza Artificiale” (<https://www.unesco.it/wp-content/uploads/pdf/UploadCKEditor/courier.pdf>) che propone una riflessione sulle opportunità proposte dalle nuove tecnologie ma anche sui pericoli che ne conseguono, tra i quali, ai primi posti, l'aumento del divario informatico e la disinformazione. L'IA generativa, capace di imitare la facoltà umana di creare testi, immagini, video, musica e codici informativi, ci forza a ridefinire la specificità dell'intelligenza umana, che ha delle ripercussioni su quello che impariamo, su come impariamo e anche sul perché impariamo. Per questo, come ci ricorda la Vice Direttrice Generale dell'UNESCO per l'Educazione, Stefania Giannini, è necessario “preparare i giovani a una società dove esseri umani e macchine coesistono, senza però minare l'intelletto umano” (<https://www.unesco.it/wp-content/uplo->

ads/pdf/UploadCKEditor/CORRIERE%20UNESCO%20ott%20dic%202023_versione%20ridotta%201.pdf

“Preparare i giovani a una società dove esseri umani e macchine coesistono,,

Nel febbraio 2024 si è svolto in Slovenia il secondo Forum Mondiale sull'Etica dell'Intelligenza Artificiale, promosso dall'UNESCO e dedicato alla governance dell'IA. Il Forum ha riunito le esperienze e le competenze di circa cinquanta paesi a diversi livelli di sviluppo tecnologico e politico e aperto la strada al dialogo con il settore privato, il mondo accademico e la società civile, consentendo scambi di buone pratiche e opinioni. Gli esperti del settore hanno potuto esplorare le opportunità e le sfide poste dall'IA, come il potenziale della tecnologia per far avanzare l'agenda dell'equità e della non discriminazione, le buone pratiche per una supervisione dell'IA, e il partenariato con il settore privato per valutare l'impatto etico e sull'uguaglianza di genere.

La sessione ministeriale del forum ha visto la partecipazione, per l'Italia, del Sottosegretario alla Presidenza del Consiglio per l'Innovazione Alessio Butti.

Quali sono i risultati più importanti emersi dal Forum?

Il Forum Mondiale rappresenta evidentemente uno strumento di grande importanza per coinvolgere la comunità internazionale e sensibilizzarla verso le questioni etiche, con l'obiettivo di guidare l'IA verso il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile. Nel giugno di quest'anno il Terzo Forum Mondiale dell'UNESCO sull'Etica dell'Intelligenza Artificiale (<https://www.unesco.org/en/forum-ethics-ai?hub=32618>) si svolgerà a Bangkok. Il Forum, intitolato "Governance etica dell'Intelligenza Artificiale in movimento" sarà finalizzato principalmente ad evidenziare i successi raggiunti nell'etica dell'IA dopo la pubblicazione della Raccomandazione sull'Etica dell'IA da parte dell'UNESCO e sottolineare la necessità di progredire ancora attraverso iniziative attuabili.

Il lavoro dell'UNESCO per l'attuazione dell'etica dell'IA si è riflesso anche nella Dichiarazione sull'Economia Digitale, (<https://www.unesco.it/it/news/ecco-la-dichiarazione-dei-ministri-del-g20-responsabili-delleconomia-digitale-adottata-il-13-settembre-2024-a-maceio-brasile/>) adottata in occasione del G20 che si è tenuto in Brasile nel 2024. La Dichiarazione promuove l'integrità dell'informazione e la governance etica dell'IA, assicurando un ecosistema digitale allineato con i diritti umani, la libertà e l'accesso all'informazione. L'UNESCO attribuisce particolare enfasi al capitolo relativo all'IA per lo sviluppo sostenibile e la riduzione delle disuguaglianze.

Il Digital Twin in ambienti estremi

Per facilitare la formazione del personale tecnico invernante e per ottimizzare il dialogo tra tecnici anche in condizioni emergenziali, l'Unità Tecnica Antartide ha pianificato una digitalizzazione delle basi antartiche creando dei "gemelli digitali" ad alta risoluzione anche per la gestione di eventi emergenziali.

DOI 10.12910/EAI2025-010

di Gianluca Bianchi Fasani, Unità Tecnica Antartide; Samuele Pierattini, Dipartimento tecnologie energetiche e fonti rinnovabili, Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT; Riccardo Scipinotti, Unità Tecnica Antartide Servizio Rapporti Istituzionali, Ambiente, Promozione e Formazione - ENEA

All'ENEA è affidata la pianificazione e l'organizzazione logistica delle attività presso le stazioni antartiche così come proposte dal Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA - d. interm. 20 Luglio 2022, n° 170). L'Unità Tecnica Antartide dell'ENEA opera quindi nell'area del Mare di Ross dove, sin dal 1985, è operativa la Stazione stagionale Mario Zucchelli (MZS - 90 persone a regime) mentre, sin dal 2005, è chiamata a gestire le attività della Stazione permanente di Concordia (DC - 65 persone a regime). Quest'ultima, oltre ad essere la sola stazione europea ubicata nella porzione interna del continente antartico, ha il primato di essere l'unica stazione co-gestita da 2 diverse nazioni, ciò a seguito di un accordo congiunto siglato nel 1993 tra l'ENEA e l'Istituto polare francese Paul-Émile Victor. Concordia vista la sua posizione e altimetria (circa 3.230 m s.l.m.) è un luogo estremo dove si raggiungono, nel corso della lunga notte invernale, temperature minime che sfiorano i -80°C.

Al termine dell'estate australe, ad inizio febbraio, la popolazione presente a Concordia si riduce a sole 14 unità (personale invernante o Winter-Over team) che per i successivi 9 mesi rimane completamente isolata. Il WO

team oltre che dedicarsi alla raccolta dati ed alla manutenzione dei numerosi osservatori scientifici ha il fondamentale compito di preservare dalle insidie dell'inverno l'intera struttura ed i suoi preziosi e vitali impianti tecnologici.

Per facilitare la formazione del personale tecnico invernante oltre che per ottimizzare il dialogo tra tecnici anche in condizioni emergenziali, l'Unità Tecnica Antartide ha pianificato una digitalizzazione delle basi antartiche creando dei "gemelli digitali" ad alta risoluzione.

Il gemello digitale

Il gemello digitale, o Digital Twin, è una copia virtuale di un'entità fisica, o di un sistema complesso connesso ad una parte fisica, con la quale può scambiare dati ed informazioni. Il concetto di usare un gemello digitale come mezzo per studiare un oggetto o impianto fisico reale, risale già agli anni 60 e si è evoluto fino ai giorni d'oggi. Un primo esempio risale alla missione "Apollo 13" del 1970 in cui fu usato un modello realizzato sulla Terra per trovare una soluzione alla riparazione di un componente danneggiato nella navicella spaziale in orbita. Esempi più moderni sono i simulatori di volo usati per l'addestramento dei piloti, i sistemi CAD (Computer Aided

Design) per la modellizzazione digitale e, molto più recentemente, la realtà virtuale (VR) e la realtà aumentata usate, ad esempio, per esperienze immersive nella riabilitazione motoria e cognitiva. Venendo al presente, i gemelli digitali 3D sono integrati in applicazioni in tempo reale per una migliore collaborazione, visualizzazione ed aiuto nei processi decisionali, soprattutto se combinati con dati acquisiti da fonti, dispositivi e piattaforme diversi che sono tipici dei sistemi detti "Internet of Things" (IoT). Un ulteriore campo dove il gemello digitale di un'entità fisica riveste una particolare importanza è quello dei Beni Culturali. Infatti, queste repliche digitali di opere e monumenti sono utilizzate per lo studio, il restauro "virtuale" e valorizzazione al posto delle copie reali salvaguardandone in tal modo l'integrità.

Infine, è importante sottolineare come l'utilizzo dei gemelli digitali consenta di migliorare la formazione del personale coinvolto sulla sicurezza e manutenzione di impianti complessi migliorando, in questo modo, la qualità ed i tempi di intervento con una riduzione dei costi ad essa connessi. La possibilità di visualizzare e simulare operazioni complesse in 3D, infatti, migliora l'interazione delle persone coinvolte nella gestione dell'intero

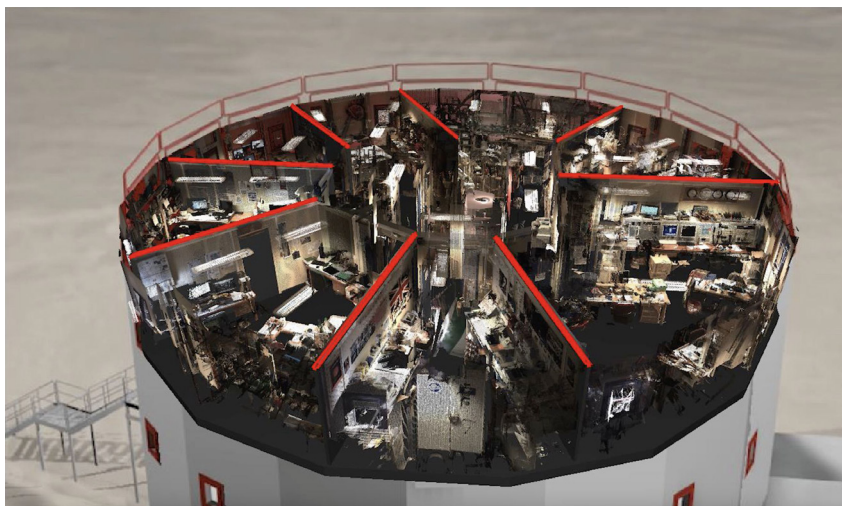


Figura 1 - Nuvola di punti dell'interno della Stazione Concordia (edificio calmo 3° piano - laboratori)

processo di realizzazione fin dalle prime fasi di progettazione all'utilizzo e manutenzione. Edifici, fabbriche, impianti, città e oggetti fisici del mondo reale in generale hanno gemelli digitali (Digital Twin) accurati che sono creati da modelli CAD, BIM o GIS tramite scansioni digitali, che sono elaborati e combinati per trasformarli in informazioni utili per l'utente finale.

La base antartica italo-francese di Concordia e il suo Digital Twin

Con l'intento di fornire un supporto al personale invernante, nella Spedizione antartica del 2014/15 l'Unità Tecnica Antartide dell'ENEA ha eseguito scansioni con laser scanner 3D e rilievi LiDAR con drone e/o fotogrammetria finalizzati ad ottenere le nuvole di punti degli spazi interni ed esterni sia della stazione di ricerca italiana Mario Zucchelli che quella italo-francese di Concordia. DC si compone di due torri cilindriche, denominate torre calma e torre rumorosa, di diametro di circa 20 m metri e di tre piani ciascuna (circa 250 mq per ciascuna torre). All'interno trovano spazio laboratori di ricerca, alloggi e numerosi spazi comuni. All'esterno delle Stazione sono presenti ulteriori laboratori oltre che

alloggi temporanei usati solamente durante le campagne estive (summer camp e tende dormitorio).

Data la grande estensione dell'area, l'acquisizione ha comportato l'elaborazione di un'enorme mole di dati digitali che, integrati con informazioni fotografiche e testuali sotto forma di "hyperlink", ha permesso la realizzazione di un modello della Stazione (Figure 1 e 2) che è diventato uno strumento di lavoro in grado di fornire importanti ausili al personale tecnico-scientifico che ci lavora. Infatti, esso consente al personale invernante in formazione in Italia o Francia, di avere un primo contatto, seppur indiretto, con gli impianti della stazione. Quindi, una volta in loco il WO Team ha una più immediata presa di confidenza con le aree e gli impianti di pertinenza.

Inoltre, il gemello digitale di Concordia consente in condizioni emergenziali di migliorare il dialogo tra i tecnici presenti in Antartide e gli specialisti (impiantisti, elettricisti, ICT, etc) presenti in Italia e/o in Francia in quanto entrambi possono avere la medesima visione, virtuale per chi è da remoto e reale per chi è sul campo, dell'impianto oggetto di analisi.

Accuratezza della digitalizzazione

Per la realizzazione del progetto è stata eseguita una prima fase di analisi delle planimetrie esistenti ciò al fine di pianificare al meglio la successiva attività di digitalizzazione sul campo, fase questa molto delicata poiché dall'accuratezza del dato acquisito sarebbe poi derivata la riuscita del progetto. In particolare, per la scelta della strumentazione e dei parametri ottimali per l'acquisizione, è stata fondamentale la collaborazione con la Leica Geosystems Italia che ha offerto, data l'importanza e l'innovazione del progetto, competenza e risorse strumentali, software e hardware. Lo strumento utilizzato, infatti, è stato un laser scanner Leica Geosystems P16 con caratteristiche tecniche ritenute idonee ad operare anche in condizioni estreme, specie quando l'acquisizione era eseguita all'esterno della stazione.

L'intero rilievo delle 2 torri e delle principali pertinenze ha richiesto un impegno di circa 20 giorni. Lo strumento è stato impostato per ottenere, ad una distanza di acquisizione di 10m, una risoluzione di 3,5mm. Sono state nel complesso eseguite 191 stazioni di misura per un totale di 6.900 milioni di punti ognuno dei quali distinto, oltre che per le sue coordinate spaziali, da una propria codifica in termini di valore RGB e riflettanza. Ciò ha consentito di ottenere sia un'immagine fotografica che una discriminazione del tipo di materiale.

L'ultima fase del lavoro ha visto l'esportazione dei dati acquisiti in un sistema di visualizzazione capace di consentire all'utente finale un accesso condiviso del gemello digitale di DC. A tal fine, per l'elaborazione delle nuvole di punti, si è utilizzato oltre al software Leica Cyclone per la gestione delle nuvole il software Leica "TruView Enterprise", che è un server capace di ospitare i dati e le

informazioni registrate, ed il software "TruView LIVE" che è un visualizzatore gratuito che consente la condivisione dell'intero progetto digitale e l'interazione 3D con possibilità di eseguire misure spaziali. Oltre ad accedere alle visualizzazioni, gli utenti possono collaborare attraverso la realizzazione di Geotag (metadati) e istantanee sincronizzando automaticamente commenti e modelli.

In ultimo, i modelli digitali di DC sono stati utilizzati per fornire esperienze immersive di realtà virtuale (VR). Negli a.a. 2019/20 e 20/21 gli studenti dell'Accademia di Belle Arti di Santa Giulia di Brescia hanno avuto, in piena fase COVID, l'opportunità di accedere in maniera virtuale alle aree comuni della Stazione. Tale esperienza immersiva ha consentito ai partecipanti

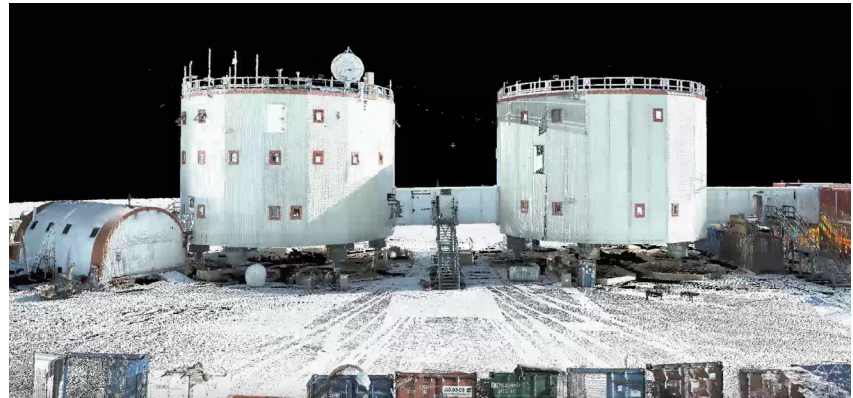


Figura 2 - Nuvola di punti dell'area esterna della Stazione Concordia (a sinistra edificio calmo a destra edificio rumoroso)

al corso di Design System II di cimentarsi nella riprogettazione degli interni della Stazione avendo come target il benessere del personale (spazi, ar-

redi, materiali e colori). Alcune delle idee proposte dagli studenti saranno nel prossimo futuro implementate all'interno della Base.

per info: gianluca.bianchifasani@enea.it

L'intelligenza artificiale al servizio delle reti e microreti elettriche

L'Unione Europea ha delineato una roadmap ambiziosa per il 2030 nell'ambito del Green Deal, mirando alla neutralità climatica entro il 2050. In questo contesto, l'Intelligenza Artificiale (IA) emerge come tecnologia chiave per la trasformazione digitale delle reti elettriche e la gestione delle risorse energetiche distribuite. L'articolo esplora le principali applicazioni dell'IA nel settore energetico, concentrandosi sulla previsione dei consumi, della generazione da FER e sulla manutenzione predittiva. L'articolo si conclude esaminando il ruolo emergente dell'IA generativa, che può ridefinire l'interazione tra utenti e sistemi energetici attraverso assistenti virtuali e chatbot, promuovendo una maggiore consapevolezza ambientale e pratiche di consumo più sostenibili.

The European Union has outlined an ambitious roadmap for 2030 as part of the European Green Deal, aiming for climate neutrality by 2050. In this context, Artificial Intelligence (AI) emerges as a key technology for the digital transformation of electricity grids and the management of distributed energy resources. The article explores the main applications of AI in the energy sector, focusing on consumption forecasting, generation from renewable sources and predictive maintenance. The article concludes by examining the emerging role of generative AI, which can redefine the interaction between users and energy systems through virtual assistants and chatbots, promoting greater environmental awareness and more sustainable consumption practices.

DOI 10.12910/EAI2025-011

di Amedeo Buonanno e Maria Valenti, Laboratorio Smart Grid e Reti Energetiche - ENEA

L'Unione Europea ha delineato una roadmap ambiziosa per il 2030, definendo obiettivi climatici ed energetici che rappresentano una svolta decisiva verso un futuro sostenibile e decarbonizzato. Questi traguardi, parte integrante del Green Deal europeo, puntano a trasformare l'Europa nel primo continente a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050^[1]. Si tratta di un obiettivo tanto ambizioso quanto necessario, che richiede una profonda trasformazione del sistema energetico e l'adozione di tecnologie innovative capaci di affrontare la crescente complessità delle reti energetiche moderne. In questo contesto, **l'evoluzione delle**

reti elettriche gioca un ruolo fondamentale. Il passaggio da sistemi tradizionali a sistemi basati su soluzioni di monitoraggio e controllo avanzate è essenziale per gestire un settore in rapida trasformazione. Questo processo di innovazione sta cambiando radicalmente il modo in cui pensiamo all'energia: non più un bene statico, ma una risorsa dinamica che può essere prodotta, distribuita e consumata in maniera sempre più efficiente, con un impatto positivo sull'ambiente e sulla sicurezza del sistema. La creazione di un'infrastruttura energetica avanzata e adattiva pone le basi per un futuro in cui il sistema energetico non solo risponde meglio alle esigenze della società, ma è

anche in grado di affrontare le sfide legate ai cambiamenti climatici, contribuendo a costruire una società più resiliente, equa e sostenibile.

Un ruolo di primo piano in questa trasformazione è svolto dall'Intelligenza Artificiale (IA), una tecnologia capace di offrire soluzioni avanzate per la gestione e l'ottimizzazione delle risorse energetiche distribuite (DER). Grazie alla sua capacità di elaborare grandi quantità di dati, l'IA consente di migliorare l'efficienza operativa delle reti, ridurre i costi di gestione e aumentare l'affidabilità del sistema. Recenti sviluppi nell'IA generativa stanno, inoltre, suggerendo nuovi tipi di interazione tra gli esseri umani e i sistemi energetici, promuovendo un

coinvolgimento attivo degli utenti verso un futuro più sostenibile e consapevole.

Tecniche di Machine Learning e Deep Learning per la previsione dei consumi energetici

Uno dei settori in cui l'IA, e in particolare modo le tecniche basate sul Machine Learning (ML) e Deep Learning (DL), ha dimostrato il suo straordinario potenziale è nella previsione dei consumi energetici [2]. Le previsioni accurate della domanda energetica sono cruciali per il funzionamento efficiente delle reti energetiche moderne in quanto permettono di bilanciare la domanda e l'offerta, riducendo gli sprechi, abbassando i costi operativi e migliorando la stabilità complessiva del sistema.

Attraverso l'analisi dei dati storici sul consumo passato e dei fattori esterni, come le condizioni meteorologiche, è possibile effettuare previsioni affidabili a breve, medio e lungo termine, consentendo una pianificazione più accurata e una gestione più efficiente delle risorse energetiche.

Nel contesto residenziale, le previsioni a breve termine consentono, ad esempio, di ottimizzare il funzionamento degli elettrodomestici e dei sistemi di climatizzazione, adattandoli automaticamente alle abitudini degli occupanti e alle condizioni ambientali. In questo modo è possibile, non solo ottenere un risparmio energetico ed economico per le famiglie, ma anche ridurre l'impatto ambientale complessivo del settore residenziale. In ambito industriale e commerciale, i sistemi basati sull'IA possono prevedere i picchi di domanda consentendo, così, strategie di ottimizzazione in tempo reale. Ciò consente alle aziende di evitare sovraccarichi della rete e negoziare tariffe energetiche più vantaggiose.

Tuttavia, **uno delle principali osta-**

coli all'adozione dei sistemi basati sull'IA per la previsione dei consumi risiede nella necessità di disporre di uno storico adeguato di dati di qualità e nella complessità di sviluppare e mantenere sistemi di previsione specifici per ogni utenza. Per superare queste sfide si stanno sempre di più diffondendo soluzioni che si basano sull'impiego di modelli globali [3] e fondazionali [4]. In particolare, i modelli fondazionali, pre-addestrati su vasti dataset di serie temporali di diversa natura, hanno la capacità di generalizzare le conoscenze apprese a nuovi contesti e situazioni. Essi possono essere adoperati facilmente anche in scenari con dati limitati e possono ridurre significativamente i costi di implementazione e manutenzione rispetto alle soluzioni tradizionali.

Garantire un'integrazione stabile delle fonti rinnovabili nelle reti energetiche

Un altro ambito strategico per l'IA è la previsione della generazione da fonti rinnovabili, storicamente complicata a causa della loro natura intermittente. La variabilità intrinseca delle risorse naturali, come la disponibilità di luce solare o di vento, rappresenta una sfida importante per garantire un'integrazione stabile delle fonti rinnovabili nelle reti energetiche.

Per affrontare questa complessità, si stanno dimostrando particolarmente efficaci gli approcci ibridi, che combinano metodi previsionali di tipo fisico e tecniche data-driven basate sull'IA. Questi approcci sfruttano i punti di forza delle diverse metodologie, consentendo di ottenere risultati più accurati e affidabili.

Ad esempio, un sistema basato sul ML può essere utilizzato per migliorare la precisione delle previsioni di produzione fotovoltaica affinando le stime ottenute da modelli previsionali

fisici, integrandole con i dati storici di produzione [5]. Allo stesso modo, le tecniche di DL possono analizzare e fondere informazioni eterogenee, come immagini del cielo, immagini satellitari, dati meteorologici e storici di produzione, per ottimizzare le previsioni anche nel brevissimo termine, un aspetto critico per gestire la variabilità delle risorse rinnovabili su scala oraria o infra-oraria.

Predizione dei guasti e identificazione precoce delle anomalie

L'aumento significativo degli eventi climatici estremi, come tempeste, ondate di calore e gelate improvvise, insieme all'invecchiamento progressivo delle infrastrutture energetiche, pongono nuove sfide per la gestione delle reti elettriche. In questo scenario, **l'IA si conferma come una tecnologia fondamentale per affrontare tali problematiche, grazie alla sua capacità di analizzare enormi quantità di dati (anche di diversa natura) in modo efficace.**

Uno degli ambiti più promettenti è la predizione dei guasti e l'identificazione precoce delle anomalie attraverso sistemi di manutenzione predittiva basati sull'IA. Questi sistemi monitorano lo stato delle infrastrutture, elaborando i dati raccolti da migliaia di sensori distribuiti lungo la rete elettrica. Questi sistemi possono identificare pattern anomali indicativi di potenziali criticità, permettendo di intervenire prima che si verifichino interruzioni del servizio. Questo permette di passare da una manutenzione continua e programmata ad una manutenzione predittiva con una conseguente riduzione dei costi di gestione e un aumento dell'affidabilità della rete [6].

Il ruolo dell'IA generativa nella gestione energetica

Infine, l'IA generativa ha compiuto progressi straordinari negli ultimi anni, dando vita a strumenti che stanno ridefinendo il nostro rapporto con la tecnologia. Applicazioni all'avanguardia come **ChatGPT, NotebookLM, Midjourney, Sora**, ecc. stanno trasformando radicalmente non solo il modo in cui accediamo alle informazioni e creiamo contenuti, ma anche come interagiamo con l'ambiente circostante e prendiamo decisioni. Nel settore energetico, l'uso delle tecniche di IA generativa sta aprendo scenari particolarmente promettenti per ottimizzare la gestione delle risorse e promuovere la sostenibilità ambientale [7].

Gli assistenti virtuali e le chatbot, basati su queste tecnologie, possono fungere da veri e propri consulenti

energetici personali. Questi strumenti intelligenti possono, ad esempio, analizzare in tempo reale i pattern di consumo di un'abitazione, suggerire il momento migliore per utilizzare gli elettrodomestici ad alto consumo energetico o spiegare in modo semplice le logiche dietro le decisioni automatizzate dei sistemi di gestione energetica. Tale approccio innovativo non si limita a migliorare l'efficienza energetica, ma promuove attivamente un cambiamento culturale verso la sostenibilità. **Attraverso feedback continui e suggerimenti mirati, questi sistemi possono aiutare gli utenti a sviluppare una maggiore consapevolezza ambientale, trasformando gradualmente le loro abitudini quotidiane in pratiche più sostenibili e responsabili.**

L'uso delle tecniche basate sull'IA nella gestione energetica rappresen-

ta, dunque, un'opportunità cruciale per migliorare l'efficienza, integrare le fonti rinnovabili e incrementare il coinvolgimento degli utenti. Tuttavia, emergono diverse questioni etiche, tra cui l'equità nell'accesso, la privacy, l'autonomia decisionale e la sicurezza. Il costo iniziale delle tecnologie smart rischia di escludere le fasce economicamente più deboli, mentre la raccolta di dati sui consumi domestici richiede garanzie per la protezione della privacy.

Inoltre, affidarsi agli algoritmi può ridurre il controllo umano sui processi decisionali, e i sistemi automatizzati possono essere vulnerabili a guasti o attacchi informatici. Affrontare queste sfide è essenziale per assicurare che i benefici dell'IA siano distribuiti in modo equo, rispettando i diritti fondamentali e garantendo una transizione energetica inclusiva.

per info: amedeo.buonanno@enea.it
maria.valenti@enea.it

Bibliografia

1. EU, "Overall targets and reporting", https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting_en
2. G. Graditi, A. Buonanno, M. Caliano, M. Di Somma, M. Valenti, "Machine Learning Applications for Renewable-Based Energy Systems". In: Manshahia, M.S., Kharchenko, V., Weber, GW., Vasant, P. (eds) *Advances in Artificial Intelligence for Renewable Energy Systems and Energy Autonomy*. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham., June 2023, doi: 10.1007/978-3-031-26496-2_9.
3. A. Buonanno, M. Caliano, A. Pontecorvo, G. Sforza, M. Valenti, G. Graditi, "Global vs. Local Models for Short-Term Electricity Demand Prediction in a Residential/Lodging Scenario". *Energies* 2022, 15, 2037. <https://doi.org/10.3390/en15062037>
4. Y. Liang, H. Wen, Y. Nie, Y. Jiang, M. Jin, D. Song, Q. Wen, "Foundation models for time series analysis: A tutorial and survey". In *Proceedings of the 30th ACM SIGKDD conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 6555-6565, 2024).
5. A. Buonanno, G. Caputo, I. Balog, S. Fabozzi, G. Adinolfi, F. Pascarella, G. Leanza, G. Graditi, M. Valenti, "Machine Learning and Weather Model Combination for PV Production Forecasting". *Energies* 2024, 17, 2203. <https://doi.org/10.3390/en17092203>
6. M. Atrigna, A. Buonanno, R. Carli, G. Cavone, P. Scarabaggio, M. Valenti, G. Graditi, M. Dotoli, "A Machine Learning Approach to Fault Prediction of Power Distribution Grids Under Heatwaves," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 59, no. 4, pp. 4835-4845, July-Aug. 2023, doi: 10.1109/TIA.2023.3262230.
7. Project EU-DREAM - European Union's Horizon Europe programme under agreement 101160614 - <https://eu-dream.eu/>

Da ENEA una nuova metodologia con l'IA per prevedere la produzione fotovoltaica

Ottenere previsioni della produzione di energia da fotovoltaico sempre più accurate grazie all'intelligenza artificiale (AI): è il risultato ottenuto da un gruppo di ricercatori ENEA che ha pubblicato uno studio sulla rivista scientifica *Energies*. "Abbiamo dimostrato l'efficacia del nostro approccio utilizzando i dati reali di produzione di un impianto fotovoltaico situato presso il Centro Ricerche ENEA di Portici (Napoli), dimostrando un netto miglioramento nella precisione delle previsioni di produzione fotovoltaica", spiega il coautore dello studio Amedeo Buonanno, ricercatore del Laboratorio ENEA Smart grid e reti energetiche presso il Dipartimento Tecnologie energetiche e fonti rinnovabili. "Si tratta di un aspetto cruciale per limitare squilibri nella rete elettrica, per ottimizzare il funzionamento delle risorse di generazione, carico e stoccaggio e per ridurre i costi operativi".

Per raggiungere questo risultato, i modelli meteorologici che stimano la produzione di energia fotovoltaica sono stati abbinati a un algoritmo di apprendimento automatico (machine learning) che integra i dati storici di generazione, incrementando così l'accuratezza della previsione. Questa nuova metodologia ENEA per la previsione della generazione fotovoltaica offre notevoli vantaggi sia in termini di versatilità che di applicabilità. La sua generalità ne consente l'utilizzo in una vasta gamma di scenari, anche con ridotta disponibilità di dati come nel caso di nuove installazioni.

"L'approccio che proponiamo si adatta efficacemente a impianti solari di diverse dimensioni, compresi quelli di piccola taglia installati nei condomini. Per questi ultimi, è possibile sviluppare un modello di previsione iniziale basato sulle caratteristiche tecniche dell'impianto (come potenza nominale e orientazione dei pannelli), che può essere successivamente perfezionato mediante tecniche di machine learning e l'utilizzo di dati storici di generazione. Una volta addestrati, i modelli che hanno mostrato i migliori risultati richiedono risorse computazionali relativamente limitate per generare previsioni accurate. Questa caratteristica ne facilita l'implementazione, ampliando considerevolmente le possibilità di applicazione pratica in diversi contesti operativi", sottolinea Buonanno. L'Italia ha fatto notevoli progressi nel settore delle energie rinnovabili, con una capacità installata di impianti fotovoltaici che ha superato i 30 GW nel 2023, segnando un incremento del 21% rispetto al 2022. Tuttavia, la variabilità della radiazione solare rappresenta ancora una delle principali sfide nella gestione della produzione di energia fotovoltaica. "Lo studio ENEA si inserisce all'interno del progetto MISSION che mira a sviluppare innovativi sistemi energetici integrati, ottimizzando l'interazione tra diverse fonti energetiche (rinnovabili e convenzionali) e vettori energetici (elettrico e termico). Attraverso una gestione intelligente e coordinata, basata sull'analisi della domanda e sulle previsioni di produzione, il progetto si propone di massimizzare l'efficienza complessiva e di migliorare la gestione operativa delle microreti energetiche, uno dei modelli più promettenti di trasformazione del sistema elettrico, accelerando così la transizione verso un futuro energetico più sostenibile", conclude Maria Valenti, responsabile del Laboratorio ENEA Smart Grid e Reti Energetiche e referente del progetto MISSION.

L'IA per facilitare il rapporto consumatori-fornitori

Facilitare i consumatori nei rapporti con i fornitori di energia grazie all'intelligenza artificiale (IA), accelerando l'innovazione digitale e la promozione di servizi digitali. È l'obiettivo del progetto europeo EU DREAM^[1], che vede impegnati, insieme ad ENEA, imprese del settore energetico e organismi di ricerca di nove paesi UE. Nello specifico il progetto prevede la creazione di un 'assistente' virtuale basato sull'IA e di un 'intermediario' in grado di semplificare il linguaggio tecnico utilizzato nel settore energetico.

"L'assistente utilizzerà l'IA per svolgere il ruolo di consulente energetico per gli utenti, ottimizzando le impostazioni energetiche in base alle preferenze individuali, mentre l'intermediario utilizzerà tecniche di elaborazione del linguaggio naturale (NLP) per tradurre i termini tecnici in un linguaggio più semplice e immediato e rendere la comunicazione più fluida e comprensibile", spiega Amedeo Buonanno, ricercatore del Laboratorio ENEA di Smart grid e reti energetiche del Dipartimento Tecnologie energetiche e fonti rinnovabili.

Le soluzioni proposte saranno validate e dimostrate in sei living lab da realizzare in altrettanti paesi europei (Portogallo, Belgio, Italia, Irlanda, Grecia e Danimarca), ognuno focalizzato su un diverso aspetto dell'innovazione in campo energetico.

"Per migliorare il coinvolgimento del cliente ENEA svilupperà use case per i living lab, tenendo conto di caratteristiche, specificità, linee guida, requisiti tecnici, nonché delle esigenze e dei fattori chiave necessari per la loro implementazione", prosegue Buonanno.

Il living lab italiano sarà realizzato nell'area urbana di Torino, a cura di IREN spa e IREN Mercato spa, in collaborazione con ENEA, Consorzio Interuniversitario Nazionale per Energia e Sistemi Elettrici (Politecnico di Torino, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Università degli Studi di Salerno) e Fondazione Links - Leading Innovation & Knowledge for Society.

^[1] Effective Uptake of Digital Services to Repower European Consumers and Communities as Active Participants in Energy Transition and Markets <https://eu-dream.eu/>

L'intelligenza artificiale per i servizi climatici

I modelli globali utilizzati per produrre scenari di cambiamento climatico in corrispondenza dei rispettivi scenari di emissione di gas serra operano su scale spaziali troppo grandi, e non consentono una descrizione accurata dei fenomeni intensi su scala locale, necessaria per la valutazione degli impatti. Con l'avvento dell'IA, si è aperta la possibilità di utilizzare modelli di downscaling innovativi, che combinano l'utilizzo di dati storici con tecniche generative in grado di imitare il funzionamento dei modelli regionali per creare scenari climatici ad altissima risoluzione.

DOI 10.12910/EAI2025-012

di Sandro Calmanti, Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Laboratorio Modelli e Servizi Climatici - ENEA, Elena Tomasi, Gabriele Franch, Fondazione Bruno Kessler (FBK)

L'analisi della resilienza delle infrastrutture critiche distribuite - come ferrovie, strade, e reti di trasmissione dell'energia - di fronte ai cambiamenti climatici rappresenta una sfida fondamentale per la pianificazione e la gestione del territorio [1]. La descrizione di fenomeni meteorologici estremi, come venti o precipitazioni intense, richiede dati ad alta risoluzione in grado di rappresentare la componente locale della variabilità climatica. Tuttavia, i modelli climatici globali utilizzati per produrre scenari di cambiamento climatico in corrispondenza dei rispettivi scenari di emissione di gas serra opera su scale spaziali troppo grandi, e non consentono una descrizione accurata dei fenomeni intensi su scala locale.

Il modelli di downscaling basati sull'IA

Per colmare questa lacuna, sono stati sviluppati approcci di downscaling dei dati climatici distinguibili in due categorie principali: dinamico e statistico. Il primo approccio utilizza modelli climatici regionali (RCM) per

simulare i processi atmosferici a partire dalle stesse equazioni costitutive del sistema climatico utilizzate per i modelli globali ma con un maggiore dettaglio spaziale e su aree limitate. Questo approccio ha un costo computazionale molto elevato.

Il secondo approccio si basa su **relazioni statistiche**, principalmente di **tipo lineare**, tra processi su scala globale e corrispondenti impatti locali. L'approccio è più economico sul piano delle risorse computazionali richieste ma meno efficace nell'identificare fenomeni estremi nel contesto di un sistema non stazionario e che quindi, per definizione, non garantisce la stabilità di una relazione statistica fra le sue parti.

Con l'avvento dell'intelligenza artificiale (IA), si è aperta una terza via: **i modelli di downscaling basati sull'IA**, che combinano gli aspetti più interessanti dei due approcci e integrano l'utilizzo di dati storici con tecniche generative in grado di imitare il funzionamento dei modelli regionali per creare scenari climatici ad altissima risoluzione.

Uno di questi strumenti è in via di svi-

luppo nell'ambito del progetto RETE (Resilience of the Electric Transmission grid to Extreme events), finanziato dal PNRR attraverso il Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing, e a cui il Laboratorio Modelli e Servizi Climatici di ENEA partecipa in qualità di responsabile scientifico. In collaborazione con la Fondazione Bruno Kessler, che possiede già un'esperienza consolidata nell'utilizzo di strumenti IA per applicazioni nel settore dei servizi climatici [2], è attualmente in fase di addestramento un innovativo modello di downscaling basato sulla tecnica dei Latent Diffusion Models.

Come funziona l'intelligenza artificiale a supporto dei servizi climatici

I Latent Diffusion Models (LDM) sono architetture di reti neurali sviluppate nell'ambito della computer vision per la generazione di immagini realistiche ad alta risoluzione [3]. L'intuizione alla base di questi modelli risiede nella possibilità di simulare un processo di diffusione e successivamente inver-

tirlo per ricostruire lo stato iniziale del processo. Aggiungendo progressivamente rumore ad un'immagine è possibile corromperla completamente fino a raggiungere rumore puro. Addestrando un modello a quantificare il rumore aggiunto ad ogni passaggio, è possibile invertire il processo e produrre un'immagine reale a partire da rumore puro, attraverso un condizionamento che guidi il processo.

Nell'ambito del progetto RETE questa tecnica viene utilizzata per sviluppare un LDM allenato alla generazione di campi di precipitazione e temperatura ad alta risoluzione, condizionando il processo di diffusione con predittori atmosferici a grande scala e con le caratteristiche orografiche e di uso del suolo ad alta risoluzione. In particolare, viene utilizzato un modello in grado di ricostruire l'errore residuo tra il target originario e il risultato di algoritmo di codifica-decodifica convoluzionale standard ^[4]. **L'idea di base è sfruttare la grande capacità di una rete relativamente semplice di codifica-decodifica nel catturare correttamente la principale variabilità su larga scala dei dati atmosferici ad alta risoluzione e di utilizzare la potenza di un modello di diffusione generativa per concentrarsi solo sulla ricostruzione della variabilità a scala locale.**

Nella fase di addestramento, il modello utilizza tre principali categorie di dati. Innanzi tutto, come variabili dinamiche di grande scala per il periodo storico di riferimento vengono utilizzati i dati dalla reanalisi ERA5, messi a disposizione dal Copernicus Climate Change Service e degradati ad una risoluzione che imita quella dei modelli climatici globali. Vengono inoltre utilizzati dati statici ad alta risoluzione, come orografia e copertura del suolo, che forniscono al sistema l'informazione necessaria per conoscere le caratteristiche locali del

territorio. Infine, come dati obiettivo (target) ad alta risoluzione vengono considerati dati generati da modelli climatici regionali come quello in uso presso il Laboratorio Modelli e Servizi Climatici di ENEA ^[5].

Tre moduli principali

Questi dati alimentano un sistema costituito da tre moduli principali.

- **Variational auto-encoder (VAE).** Questo modulo ha il compito di proiettare i dati ad alta risoluzione in uno spazio latente (codifica) e della loro riconversione nello spazio dei pixel di riferimento originari (decodifica). L'auto-encoder riduce la dimensionalità dei dati mantenendo invariata la qualità dell'informazione necessaria per addestrare gli altri componenti del modello.
- **Conditioner.** Questo modulo serve mettere in relazione i predittori a bassa risoluzione con i dati statici ad alta risoluzione, elaborandoli in modo che possano essere utilizzati nei diversi livelli di processamento.
- **Denoiser.** Questo modulo ha una struttura simile a un algoritmo di codifica-decodifica, e ha il compito di migliorare la ricostruzione dei dettagli su scala locale e garantire la sintesi ad alta risoluzione dei dati meteorologici.

Le variabili dinamiche di grande scala utilizzate come input sono un piccolo sottoinsieme di quelle utilizzate dai modelli di climatici regionali tradizionali e includono il geopotenziale a 500 e 700 hPa, la temperatura e l'umidità specifica a 600 e 850 hPa, la pressione media al livello del mare, la temperatura a 2 metri e la radiazione solare incidente verso il basso alla superficie. **Con questa configurazione, il sistema emula il funzionamento di un modello climatico regionale tradizionale, rendendo più efficiente la produzione di scenari climatici. Sebbene alla fine del processo non sia più disponibile una descrizione**

fisica completa del sistema climatico, e quindi l'uso dei dati per una migliore comprensione dei processi sia limitato, i dati prodotti sono tutti quelli necessari per le applicazioni operative.

Ad esempio, lo strumento sviluppato nell'ambito del progetto RETE sarà in grado di generare variabili meteorologiche ad alta risoluzione (circa 4 km) con una frequenza temporale di sei ore a partire da predittori a bassa risoluzione (~100 km) forniti da modelli climatici globali.

Le applicazioni

Il principale valore aggiunto dei modelli basati sull'impiego di tecniche IA per la produzione di scenari climatici è l'uso efficiente delle risorse di calcolo. Per un modello climatico a scala regionale il tempo di calcolo tipicamente richiesto per produrre scenari di precipitazione sul territorio nazionale italiano con una risoluzione di 4 km è di circa 60 ore per ogni anno di simulazione impegnando 480 cores sulle risorse di calcolo attualmente disponibili per il Laboratorio Modelli e Servizi Climatici di ENEA presso il laboratorio di supercalcolo di Portici. Al confronto, utilizzando un'infrastruttura dotata di una singola GPU, un modello basato sull'utilizzo di tecniche IA come quello appena descritto richiede circa 30 ore per la produzione di un anno di dati sullo stesso dominio nazionale.

Un esempio applicativo del modello LDM è riportato nella Figura 1, dove vengono confrontati i dati a bassa risoluzione di ERA5 con quelli ad alta risoluzione prodotti dal modello climatico regionale impiegato come target durante l'addestramento (in questo caso COSMO-CLM) e infine quelli generati dal modello LDM per l'Italia e per la Sardegna.

I risultati, riferiti in questo caso alle variabili temperatura e vento, mo-

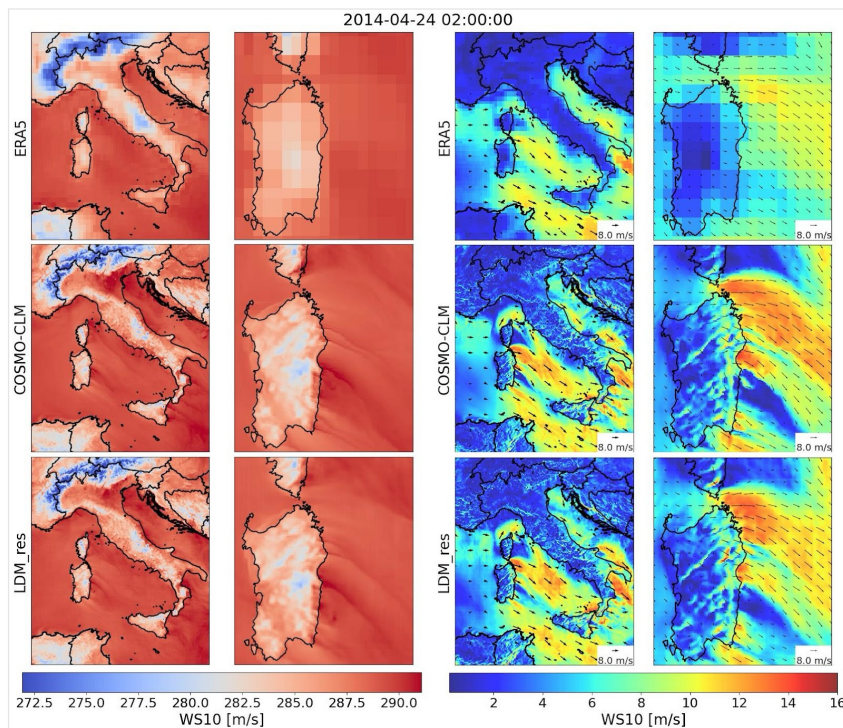


Figura 1. Esempio di variabili sottoposte a downscaling con il modello LDM, confrontate con i dati in ingresso a bassa risoluzione di ERA5 e con il target di riferimento ad alta risoluzione di COSMO-CLM, per un istante selezionato casualmente. Le prime due colonne a sinistra si riferiscono alla temperatura a 2 metri, mentre ultime le colonne a destra si riferiscono alla velocità del vento a 10 metri. La seconda e la quarta colonna mostrano un dettaglio dell'isola di Sardegna.

strano una notevole capacità delle tecniche IA nel catturare i dettagli locali della variabilità climatica, evidenziando la potenzialità del modello per applicazioni operative. Nell'e-

sempio riportato in Figura 1 il modello regionale climatico segnala la presenza di una vasta area ad est della Sardegna dove la velocità del vento a 10m è significativamente superiore ai

10 m/s. Mentre la reanalisi ERA5 non è in grado di descrivere accuratamente l'intensità di questo fenomeno a scala locale, l'applicazione di tecniche AI consente di ricostruire, a partire dalle informazioni di larga scala fornite da ERA5, le caratteristiche locali del campo di vento.

Nell'ambito del **progetto RETE**, tuttora in corso, queste tecniche verranno utilizzate per generare scenari di precipitazione e temperatura su tutto il territorio nazionale ad una frequenza temporale di 6 ore. In particolare, l'uso di tecniche basate sull'IA permetterà di generare un insieme statistico di previsioni climatiche grazie al quale sarà possibile valutare il grado di incertezza, e quindi la corrispondente affidabilità delle proiezioni. Mentre per il progetto RETE i dati saranno utilizzati per valutare il rischio frane e l'impatto degli eventi climatici estremi sulle infrastrutture, offrendo un contributo cruciale alla pianificazione e alla mitigazione dei rischi, gli stessi dati saranno messi a disposizione della collettività, fornendo un'importante risorsa per la valutazione dei rischi legati ai fenomeni estremi in un contesto di cambiamenti climatici in accelerazione.

per info: sandro.calmanti@enea.it

Riferimenti bibliografici

1. Setola, R., Rosato, V., Kyriakides, E., & Rome, E. (2016). Managing the complexity of critical infrastructures: A modelling and simulation approach (p. 299). Springer Nature.
2. Tomasi, E., Franch, G., & Cristoforetti, M. (2024). Can AI be enabled to dynamical downscaling? Training a Latent Diffusion Model to mimic km-scale COSMO-CLM downscaling of ERA5 over Italy. arXiv preprint arXiv:2406.13627.
3. Rombach, R., Blattmann, A., Lorenz, D., Esser, P., & Ommer, B.: High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models, CoRR, abs/2112.10752, <https://arxiv.org/abs/2112.10752>, 2021
4. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In Medical image computing and computer-assisted intervention-MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18 (pp. 234-241). Springer International Publishing.
5. Anav, A., Antonelli, M., Calmanti, S., Carillo, A., Catalano, F., Dell'Aquila, A., ... & Struglia, M. V. (2024). Dynamical downscaling of CMIP6 scenarios with ENEA-REG: an impact-oriented application for the Med-CORDEX region. *Climate Dynamics*, 1-27.

IA e scienza dei materiali: rivoluzione per il futuro del settore energetico

L'IA si sta affermando come strumento chiave per accelerare la scoperta di materiali energetici. Grazie agli algoritmi di apprendimento automatico, è possibile individuare schemi nei dati e prevedere rapidamente risultati che, altrimenti, richiederebbero centinaia di ore di simulazioni quantistiche. L'IA ha già dimostrato il suo valore identificando materiali innovativi per batterie, celle fotovoltaiche organiche, catalizzatori per la conversione della CO₂ e diodi organici a emissione di luce (OLED).

DOI 10.12910/EAI2025-013

di Massimo Celino, Giovanni Ponti, Dipartimento tecnologie energetiche e fonti rinnovabili Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT - ENEA

I crescente fabbisogno di energia sostenibile è una delle sfide più pressanti del nostro tempo. Governi e aziende di tutto il mondo stanno investendo in tecnologie innovative per la raccolta, la conversione e l'immagazzinamento dell'energia. Tuttavia, le tecnologie attuali, come le celle solari al silicio, stanno raggiungendo il loro limite di efficienza, spingendo i ricercatori a esplorare alternative promettenti come le perovskiti e i quantum dots. Questi materiali offrono non solo migliori prestazioni, ma anche una maggiore sostenibilità. Allo stesso tempo, le batterie, fondamentali per immagazzinare energia rinnovabile, devono diventare più economiche, efficienti e durature, privilegiando l'uso di materiali abbondanti e sicuri, evitando elementi costosi e rari come il piombo, il platino e l'oro. **Un altro aspetto cruciale è l'analisi del ciclo di vita dei materiali, che deve dimostrare un impatto positivo nella riduzione dell'impronta di carbonio, contribuendo alla sfida globale di un futuro energetico sostenibile.**

La scoperta di nuovi materiali è spes-

so ostacolata dall'enorme quantità di dati sperimentali generati. Solo negli Stati Uniti, il National Institute of Standards and Technology (NIST) gestisce 65 database con decine di migliaia di misurazioni. Dal 2010, sono stati pubblicati oltre 1,7 milioni di articoli scientifici su batterie e celle solari. Tuttavia, comprendere e razionalizzare la relazione tra la struttura atomica di un materiale e le sue proprietà macroscopiche è ancora una sfida estremamente complessa.

Pregiudizi umani e limiti tecnologici

Purtroppo, molti materiali vengono scoperti attraverso approcci empirici, un processo lento e costoso che prevede il test manuale di pochi campioni alla volta, spesso influenzato da pregiudizi umani e limiti tecnologici. Per superare queste limitazioni, stanno emergendo strumenti computazionali in grado di generare automaticamente strutture atomiche e calcolarne le proprietà chimico-fisiche, incluse quelle elettroniche. Piattaforme come **Materials Project [Jain]** utilizzano supercomputer

per prevedere le proprietà di oltre 700.000 materiali, offrendo un enorme potenziale industriale. Analogamente, il **Laboratorio NOMAD [Draxl]** raccoglie e organizza dati generati da simulazioni computazionali di tutto il mondo, fornendo strumenti di Intelligenza Artificiale (AI) per identificare materiali nuovi con prestazioni aumentate. Queste iniziative trasformano grandi volumi di dati in soluzioni pratiche, aprendo la strada a tecnologie innovative.

L'IA si sta affermando come strumento chiave per accelerare la scoperta di materiali energetici. Grazie agli algoritmi di apprendimento automatico, è possibile individuare schemi nei dati e prevedere rapidamente risultati che, altrimenti, richiederebbero centinaia di ore di simulazioni quantistiche. L'IA ha già dimostrato il suo valore identificando materiali innovativi per batterie, celle fotovoltaiche organiche, catalizzatori per la conversione della CO₂ e diodi organici a emissione di luce (OLED).

Tuttavia, esistono ancora sfide significative. Una di queste è la mancanza di una rappresentazione universale

per codificare i materiali dalla scala atomica a quella macroscopica. Ogni applicazione richiede proprietà specifiche come composizione chimica, struttura cristallina e conduttività, ma i dati sperimentali di qualità sono rari. Inoltre, i modelli computazionali spesso si basano su ipotesi e schemi teorici che non sempre riflettono accuratamente la complessità delle condizioni reali.

Per affrontare queste difficoltà, è essenziale una stretta collaborazione tra le comunità dell'IA e della scienza dei materiali. Questa sinergia può favorire una comprensione reciproca delle esigenze e delle capacità, creando un ecosistema più efficiente per l'innovazione. Negli ultimi anni, iniziative multidisciplinari hanno promosso questa collaborazione. Tra le più rilevanti troviamo la **Materials Genome Initiative** negli Stati Uniti, il **Centre for Accelerated Materials Discovery and Innovation** in Canada [Advanced] e il progetto **BIG-MAP** in Europa [Kraus]. Una delle iniziative più promettenti è l'iniziativa COST **EU-MACE**, che mira a creare un ecosistema integrato europeo per lo sviluppo accelerato dei materiali energetici [CA22123]. Questo progetto combina competenze digitali e materiali avanzati, promuovendo la condivisione di risorse, labo-

ratori e conoscenze per un progresso coordinato delle **Materials Acceleration Platforms (MAPs)**.

Verso un quinto paradigma principale

La scienza ha attraversato quattro paradigmi principali: dalla scienza sperimentale alla teoria matematica, dal calcolo numerico alla scoperta basata su grandi volumi di dati. Oggi, con il calcolo computazionale e l'IA, stiamo entrando nel quinto paradigma, un'era in cui la scoperta scientifica è guidata dall'elaborazione avanzata dei dati e dalla modellizzazione predittiva. Un esempio pionieristico è **MatterSim** [Yang], un modello di IA capace di stimare con precisione le proprietà dei materiali su un ampio spettro di elementi, temperature e pressioni, superando le limitazioni delle simulazioni quantistiche e degli esperimenti tradizionali.

Un altro strumento all'avanguardia è **MatterGen** [Zeni], uno strumento di intelligenza artificiale generativa che non si limita a categorizzare i materiali esistenti, ma crea nuovi materiali basati sui requisiti specifici di un'applicazione. L'idea è stata di applicare i modelli di IA generativa, utilizzati per generare nuove immagini o testi, per assemblare nuove strutture atomiche

dietro richiesta di adeguati prompt. Questo approccio consente di esplorare uno spazio di progettazione enormemente più ampio in un tempo incredibilmente ridotto, superando le limitazioni di tempi e costi degli approcci tradizionali. Se questo approccio confermerà le potenzialità che promette, si potrà realizzare il sogno di ogni ricercatore: costruire il materiale desiderato come se fosse una composizione di mattoncini Lego.

Anche l'Italia partecipa a questa rivoluzione grazie ad alcune iniziative significative, tra cui è possibile ricordare il Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data e Quantum Computing realizzato e gestito dalla Fondazione ICSC. ICSC è uno dei cinque Centri Nazionali istituiti dal PNRR, il cui Spoke7 "Materials and Molecular Science" punta ad ampliare lo spettro delle applicazioni scientifiche ed industriali dei codici numerici per la simulazione dei materiali, sfruttando le imponenti risorse di calcolo ora disponibili in Italia e in Europa. **ENEA partecipa al Centro Nazionale HPC e coordina lo sviluppo della piattaforma IEMAP (Italian Energy Materials Acceleration Platform), realizzata in collaborazione con CNR, IIT e RSE.**

La piattaforma IEMAP

Il progetto, finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica nell'ambito dell'iniziativa di cooperazione internazionale "Mission Innovation", ha sviluppato **la piattaforma IEMAP che utilizza il supercalcolo e l'intelligenza artificiale per accelerare e guidare la progettazione di materiali innovativi per le applicazioni nei settori del fotovoltaico, delle batterie e degli elettrolizzatori.** IEMAP rappresenta quindi un esempio di come la tecnologia possa trasformare la ricerca sui materiali, riducendo drasticamente i tempi necessari per portare un nuovo



materiale dal laboratorio all'applicazione pratica. Il cuore di IEMAP è una rete di laboratori dal nord al sud di Italia che generano dati reali e simulati per un database centralizzato (<https://iemap.enea.it>). Il calcolo ad alte prestazioni rende possibile sviluppare ed utilizzare modelli di IA per identificare rapidamente i materiali più promettenti. Grazie alla condivisione dei dati e delle competenze tra i laboratori partecipanti, il progetto offre alle aziende strumenti per una

prototipizzazione rapida ed efficiente [Ronchetti]. **La scoperta e la progettazione di nuovi materiali rappresentano una delle sfide più importanti per affrontare le esigenze energetiche del futuro.** Le tecnologie basate sull'intelligenza artificiale, sul calcolo computazionale e sulla collaborazione multidisciplinare stanno trasformando il modo in cui i materiali vengono progettati, testati e applicati. Iniziative come IEMAP, EU-MACE e i progetti internazionali di accelerazio-

ne dei materiali offrono un modello di innovazione che combina efficienza, sostenibilità e progresso tecnologico. **Questa rivoluzione scientifica non solo promette di rendere le tecnologie energetiche più accessibili e sostenibili, ma getta anche le basi per un futuro in cui la scoperta scientifica sarà guidata da una sinergia senza precedenti tra dati, supercalcolo e intelligenza artificiale esaltando il potenziale creativo e di innovazione della mente umana.**

per info: massimo.celino@enea.it

Bibliografia

Advanced materials research facility. <https://nrc.canada.ca/en/research-development/nrc-facilities/advanced-materials-research-facility>.

CA22123 – COST Action “European Materials Acceleration Center for Energy” (EU-MACE). <https://www.cost.eu/actions/CA22123/>

De Luna P, Wei J, Bengio Y, Aspuru-Guzik A, Sargent E. Use machine learning to find energy materials. *Nature*, 552, 2017.

Draxl C, Scheffler M. The NOMAD Laboratory: From Data Sharing to Artificial Intelligence. *J. Phys. Mater.* 2, 036001 (2019). DOI 10.1088/2515-7639/ab13bb

Jain A, Ping Ong S, Hautier G, Chen W, Davidson Richards W, Dacek S, Cholia S, Gunter D, Skinner D, Ceder G, Persson K A. The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. *APL Mater.* 1, 011002 (2013). <https://doi.org/10.1063/1.4812323>

Kraus P, Bainglass E, Ramirez F, Svaluto-Ferro E, Ercole L, Kunz B, Huber S, Plainpan N, Marzari N, Battaglia C, Pizzi G. A bridge between trust and control: computational workflows meet automated battery cycling. *J. Mater. Chem. A*, 2024, 12, 10773-10783. <https://doi.org/10.1039/D3TA06889G>

Ronchetti C, Marchio S, Buonocore F, Giusepponi S, Ferlito S, Celino M. Study of Cathode Materials for Na-Ion Batteries: Comparison Between Machine Learning Predictions and Density Functional Theory Calculations. *Batteries* 2024, 10, 431. <https://doi.org/10.3390/batteries10120431>

Marzari N. et al. Materials Cloud, a platform for open computational science. *Scientific Data* | (2020) 7:299 | <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00637-5>.

Yang H et al. MatterSim: A Deep Learning Atomistic Model Across Elements, Temperatures and Pressures. arXiv:2405.04967. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.04967>

Zeni, C., Pinsler, R., Zügner, D. et al. A generative model for inorganic materials design. *Nature* (2025). <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08628-5>

Intelligenza artificiale e robot: i due pilastri abilitanti della transizione energetica

L'integrazione tra robotica ed intelligenza artificiale rappresenta un'evoluzione significativa, in cui le capacità fisiche avanzate dei robot si combinano con la potenza analitica e decisionale dell'IA. Questo connubio consente di sviluppare sistemi autonomi in grado di percepire l'ambiente, adattarsi a condizioni variabili ed eseguire operazioni con un elevato livello di efficienza, abilitando al meglio le richieste di manutenzione predittiva, ottimizzazione dei processi produttivi e gestione delle infrastrutture energetiche sopra introdotti.

DOI 10.12910/EAI2025-014

di Stefano Chiesa, Saverio De Vito, Sofia Dutto, Marco Paoloni, Gabriele Piantadosi, Sergio Taraglio, Andrea Zanela e Girolamo Di Francia; Direzione Tecnologie Energetiche e Fonti rinnovabili - Laboratorio Energia e Data Science - ENEA

Un sistema energetico prevalentemente dipendente da fonti rinnovabili è caratterizzato da un grado elevato di incertezza produttiva dipendente sia dalla intrinseca natura non programmabile di queste fonti che dalle particolari caratteristiche di gestione operativa di centrali eoliche e fotovoltaiche. Tutto ciò, assieme al quasi perfetto bilanciamento cui deve tendere la rete elettrica in ogni istante, impone l'utilizzo sempre più pervasivo di tecniche di intelligenza artificiale, IA per ottimizzare la previsione della produzione di energia in relazione alle condizioni meteorologiche, per predire deterioramenti e guasti delle singole centrali e, infine, anche per la gestione dello stesso mercato energetico, caratterizzato sempre più da volumi crescenti di energie rinnovabili scambiati in tempi brevi.

In Figura 1 è ad esempio riportato l'andamento nel tempo delle transazioni energetiche sul mercato di inter-

scambio intra-giornaliero europeo. Come si vede l'andamento cresce rapidamente col crescere della penetrazione delle energie rinnovabili nei sistemi energetici di ciascun paese dell'Unione in ragione della maggio-

re affidabilità a breve termine nelle tecniche IA di previsione della produzione. Nel 2022 si registravano su questo mercato, oltre 10 transazioni al minuto. Evidentemente tutto ciò non sarebbe possibile se, asservita

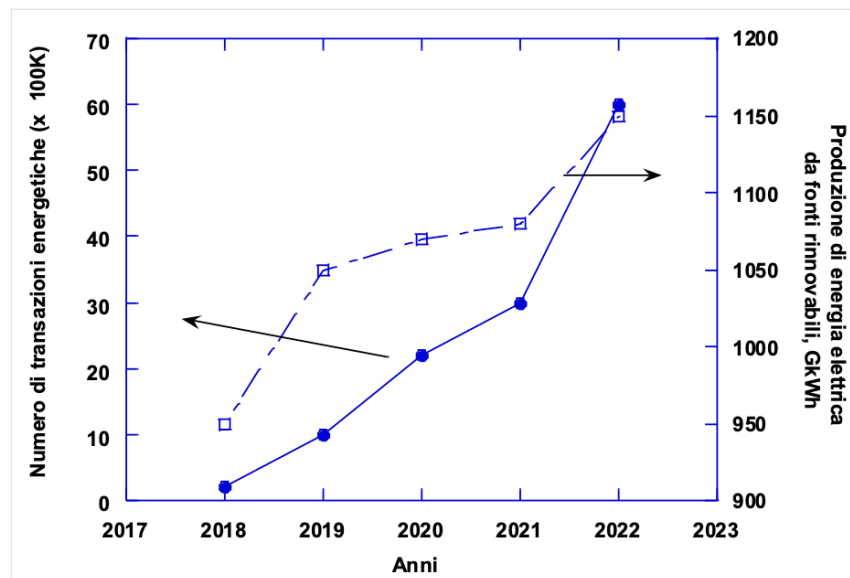


Figura 1: Transazioni energetiche sul mercato intraday UE e penetrazione delle rinnovabili

a questo mercato, non ci fosse una piattaforma digitale (XBID) capace di gestire le transazioni commerciali su questa scala temporale. A tutto ciò devono poi aggiungersi le tematiche di certificazione in sicurezza che accompagnano tutta la filiera di produzione dell'energia, dalla realizzazione degli impianti e fino alla commercializzazione del prodotto. **In questo contesto l'integrazione tra robotica ed intelligenza artificiale rappresenta un'evoluzione significativa, in cui le capacità fisiche avanzate dei robot si combinano con la potenza analitica e decisionale dell'IA. Questo connubio consente di sviluppare sistemi autonomi in grado di percepire l'ambiente, adattarsi a condizioni variabili ed eseguire operazioni con un elevato livello di efficienza, abilitando al meglio le richieste di manutenzione predittiva, di ottimizzazione dei processi produttivi e di gestione delle infrastrutture energetiche sopra introdotti.**

Dunque transire dal sistema energetico in cui oggi siamo, ad uno più sostenibile non potrebbe essere possibile senza i livelli che abbiamo oggi raggiunto nei sistemi di calcolo e nelle tecniche di trattamento di grandi moli di dati. In questo lavoro esaminiamo brevemente i due pilastri della transizione: l'IA e la robotica, descrivendone il loro uso nell'ambito delle energie rinnovabili.

L'intelligenza artificiale

L'intelligenza artificiale si sta rivelando uno degli strumenti più potenti nel supporto alla gestione ed ottimizzazione delle energie rinnovabili. Grazie alla sua capacità di analizzare enormi quantità di dati e generare previsioni precise, l'IA sta migliorando la gestione degli impianti, l'efficienza energetica e la sostenibilità del settore. Ed è grazie a tecniche avanzate di machine learning, visione artificiale

ed analisi predittiva, che l'IA consente ai robot di monitorare impianti solari, eolici e idroelettrici, rilevando anomalie, ottimizzando la manutenzione e migliorando le prestazioni complessive. Inoltre, algoritmi di previsione energetica e meteorologica permettono di anticipare variazioni nelle condizioni operative, massimizzando l'efficienza degli impianti e garantendo una gestione più sostenibile delle risorse. **Le piattaforme software basate sull'intelligenza artificiale supportano la gestione delle energie rinnovabili analizzando dati in tempo reale per ottimizzare il forecasting energetico, la manutenzione predittiva e le transazioni. Questi strumenti migliorano l'efficienza degli impianti e contribuiscono ad una pianificazione più precisa e sostenibile della produzione e distribuzione energetica.**

- **Forecasting del prezzo.** La previsione dei prezzi dell'energia è una componente cruciale in mercati energetici sempre più dinamici e regolamentati. I prezzi sono influenzati da una combinazione di fattori, tra cui l'andamento della domanda, le condizioni di offerta, le politiche regolatorie e le variabili macroeconomiche. Algoritmi avanzati di intelligenza artificiale analizzano dati storici, trend di mercato e variabili esterne, come condizioni climatiche e politiche ambientali per generare stime precise e tempestive. Il forecasting del prezzo dell'energia consente agli operatori di mercato di anticipare fluttuazioni economiche, pianificare investimenti e ottimizzare le strategie di trading.

Queste previsioni non solo migliorano la redditività per produttori e distributori, ma aiutano anche i consumatori a prendere decisioni informate su quando acquistare energia, riducendo i costi. La capacità di prevedere le dinamiche di prezzo è inoltre essenziale per stabilire strategie di lungo termine, garantendo maggiore stabi-

lità e sostenibilità all'intero sistema energetico.

- **Transazioni energetiche. Lottizzazione delle transazioni energetiche, particolarmente rilevante nei mercati organizzati in sessioni day-ahead e intra-day, trae grande beneficio dall'accuratezza delle previsioni basate sull'intelligenza artificiale.** Nei mercati day-ahead, gli operatori devono comunicare al gestore una previsione della produzione oraria per il giorno successivo entro una scadenza specifica, stabilita a livello nazionale, per consentire l'acquisto all'ingrosso e la stipula di contratti. Errori nelle previsioni possono generare penalità economiche significative, sia per sovrapproduzione che per sottoproduzione, con impatti rilevanti sui costi operativi. Dunque, strumenti basati sull'intelligenza artificiale per la previsione dei prezzi, della produzione energetica e delle condizioni meteorologiche, migliorano la sostenibilità economica delle operazioni, ma si rivelano cruciali anche nel supporto a modelli decentralizzati come le comunità energetiche, che potrebbero beneficiare di previsioni più accurate per promuovere l'autoconsumo e gestire in modo più efficiente le risorse condivise.

- **Forecasting dell'energia. La capacità di prevedere con precisione la produzione energetica su orizzonti temporali diversificati, che spaziano da pochi minuti a diversi giorni, riveste un ruolo strategico nella gestione delle risorse rinnovabili.** Tale capacità risulta di particolare rilievo per i sistemi fotovoltaici, la cui produzione è fortemente influenzata da fattori ambientali e operativi. L'applicazione di modelli avanzati di intelligenza artificiale consente di affrontare in maniera efficace l'incertezza intrinseca alla variabilità delle fonti rinnovabili, offrendo previsioni più accurate e dettagliate. Queste analisi permettono una piani-

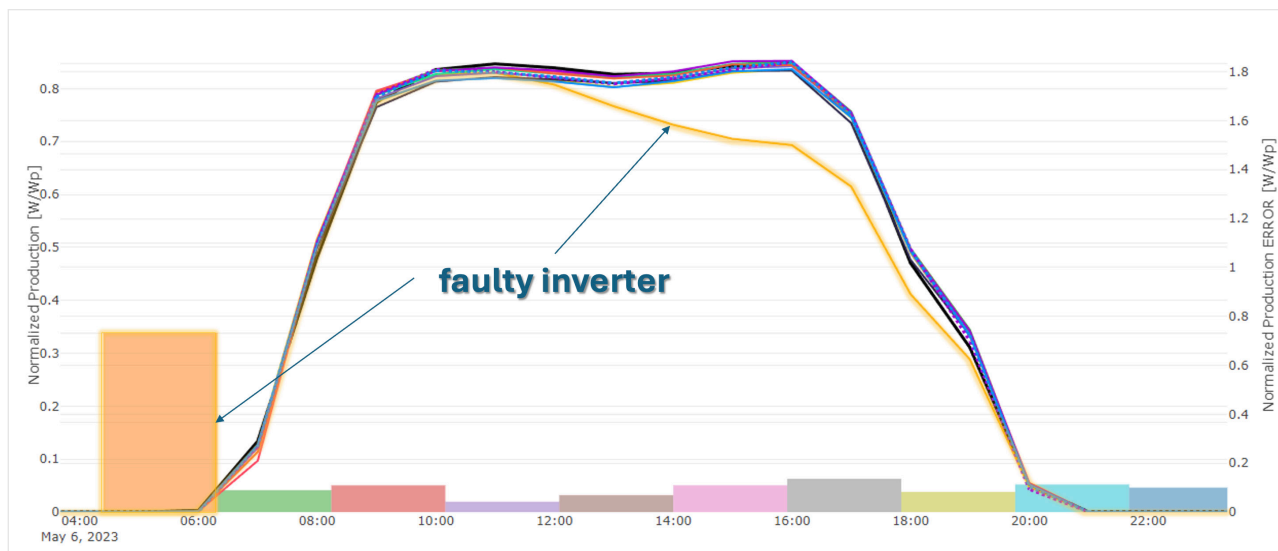


Figura 2: Predizione dei guasti dal confronto tra potenza prevista e potenza misurata a livello di inverter di impianto

ficazione energetica ottimizzata, favorendo un utilizzo più efficiente delle risorse disponibili e riducendo i rischi derivanti da stime imprecise della produzione.

- **Forecasting meteorologico.** La produzione energetica da fonti rinnovabili, quali il fotovoltaico e l'eolico, è fortemente condizionata dalla variabilità delle condizioni climatiche, generando sfide significative per la pianificazione e la gestione degli impianti. **Questa incertezza può essere affrontata attraverso l'impiego di modelli avanzati di forecasting meteorologico basati sull'intelligenza artificiale, progettati per prevedere con precisione parametri fondamentali come l'irraggiamento solare e la velocità del vento.** Tali strumenti riducono le incertezze operative, ottimizzano l'efficienza dei sistemi di produzione e favoriscono un utilizzo più sostenibile delle risorse rinnovabili [1].

- **Manutenzione predittiva.** La manutenzione predittiva, supportata da algoritmi di intelligenza artificiale, rappresenta un approccio strategico per ottimizzare l'efficienza e l'affidabilità degli impianti energetici ali-

mentati da fonti rinnovabili. Attraverso l'analisi combinata di dati storici e in tempo reale, tali sistemi consentono di rilevare tempestivamente segnali di guasto o degrado, permettendo interventi mirati prima che si verifichino interruzioni o danni rilevanti. Questo approccio non solo limita i costi legati a interventi straordinari, ma incrementa la disponibilità degli impianti, assicurando una produzione energetica continua e performante. L'adozione della manutenzione predittiva promuove, inoltre, una gestione più resiliente e sostenibile delle infrastrutture legate alle energie rinnovabili. Nella Figura 2 è ad esempio riportato come attraverso il confronto fra potenza prevista e potenza osservata si possono individuare malfunzionamenti in un impianto fotovoltaico [2].

I robot. L'integrazione della robotica nel settore delle energie rinnovabili rappresenta una delle soluzioni più innovative per migliorare l'efficienza, ridurre i costi operativi e affrontare le sfide legate alla manutenzione aumentando allo stesso tempo la sicurezza sul lavoro per gli operatori. L'utilizzo di approcci basati su robot

dotati di strumenti di Intelligenza Artificiale permette, inoltre, un'analisi predittiva sul comportamento futuro di un componente o di una infrastruttura, consentendone il monitoraggio ed una manutenzione con una notevole riduzione dei tempi di fermo. In particolare, la robotica trova applicazione nei sistemi di produzione di diverse tipologie di energia rinnovabile come gli impianti solari termodinamici, i fotovoltaici, gli eolici, gli idroelettrici ed anche nelle infrastrutture di trasmissione elettrica [3]. Di seguito ne viene riportato l'utilizzo in vari ambiti connessi alle energie rinnovabili.

- **Solare Termodinamico.** Nei sistemi solari termodinamici, i robot sono determinanti per compiti come la pulizia delle superfici riflettenti, il monitoraggio delle strutture e la manutenzione predittiva. Operazioni come la pulizia automatizzata degli specchi migliorano significativamente l'efficienza energetica, soprattutto in condizioni climatiche difficili quali quelle presenti negli impianti in zone desertiche. Oltre all'aspetto di pulizia, si usano correntemente droni aerei per l'ispezione dall'alto delle superfici

riflettenti, riuscendo a rilevare difetti di allineamento o usura degli impianti con una estrema precisione.

- **Fotovoltaico.** Anche nel settore fotovoltaico, i robot autonomi sono progettati ed utilizzati per la pulizia dei pannelli solari, eliminando polvere e detriti che possono ridurre la produzione di energia.

Alcuni di questi sistemi utilizzano dispositivi che non fanno uso di acqua, il che li rende particolarmente utili nelle aree desertiche. Questi sistemi utilizzano tecnologie avanzate quali gli algoritmi di machine learning per l'ottimizzazione delle operazioni di pulizia e manutenzione. Anche in questo scenario, l'impiego di droni per l'ispezione visiva e termografica consente di identificare guasti con tempestività e quindi monitorare la durata dei pannelli, permettendo un utilizzo ottimizzato dell'intero campo fotovoltaico. Esistono anche sistemi sperimentali per la costruzione automatica di impianti fotovoltaici, dove la soluzione robotica assembla e posiziona i singoli pannelli a terra.

- **Eolico.** Per quanto riguarda l'energia eolica, la robotica è impiegata nell'ispezione e manutenzione delle turbine, sia negli impianti a terra che in quelli offshore. Vengono utilizzati sia droni volanti che robot in grado di arrampicarsi sulle torri che sostengono le turbine. In Figura 3 è riportato un esempio di questi robot che, dotati di sensori avanzati, monitorano sia le condizioni delle pale eoliche che delle torri, rilevando con prontezza danni strutturali e usura. Esistono anche soluzioni in grado di monitorare la parte sommersa delle torri negli impianti offshore, che sono soggetti ad una usura più intensa, legata alla salinità del mare. L'utilizzo di robot negli impianti eolici riduce fortemente i rischi per il personale, migliorando la sicurezza e garantendo operazioni più efficienti.



Figura 3: Robot "arrampicatore" per la manutenzione di torri di generatore eolico

- **Idroelettrico.** Negli impianti idroelettrici, i robot svolgono un ruolo cruciale nel monitoraggio dell'integrità degli invasi, identificando problemi quali deformazioni, crepe, erosioni e usura. Robot arrampicatori, droni e robot sottomarini consentono l'ispezione della struttura, analizzando i dati forniti da telecamere, sensori di tipo ultrasonico e georadar sia sopra che sotto il livello dell'acqua. Un'altra applicazione in cui i robot rivestono un ruolo importante è la manutenzione delle turbine e dei condotti, grazie a sofisticate tecnologie di elaborazione immagini, possono individuare problemi come corrosione o danni ai materiali

senza la necessità di interrompere il funzionamento degli impianti. In Figura 4 è riportato un esempio dell'utilizzo di questi robot proprio nella manutenzione di una centrale idroelettrica.

- **Linee elettriche.** Anche nella manutenzione delle linee elettriche, i robot sono ampiamente utilizzati per ispezionare i tralicci, le linee di conduzione ed i loro accessori quali, ad esempio, gli isolatori e gli smorzatori di vibrazione, infrastrutture e rilevare anomalie termiche o meccaniche, prevenendo guasti e migliorando l'affidabilità della rete di trasmissione. Sono utilizzati principalmente due tipi di robot: i droni volanti e quelli in grado di muoversi lungo le linee conduttrici usando carrelli con ruote o degli arti dotati di dispositivi prensili per aggrapparsi a linee e tralicci. Per non interrompere il servizio, le ispezioni sono di solito eseguite con le linee sotto tensione, per cui i droni devono essere mantenuti a distanza di sicurezza. Entrambi i tipi sono di solito equipaggiati con telecamere (nel visibile ed in altre bande); quelli che si muovono sulle linee, avvalendosi della loro prossimità, possono anche trasportare altri tipi di sensore e perfino qualche utensile per eventuali interventi manutentivi. A parità di tempo di impiego, i droni



Figura 4. Robot per la manutenzione di impianti idroelettrici

raccogliono una mole molto più grande di dati, che richiede l'uso di algoritmi di intelligenza artificiale per la sua elaborazione. In generale, l'adozione della robotica nel settore delle energie rinnovabili sta rivoluzionando le modalità di gestione degli impianti, rendendoli più sostenibili, sicuri ed efficienti. L'evoluzione continua della tecnologia offre così opportunità sempre maggiori per affrontare le sfide della transizione energetica.

Conclusioni

Con questo lavoro abbiamo cercato di mostrare come Intelligenza Artificiale e robotica, intesa come braccio operativo della IA, costituiscono oggi elementi imprescindibili della transizione energetica. Non è un caso, in effetti che, se mentre fino a soli pochi anni fa la professionalità più richiesta in ambito energetico era quella dell'esperto di dominio, oggi in tutte

le maggiori aziende di settore le professionalità più richieste sono quelle di **data scientist oppure di ingegnere informatico**. L'Italia vanta una buona tradizione in tal senso. Ma il settore cresce e si evolve molto rapidamente: viste le limitate risorse che abbiamo a disposizione, dobbiamo pensare a processi di svecchiamento e riallineamento a questa realtà.

per info: girolamo.difrancia@enea.it

Riferimenti bibliografici

1. Gabriele Piantadosi, Sofia Dutto, Antonio Galli, Saverio De Vito, Carlo Sansone, Girolamo Di Francia, Photovoltaic power forecasting: A Transformer based framework, Energy and AI, Volume 18, 2024, 100444.
2. AI in Industry: Activities of the CINI-AIIS Lab at University of Naples Federico II / Del Prete, A.; Dutto, S.; Ferraro, A.; Galli, A.; Moscato, V.; Piantadosi, G.; Sansone, C.; Sperli, G.. - 3762:(2024), pp. 528-533. (Intervento presentato al convegno 2024 Ital-IA Intelligenza Artificiale - Thematic Workshops, Ital-IA 2024 tenutosi a ita nel 2024).
3. Taraglio, S.; Chiesa, S.; De Vito, S.; Paoloni, M.; Piantadosi, G.; Zanela, A.; Di Francia, G. Robots for the Energy Transition: A Review. Processes 2024, 12, 1982. <https://doi.org/10.3390/pr12091982>

L'intelligenza artificiale a supporto della manifattura additiva

La produzione additiva intelligente nasce dall'integrazione di manifattura additiva e intelligenza artificiale: l'intero processo è gestito in real-time, dal design all'esecuzione della stampa, dal monitoraggio della qualità alla manutenzione delle apparecchiature.

DOI 10.12910/EAI2025-015

di Giovanni Di Girolamo e Giuseppe Barbieri Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Divisione Tecnologie e materiali per l'Industria Manifatturiera Sostenibile - ENEA

L'intelligenza artificiale (IA) è la capacità di una macchina di simulare l'intelligenza umana, analizzando ed elaborando una grande mole di dati complessi in tempi brevi, a supporto dei processi decisionali. Sistemi fondati su apprendimento automatico di modelli matematici adattano il proprio comportamento analizzando gli effetti prodotti dalle azioni precedenti e operando in autonomia. Le metodologie di IA hanno una percezione dell'ambiente di lavoro nella sua complessità, elaborano dati e informazioni mediante raccolta e interpretazione di input, apprendono, intraprendono azioni correttive, mantengono controllo e accessibilità dei dati. **Il loro uso è giustificato da crescenti esigenze industriali in materia di automazione di processi, analisi di big data, prevenzione.**

Il machine learning (ML) utilizza algoritmi per identificare modelli e generare soluzioni, mentre il deep learning (DL) si fonda su algoritmi di reti neurali (NNs), ispirate da struttura e funzioni del cervello, costituite da nodi interconnessi atti a processare e trasmettere dati e informazioni, permettendo al sistema di riconoscere i modelli, fare previsioni a partire dai dati iniziali e prendere decisio-

ni in real-time. Esse consentono di analizzare e ottimizzare processi di manifattura complessi: possono gestire relazioni non lineari, operare in ambienti dinamici come linee di produzione, adattarsi a nuovi dati, continuando ad apprendere e migliorando la performance. Sono state utilizzate per sviluppare modelli che utilizzano dati storici e correnti per predire futuri comportamenti della linea, anticipando criticità tali da rallentare o arrestare la produzione.

Esistono casi studio industriali su implementazione della IA nell'ottimizzazione della pianificazione, nella modellizzazione e ottimizzazione dei

parametri produttivi, nel rilevamento di difetti in tempo reale, nella previsione della performance di macchina, nel riconoscimento delle azioni degli assemblatori.

Benefici e prospettive

Nella manifattura additiva (MA) il componente è prodotto a partire da un modello CAD, fondendo il materiale (polvere, filamento, pellet) e depositandolo strato per strato, per applicazioni che vanno dalla produzione di massa alla produzione in piccoli volumi di parti customizzate, in vari settori: biomedicale (impianti, protesi, scaffold); aerospaziale (parti di ve-

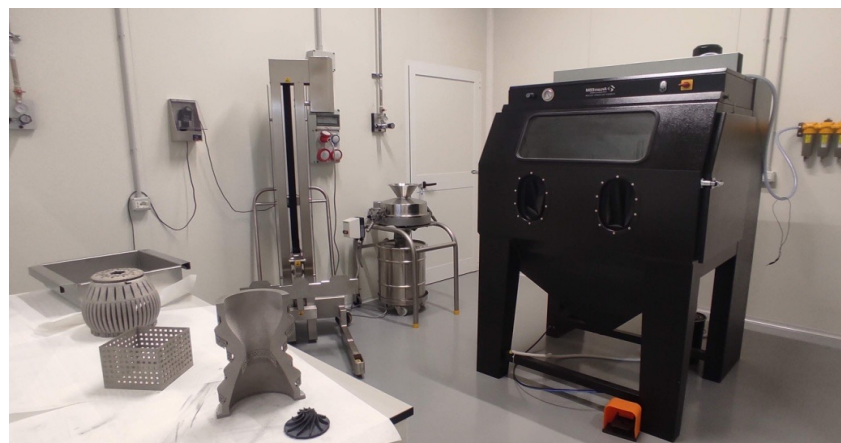


Figura 1 - Laboratorio di stampa 3D (Infrastruttura MAIA-ENEA).

livoli e satelliti), elettronico, energia/trasporti (microturbine, dischi freno, cuscinetti, valvole). **La crescente diffusione della tecnologia è dovuta a vantaggi economici e tecnologici. L'ottimizzazione di design, processo e relativi parametri consente di realizzare componenti complessi con specifiche caratteristiche geometriche e prestazionali, a più elevata funzionalità rispetto agli analoghi prodotti con metodi tradizionali, di ridurre consumo di materiale e scarti, incrementando efficienza e produttività. In ottica digitalizzazione e automazione, le aziende spingono per soluzioni basate su cloud che integrino vari algoritmi e ottimizzino l'intera catena.**

Il ML si utilizza per analizzare e ridefinire lo stato della produzione. Per definire un modello/algoritmo adeguato a raccolta ed elaborazione dei dati, occorre individuare i parametri chiave e integrare i dispositivi di misura, considerando le connessioni esistenti fra le fasi di processo.

La IA può valutare se la MA è la tecnologia più efficace ed efficiente per realizzare e validare un dato design. Il suo potenziale è nella facilità e rapidità nel produrre varianti di design intelligenti basate su variabili predefinite, su un set di parametri (proprietà dei materiali, spessore layer, orientamento della stampa, strutture di supporto) e requisiti tecnici.

Il design generativo guidato da algoritmi di ML genera in tempi brevi geometrie complesse e innovative, a volte impossibili da realizzare con metodi tradizionali, minimizzando le iterazioni e replicando il processo di simulazione di un componente prima di produrlo, così riducendo tempi e costi. **Nell'ambito del progetto INSPIRATION la divisione Tecnologie e materiali per l'Industria Manifatturiera Sostenibile dell'ENEA studia l'alleggerimento di componenti aeronauti-**

ci mediante il design con geometrie trabecolari e giroidiche ottimizzate.

Il ML si applica all'ottimizzazione topologica, dell'uso di materiale e dell'integrità strutturale, come dimostrato nella produzione di componenti leggeri ad elevate resistenza meccanica e performance (GE Aviation/Airbus).

Il ruolo della IA nell'assicurazione di qualità e nel rilevamento dei difetti

Nel processo di stampa 3D, una volta definite la qualità dei materiali e la geometria dei componenti, vengono fissati i relativi valori di verifica. **Le macchine per stampa 3D sono profondamente sensorizzate e, quindi, in grado di fornire una quantità notevole di dati (storici e attuali) per l'istruzione della IA che, analizzandoli in real-time, permette azioni tempestive nel caso in cui escano fuori soglia. Ciò compete ad algoritmi di ML atti a sviluppare il modello. Notevole è il ruolo della IA nell'assicurazione di qualità e nel rilevamento dei difetti.**

Sistemi di IA assistono gli operatori della linea di produzione nel controllo in real-time dei componenti mediante sistemi di visione e monitoraggio, al fine di individuare eventuali difetti

strutturali, correlarli ad anomalie di processo e intervenire senza attendere l'ispezione a fine ciclo, così evitando la produzione di scarti. **Ciò consente di ottimizzare il consumo di materiale e il processo di stampa, migliorando la produzione.**

Per avere previsioni attendibili le tecnologie di IA basate su approcci data-driven vanno integrate con i modelli fisici [2]. Il digital twin è la rappresentazione virtuale del processo fisico, che ha un impatto su design, simulazione di processo, predizione della performance, retroazione. Con questo si intende l'utilizzo dei dati reali nel digital twin, al fine di ottimizzare accuratezza e capacità predittive. EOS ha sviluppato un digital twin per il processo di stampa DMLS (Direct Metal Laser Sintering): le immagini termiche (tomografia ottica) di ogni strato stampato sono confrontate con l'immagine generata da IA, in caso di anomalia (mancanza di polvere, difetti di ricopertura del singolo strato), il processo si arresta.

Nella MA metallica le caratteristiche del bagno di fusione determinano caratteristiche e qualità del componente. Monitorarle in tempo reale, indivi-

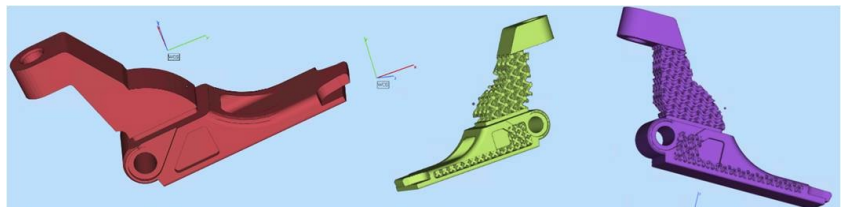


Figura 2 - Maniglia di apertura (rosso), ottimizzazione topologica su struttura lattice (verde) e giroide (viola) - Progetto Inspiration [1].



Figura 3 - Maniglia stampata con Electron Beam Melting con varie strutture (Inspiration) [1].

duare e correggere tempestivamente deviazioni dei parametri dai valori ottimali, riportandoli entro i limiti, previene la produzione di difetti. Con il controllo dello spessore del layer, dell'orientamento di stampa, delle strutture di supporto si può ottimizzare la strategia di scansione, senza tralasciare le successive operazioni (rimozione dei supporti, trattamento termico, finitura superficiale)^[3].

Analisi predittive, miglioramento della qualità e catena del valore

Reti neurali sono state impiegate per l'analisi predittiva nella modellazione, onde stabilire la correlazione tra parametri (temperatura, lunghezza del bagno) e proprietà dei componenti stampati^[4,5]. Il modello è stato ottimizzato per ricavare previsioni accurate su velocità del laser, distribuzione di temperatura, geometria finale dell'interfaccia gas/metallo.

Ford ha utilizzato la IA per migliorare qualità dei componenti stampati e sicurezza dei passeggeri. BMW ha impiegato la progettazione guidata per fabbricare componenti leggeri in metallo. Nel settore biomedicale tessuti e organi stampati con l'ausi-

lio della IA aprono le porte alla medicina rigenerativa. **L'impiego della IA impatta sull'intera catena del valore, comprese le fasi successive alla stampa. AUTOMAT3D (Post Process) è un software di post elaborazione in grado di gestire operazioni automatizzate, come rimozione dei supporti, di resina e polvere, o la finitura superficiale dei componenti.**

Il monitoraggio dello stato e la diagnosi della vita residua delle macchine mediante sensori intelligenti sono le basi della manutenzione predittiva, con cui si ottimizza l'uso delle stampanti, pianificando i tempi di manutenzione. Stanno comparando sistemi di esecuzione della manifattura (MES) in grado di gestire stampanti, inventario e operazioni post stampa, vista l'esigenza di massimizzare l'efficienza dell'intera linea.

In sintesi, si possono identificare quattro tecnologie^[6]:

- **metodi e strumenti digitali** costituenti l'infrastruttura per design e piano di produzione;
- **sistemi di controllo e sensoristici avanzati**;
- **algoritmi** a supporto delle decisioni

uomo-macchina;

- **modellizzazione e ottimizzazione del design.**

Conclusioni

L'integrazione della IA nei processi di manifattura additiva ha un alto potenziale. L'utilizzo di algoritmi di ML/DL basati su reti neurali semplifica la fase di design e simulazione della produzione, consente monitoraggio e controllo del processo di stampa in real-time, ottimizzando il consumo di materiale e rilevando anomalie di processo in tempo reale, intervenendo tempestivamente per mantenere il processo sotto controllo e migliorando l'efficienza di linea, a beneficio della qualità dei prodotti, di tempi e costi, così riducendo il time-to-market.

La IA è di supporto alla manutenzione predittiva. Nell'ottica di integrare soluzioni che ottimizzano l'intera catena, ulteriori benefici possono scaturire da: tecnologie di automazione che facilitino gli assemblaggi, migliore integrazione dei processi fisici con metodi di IA, trasparenza, interpretabilità e affidabilità dei dati prodotti dalla IA.

per info: giovanni.digirolamo@enea.it

Bibliografia

1. ENEA-PROMAS, "Relazione tecnica sull'andamento del progetto INSPIRATION - Integrate and Sustainable PProcesses and mAterials for smaRT ON demand laser additive manufacturing", Stato di avanzamento n.7 (2023), 1-147.
2. X. Xie, J. Bennett, S. Saha, Y. Lu, J. Cao, W.K. Liu, Z. Gan (2021), "Mechanistic Data-Driven Prediction of As-Built Mechanical Properties In Metal Additive Manufacturing", npj Computational Materials,7(1), 1-12.
3. N. Kladovasilakis, P. Charalampous, I. Kostavelis, D. Tzetzis, D. Tzovaras (2021), "Impact of Metal Additive Manufacturing Parameters on the Powder Bed Fusion and Direct Energy Deposition Processes: A Comprehensive Review", Progress in Additive Manufacturing,6, 349-365.
4. S. Liao, T. Xue, J. Jeong, S. Webster, K. Ehmann, J. Cao (2023), "Hybrid Thermal Modeling of Additive Manufacturing Processes Using Physics-Informed Neural Networks for Temperature Prediction and Parameter Identification", Computational Mechanics, 72, 499-512.
5. Q. Zhu, Z. Liu, J. Yan (2021), "Machine learning for metal additive manufacturing: predicting temperature and melt pool fluid dynamics using physics-informed neural networks", Computational mechanics, 67, 619-635.
6. Y. Xiong, Y.Tang, Q. Zhou, Y. Ma, D.W. Rosen (2022), "Intelligent additive manufacturing and design: state of the art and future perspectives", Additive Manufacturing, 59, 103139.

L'Osservatorio sottomarino di Smart Bay S. Teresa e il Digital Twin

Aumentare la conoscenza dell'Oceano e dei suoi ecosistemi per conservarli e ripristinarli nonché rendere tutte le informazioni acquisite facilmente accessibili a cittadini, gestori del territorio e stakeholders, rappresenta una delle più grandi sfide in corso. ENEA, grazie alle infrastrutture di ultima generazione per lo studio degli ambienti marini, alla modellistica e al *know-how* dei suoi ricercatori sta cercando di contribuire a questa rivoluzione nella conoscenza degli oceani generando dati che aiuteranno il Digital Twin Europeo degli Oceani.

DOI 10.12910/EAI2025-016

di Chiara Lombardi, Giancarlo Raiteri, Andrea Bordone, Tiziana Ciuffardi, Massimiliano Palma, Gianmaria Sannino, Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico - ENEA

L'oceano copre circa il 70% della superficie del pianeta e contiene circa il 97% di tutta l'acqua presente sulla Terra, svolge un ruolo centrale nella regolazione del sistema climatico terrestre ed ospita il più grande ecosistema terrestre da cui dipende la nostra vita sul pianeta e, dunque, anche il nostro futuro.

Conoscere, proteggere e limitare la perdita della biodiversità, oggi fortemente minacciata, è l'obiettivo della strategia dell'Unione Europea (UE) per la biodiversità¹ che mira a portare la biodiversità europea su un percorso di recupero entro il 2030. **Ecosistemi sani e biodiversi forniscono, se in buono stato, una serie di servizi (Servizi Ecosistemici - SE) essenziali quali regulation, provisioning, cultural e supporting, per cui il loro ripristino contribuisce ad un'ampia gamma di benefici socioeconomici, culturali, regionali e locali che superano di gran lunga i costi.**

Inoltre, la disponibilità di ecosistemi ricchi di biodiversità e la lotta al cambiamento climatico sono intrinsecamente collegate, così come

chiaramente indicato nella Nature Restoration Law² che mira ad armonizzare la conservazione della Natura in tutta l'UE. La Natura e le sue soluzioni (Nature Based Solution o NBS³) diventano alleati fondamentali contro la crisi climatica; il ripristino di habitat ed ecosistemi, e quindi garantire i loro SE contribuirà a limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C⁴, a rafforzare la resilienza e l'autonomia strategica dell'Europa, a prevenire i disastri naturali e a ridurre i rischi per la sicurezza alimentare.

Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory

Un rilevante flusso di dati, su scala temporale e spaziale, offre l'opportunità di trasformare il modo in cui studiamo e comprendiamo l'oceano ed i suoi ecosistemi. I progressi nella tecnologia dei sensori, nei dispositivi autonomi e nelle comunicazioni ci permettono di raccogliere Big Data dall'oceano in modo sempre crescente, opportunità che è stata ampliata grazie ai finanziamenti del Piano di Ripresa e Resilienza⁵ che hanno consentito il potenziamento di infrastrut-

ture di ricerca sul territorio nazionale. **Dal 2021, ENEA, CNR e INGV hanno istituito "Smart Bay S. Teresa" 6, ossia una piattaforma di cooperazione tra enti di ricerca che lavorano nell'area del Golfo di La Spezia, amministratori (Comune di Lerici) e piccole e medie imprese (Scuola di Mare e Cooperativa di Mitilicoltori Associati). "Smart Bay S. Teresa" è un laboratorio naturale di ricerca, tecnologia, turismo sostenibile e molluschicoltura, in cui gli attori collaborano per creare un modello di ecosistema Natura - Uomo per contrastare gli effetti del cambiamento climatico.** Tra i diversi progetti, Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory (Figura 1), realizzato grazie ai fondi PNRR^{7,8}, rappresenta un esempio di infrastruttura altamente tecnologica per lo studio dell'ambiente marino. Le stazioni di acquisizione dati, posizionate tra il Parco Naturale Regionale di Porto Venere e delle Isole e il Porto di La Spezia, sono dotate di sistemi di comunicazione basati sulla tecnologia dell'Internet of Underwater Things (IoUT) e sonde avanzate. I dati fisico-chimici (temperatura, ossigeno di-



Figura 1 - Schema di posizionamento delle stazioni dell'Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory previste entro 2026. Fonte: ENEA

sciolti, pH, conducibilità, corrente) sono acquisiti e trasmessi con una frequenza di 1 dato l'ora, validati con approcci analitici e campagne di misura settimanali e mensili condotti da ENEA. A termine dei PNRR (dicembre 2025/febbraio 2026), i dati dell'osservatorio saranno condivisi dalle piattaforme di progetto, resi disponibili alle infrastrutture Europee del territorio gestite da ENEA^{9,10} e nell'ambito del National Biodiversity Future Centre¹¹ per la conservazione, il ripristino di ecosistemi marini chiave e per la realizzazione di NBS¹².

Modellistica marino costiera

I dati raccolti dall'osservatorio sottomarino renderanno la conoscenza del Golfo di La Spezia fruibile a cittadini, imprenditori, scienziati e responsabili politici. Queste conoscenze aiuteranno a progettare efficacemente il territorio, grazie anche al supporto della modellistica marina e costiera.

Grazie, infatti, al modello sviluppato in ENEA e denominato MITO, che fornisce previsioni orarie sulla circolazione nel Mar Mediterraneo, sarà possibile accedere a dati essenziali come temperatura, salinità e corren-

ti. Questi elementi sono fondamentali per analizzare le dinamiche degli ecosistemi costieri e valutare i potenziali effetti dei cambiamenti climatici. MITO è basato sulla versione idrostatica del modello di circolazione generale del Massachusetts Institute of Technology (MITgcm). Utilizza 100 livelli verticali e una griglia orizzontale con una risoluzione uniforme di $1/48^\circ$

(circa 2 km) sulla maggior parte del dominio. In quattro aree specifiche, la risoluzione è ulteriormente aumentata per rappresentare accuratamente le dinamiche locali: lo Stretto di Gibilterra con una risoluzione fino a $1/800^\circ$ (circa 120 m), Dardanelli e Bosforo con una risoluzione fino a $1/250^\circ$ (circa 380 m), e l'Isola di Pantelleria con una risoluzione di 460 metri. Nel 2025 è prevista l'inclusione di ulteriori aree a più alta risoluzione, come l'Isola di Lampedusa, sede di uno degli Osservatori climatici di ENEA, e del Golfo di La Spezia. Le previsioni del modello MITO^{13,14}, consultabili pubblicamente sul portale ENEA Climaweb (<https://climaweb.enea.it/it/mito-it/>) (Figura 2), saranno un prezioso strumento di supporto per il monitoraggio e la gestione del Golfo di La Spezia. Forniranno, inoltre, previsioni a breve termine utili per la pianificazione delle attività e la previsione di eventuali eventi meteo-marini avversi.

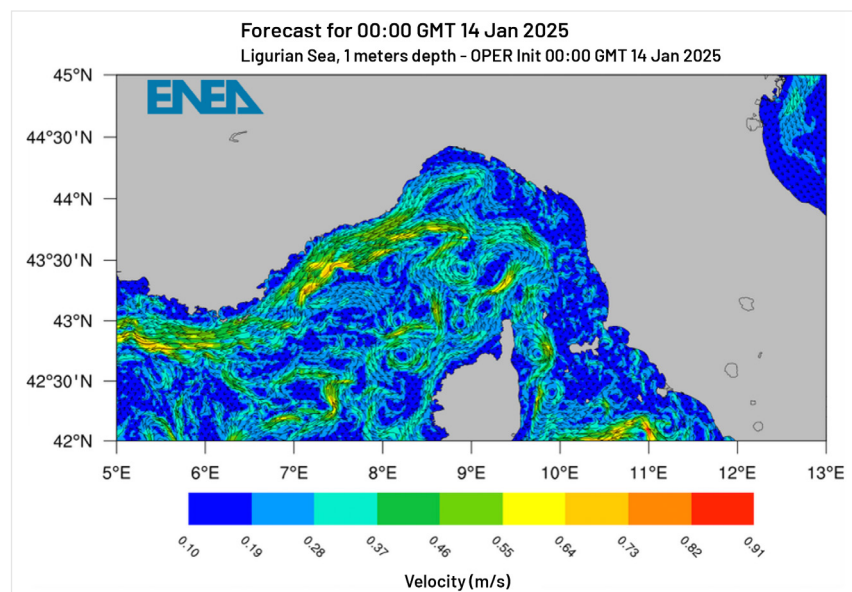


Figura 2- Correnti superficiali come simulate dal sistema operativo MITO di Enea per il Mar Ligure. Fonte: <https://climaweb.enea.it/it/mito-it/>

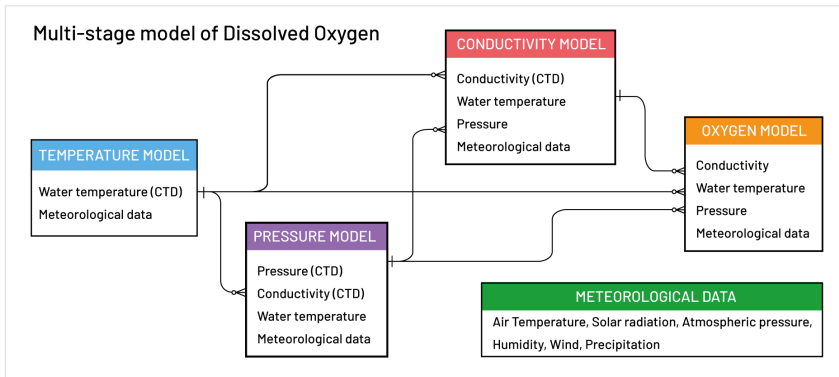


Figura 3- Diagramma schematico dell' modello "multi-stage" utilizzato per calcolare la concentrazione di ossigeno disciolto (DO) e basato su modelli di regressione applicati ad altre variabili quali temperatura dell'acqua, pressione, conducibilità, insieme a dati metereologici. Fonte: Ferri et al. 2024

Intelligenza Artificiale e Digital Twin

I Big Data ottenuti dall'Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory trovano inoltre applicazione nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale, in particolare del Deep Learning, che permette di studiare la qualità del dato acquisito. Modellare le molteplici componenti dell'oceano, fornire conoscenza e comprensione del passato e del presente e creare previsioni attendibili del suo comportamento futuro sono gli obiettivi del Digital Twin Europeo degli Oceani (DTO) ¹⁵. Generare un gemello digitale dell'os-

servatorio, creato utilizzando dati acquisti in tempo reale, permette di rappresentare digitalmente il presente, generare modelli numerici e soprattutto simulare possibili scenari futuri. Questo è l'obiettivo di "Smart-Twin: Oxygen Digital Twin di Smart Bay S. Teresa", progetto finanziato dalla Fondazione CRT Torinese all'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM) e in partenza nel febbraio 2025. L'obiettivo del progetto è quello di sviluppare un gemello digitale dei dati di ossigeno disciolto (DO) ¹⁶, considerando tutte le diverse stazioni dell'osservatorio e le variabili

fisico chimiche misurate, per valutare la qualità del dato acquisito e fare previsioni in tempo reale di un parametro essenziale per la sopravvivenza di ecosistemi marini, tra cui i reef a mitili. Attraverso il Machine Learning e Deep Learning, finalizzati a risolvere anomalie ed effettuare previsioni a corto e medio termine (fino a qualche giorno), il progetto mira a generare una descrizione dettagliata in ogni stazione del Golfo, creando un'infrastruttura per la gestione dei dati (Figura 3).

Conclusione

La tecnologia dell'Underwater Smart Bay S. Teresa Observatory, la modellistica marina costiera e il Digital Twin renderanno la conoscenza del Golfo di La Spezia più accessibile a cittadini, imprenditori, scienziati e decisori politici. Questo insieme di strumenti innovativi a supporto dei processi decisionali permetterà di identificare strategie più efficaci per il ripristino di habitat marini e costieri, promuovere un'economia blu sostenibile e mitigare gli effetti del cambiamento climatico.

per info: chiara.lombardi@enea.it

Referenze

1. EU Biodiversity Strategy 2023: https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
2. Nature Restoration Law: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1722240349976>
3. Nature Based Solutions: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en
4. IPCC: <https://www.ipcc.ch>
5. Piano Di Ripresa e Resilienza: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
6. Smart Bay Santa Teresa: <https://smartbaysteresa.com>
7. PNRR-IR “EMBRC-UP – Unlocking the Potential for health and Food from the seas”: <https://www.szn.it/index.php/it/ricerca/programmi-e-progetti-di-ricerca/progetti-strategici-nazionali/embrc-unlocking-the-potential-for-health-and-food-from-the-seas---embrc-up>
8. PNRR Ecosistema dell’Innovazione Regione Liguria “RAISE – Robotics and AI for Socio-economic Empowerment: <https://www.raiseliguria.it>
9. Rete LTER: https://www.lteritalia.it/wordpress/?page_id=369
10. EMBRC-IT, S. Teresa Marine Environment Research Centre ENEA: <https://embrc.it/en/agenzia-nazionale-per-le-nuove-tecnologie-lenergia-e-lo-sviluppo-economico-sostenibile-en/>
11. National Biodiversity Future Centre (NBFC): <https://www.nbfc.it/en>
12. E. Salvatori E., et al. (2024), “Soluzioni basate sulla natura per la rigenerazione e l’adattamento climatico di città e territori”, *Energia Ambiente Innovazione*, DOI 10.12910/EAI2025-057
13. Napolitano E., Iacono R., Palma M., Sannino G., Carillo A., Lombardi E., Pisacane G., Struglia M.V. MITO: A new operational model for the forecasting of the Mediterranean sea circulation (2022). *Frontiers in Energy Research*, 10, art. no. 941606. DOI: 10.3389/fenrg.2022.941606
14. Palma, M., Iacono, R., Sannino, G., Bargagli, A., Carillo, A., Fekete, B.M., Lombardi, E., Napolitano, E., Pisacane, G., Struglia, M.V., 2020. Short-term, linear, and non-linear local effects of the tides on the surface dynamics in a new, high-resolution model of the Mediterranean Sea circulation. *Ocean Dynam.* 70 (7), 935–963. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01364-6>.
15. European Digital Twin of the Ocean - https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/restore-our-ocean-and-waters/european-digital-twin-ocean-european-dto_en
16. V. Ferri et al. (2024), “Multi-stage model for dissolved oxygen monitoring of coastal seawater”, In *Proceedings of 2024 IEEE International Workshop on Metrology for the Sea (MetroSea)*, 14–16 October 2024, Portorose, Slovenia, IEEE Catalogue Number: CFP-24P82-USB, ISBN: 979-8-3503-7899-3

IA per l'ottimizzazione di molecole terapeutiche e di trattamenti medici di precisione

L'IA sta rivoluzionando la medicina e le biotecnologie, migliorando l'efficacia terapeutica e accelerando la ricerca di nuovi farmaci. L'ENEA è in prima linea in questo cambiamento, concentrandosi sull'uso dell'IA per ottimizzare trattamenti cardiologici e oncologici e per lo screening di molecole terapeutiche. In questi ambiti, l'IA contribuisce a rendere i protocolli più precisi, economici e, quindi, sostenibili, segnando un progresso significativo per la ricerca e l'applicazione clinica. Questo articolo esplora gli aspetti più significativi della ricerca svolta da ENEA e le loro implicazioni per affrontare le sfide del futuro per il miglioramento della qualità di vita.

DOI 10.12910/EAI2025-017

di Nicolò Colistra, Francesca Camera, Paolo Roberto Saraceni, Arianna Casciati, Mirella Tanori, Caterina Arcangeli, Caterina Merla, Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Laboratorio Biotecnologie Red - ENEA (*)

L'intelligenza artificiale (IA) non è più solo una tecnologia del futuro: oggi, le sue applicazioni stanno trasformando numerosi settori, tra cui quello biologico, medico e biotecnologico. Un'area in cui l'IA dimostra un potenziale eccezionale è l'ottimizzazione di protocolli complessi che richiedono la gestione contemporanea di numerosi parametri. In questo contesto, la Divisione Biotecnologie del Dipartimento di Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT), sta conducendo ricerche per migliorare le tecnologie esistenti con un duplice obiettivo: ottimizzare l'efficacia terapeutica e promuovere soluzioni sostenibili in termini di risparmio di risorse.

In particolare, l'attività di ricerca riguarda due aree distinte ma accomunate dall'approccio innovativo. Da una parte vi è l'ottimizzazione di tecnolo-

gie terapeutiche basate su impulsi elettrici ultra-brevi, con applicazioni che spaziano dal trattamento di aritmie cardiache a quello di specifiche patologie oncologiche. Dall'altro lato, ENEA utilizza l'IA per lo screening di molecole d'interesse terapeutico e per lo sviluppo di molecole bioattive, un campo di grande importanza nella

ricerca farmacologica.

Il continuo sviluppo e l'integrazione dell'IA nella ricerca biomedica e biotecnologica sta avendo quindi un ruolo significativo nell'offrire soluzioni sanitarie precise, personalizzate ed economicamente più accessibili. Grazie a una riduzione di tempi e costi delle procedure, l'IA contribu-

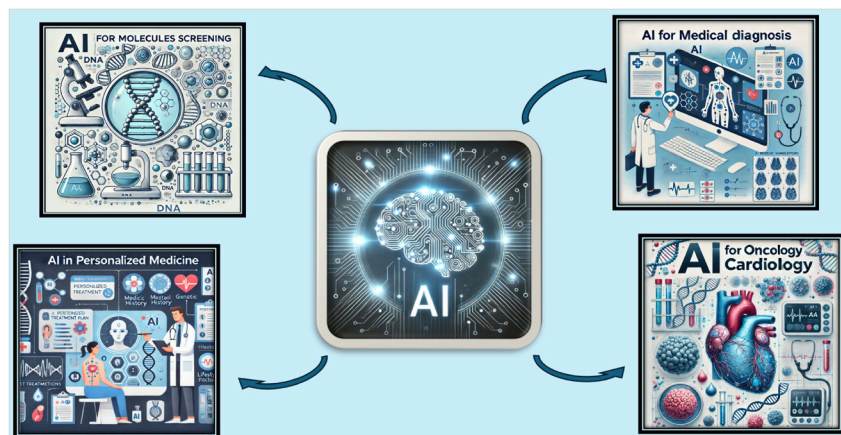


Figura 1. Rappresentazione dei settori di utilizzo dell'IA in ambito biomedico e biotecnologico. La ricerca dell'ENEA si focalizza nell'ottimizzazione di protocolli terapeutici e nello screening di molecole.

isce alla sostenibilità complessiva dei sistemi sanitari. Questo articolo esplora gli aspetti più significativi della ricerca svolta da ENEA e le loro implicazioni per affrontare le sfide del futuro per il miglioramento della qualità di vita.

IA per l'ottimizzazione di parametri nei trattamenti cardiaci e oncologici basati su segnali elettrici pulsati ultra-brevi

L'ablazione cardiaca basata su impulsi elettrici ultra-brevi è una modalità innovativa che utilizza l'erogazione di impulsi elettrici tramite elettrodi per rimuovere il tessuto aritmogeno, riducendo il rischio di danneggiare i tessuti sani circostanti. Tuttavia, l'efficacia del trattamento dipende da una vasta gamma di parametri, come il tipo e il posizionamento degli elettrodi, l'ampiezza del segnale, la durata degli impulsi, il numero di impulsi e l'area ablata. La scelta dei parametri ottimali basata esclusivamente su esperimenti tradizionali risulta impraticabile. **In questo contesto, l'IA permette la predizione dei parametri ottimali tramite l'elaborazione di una gran mole di dati** in modo economico, rapido e sostenibile, riducendo significativamente la necessità di sperimentazioni prolungate e costose. **L'ENEA ha implementato diverse tecniche di IA, concentrandosi in particolare sul deep learning [1], [2].**

Studi comparativi hanno analizzato reti neurali progettate per ottimizzare un singolo parametro e quelle in grado di gestirne molti contemporaneamente. I risultati sono stati molto promettenti: i modelli multi-parametrici si sono dimostrati molto efficaci nell'accelerare il processo di ottimizzazione, e, grazie alla loro versatilità e praticità, offrono un grande potenziale per il trasferimento in ambito clinico.

L'IA trova applicazione anche in ambito oncologico. L'elettrochemioter-

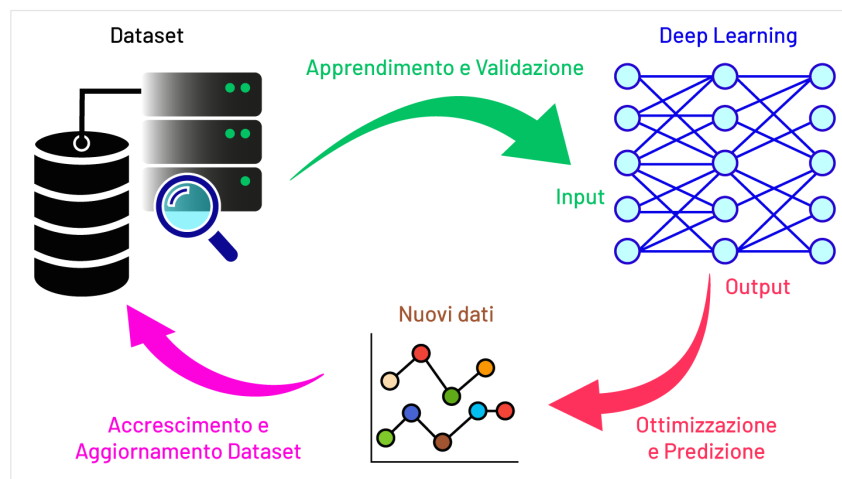


Figura 2. Diverse fasi del processo di ottimizzazione tramite IA. Dal dataset di partenza (ad esempio costituito da configurazioni molecolari che cambiano nel tempo o da tabelle di parametri dei protocolli terapeutici) si modella il problema da ottimizzare; l'output del modello determina i parametri ottimizzati che descrivono in modo predittivo il processo; il tutto concorre all'accrescimento del dataset iniziale che, se correttamente aggiornato, contribuirà, a sua volta, al miglioramento del processo di predizione e ottimizzazione.

rapia è un trattamento volto a potenziare l'efficacia della chemioterapia utilizzando impulsi elettrici per rendere le cellule cancerose più permeabili, favorendo quindi l'ingresso del chemioterapico. **L'ENEA, nell'ambito delle sue ricerche, ha sviluppato un approccio alternativo che combina l'uso degli impulsi elettrici con la radioterapia, uno dei "gold-standard" tra i trattamenti oncologici.** È stato infatti dimostrato che l'applicazione di impulsi elettrici seguiti dalle radiazioni ionizzanti (raggi X) ne aumenta l'efficacia, con il vantaggio di ottenere lo stesso effetto terapeutico ma riducendo le dosi di radiazione ionizzante da somministrare [3]. L'ottimizzazione di questi protocolli per la terapia combinata è uno dei principali obiettivi della ricerca condotta dall'ENEA, in particolare per adattare i trattamenti a diversi tipi di tumori che presentano specifiche caratteristiche molecolari. Tra le altre variabili da ottimizzare vi sono le tempistiche dei trattamenti (ovvero l'intervallo che deve intercorrere tra l'applicazione gli impulsi elettrici e le radiazioni) e l'individuazione

delle dosi ottimali delle radiazioni stesse. Anche in questo contesto, gli algoritmi di IA basati sul deep learning, grazie alla loro capacità di analizzare grandi quantità di dati, si sono rivelati uno strumento prezioso, per l'ottimizzazione dei parametri in ogni specifico caso, aprendo la strada a trattamenti oncologici più personalizzati ed efficaci.

IA per lo screening di molecole terapeutiche

L'IA si sta affermando anche nel settore farmaceutico nell'identificazione di nuove molecole terapeutiche, ovvero molecole in grado di riconoscere, legare e attivare o inibire un determinato bersaglio cellulare. Di solito, il processo di screening è complesso, lungo e costoso, poiché si basa principalmente su un elevato numero di esperimenti di laboratorio. Sebbene tecniche computazionali come il "docking" molecolare e la dinamica molecolare, che simulano rispettivamente le diverse configurazioni di legame tra le molecole e le loro interazioni nel tempo, siano un

valido supporto, non sempre riescono a rappresentare adeguatamente la complessità e la variabilità delle interazioni reali [4], [5], [6].

Una strategia adottata in ENEA per superare tali limitazioni consiste nell'integrazione dell'IA con queste tecniche di simulazioni in silico. Queste simulazioni avanzate permettono di generare milioni di diverse configurazioni dell'interazione tra la molecola terapeutica e il bersaglio cellulare. **L'IA viene impiegata per analizzare l'enorme quantità di dati generata, e, grazie a modelli avanzati, come**

il "machine learning" geometrico, è possibile prevedere con precisione come le molecole si legano tra loro, analizzare le variazioni della loro struttura e identificare le condizioni ottimali per un'interazione molecolare efficace. Questo approccio computazionale, efficace nell'identificazione delle molecole più promettenti, permette di ridurre la sperimentazione necessaria per la validazione finale di una possibile molecola terapeutica. In questo modo, l'IA non solo accelera il processo di scoperta di nuove molecole e quindi di farmaci, ma ne

migliora la precisione d'azione, contribuendo allo sviluppo di trattamenti più mirati, sicuri ed efficaci.

(*) Collaborazioni: Dipartimento di Ingegneria per l'Innovazione (Università del Salento, Lecce, LE), IGEA S.p.A. (Carpi, MO), Takis s.r.l. (Roma, RM) nell'ambito del Joint Lab "Match" di Rome Technopole (ECS 0000024 CUP.B83C22002820006, PNRR Mission 4 Component 2 Investment 1.5, funded by European Union – NextGenerationEU)

per info: caterina.merla@enea.it

Bibliografia

1. M. Zappatore, et al., IEEE Microw. Mag., vol. 22, no. 9, pp. 42–59, Sep. 2021, doi: 10.1109/MMM.2021.3086316.
2. A. De Cillis, et al., IEEE J. Electromagn. RF Microw. Med. Biol., vol. 8, no. 3, pp. 220–228, Sep. 2024, doi: 10.1109/JERM.2024.3378573.
3. M. Tanori et al., Int. J. Radiat. Oncol., vol. 109, no. 5, pp. 1495–1507, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ijrobp.2020.11.047.
4. C. Arcangeli, et al., Int. J. Nanomedicine, vol. 14, pp. 10123–10136, Dec. 2019, doi: 10.2147/IJN.S225793.
5. G. Innamorati, et al., J. Biomol. Struct. Dyn., vol. 41, no. 5, pp. 1586–1602, Mar. 2023, doi: 10.1080/07391102.2021.2023642.
6. C. Lico et al., Int. J. Mol. Sci., vol. 22, no. 19, Art. no. 19, Jan. 2021, doi: 10.3390/ijms221910523.

Il futuro dei beni culturali: i Digital Twin e la nuova frontiera della transizione digitale

Il patrimonio culturale globale sta attraversando una trasformazione radicale grazie all'adozione di tecnologie digitali avanzate. In particolare, i digital twin (DT), modelli tridimensionali che replicano fedelmente oggetti e luoghi del patrimonio, stanno emergendo come strumenti strategici per la protezione, conservazione e valorizzazione dei beni culturali. Il futuro dei beni culturali è segnato dalla transizione digitale, con i Digital Twin come modelli 3D dinamici che consentono la gestione avanzata del patrimonio artistico aprendo nuove opportunità per la tutela, la conservazione e la valorizzazione.

DOI 10.12910/EAI2025-018

di Marialuisa Mongelli, Gianluca Calabretta, Direzione Transizione Digitale e Protezione Dati, Giovanni Ponti, Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT - ENEA

Il patrimonio culturale globale sta attraversando una trasformazione radicale grazie all'adozione di tecnologie digitali avanzate. In particolare, i digital twin (DT), modelli tridimensionali che replicano fedelmente oggetti e luoghi del patrimonio, stanno emergendo come strumenti strategici per la protezione, conservazione e valorizzazione dei beni culturali. Le tecnologie abilitanti, come la realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR), insieme all'intelligenza artificiale (IA) e all'Internet of Things (IoT), stanno ampliando le possibilità di interazione, analisi e monitoraggio dei beni culturali. Questi strumenti permettono di creare esperienze immersive, di migliorare la precisione nella diagnosi dello stato di conservazione e di ottimizzare gli interventi di salvaguardia e restauro.

È evidente che la definizione di standard per la comunicazione e l'accessibilità dei dati è cruciale per garan-

tire interoperabilità e inclusività per una gestione efficace, condivisa e sostenibile del patrimonio culturale.

Questa breve memoria vuole porre in evidenza come queste tecnologie, se adottate su larga scala, possano rivoluzionare la gestione dei beni artistici, mobili e immobili, creando ecosistemi digitali nei quali l'accesso ai dati, la protezione della ownership e la condivisione tramite open data diventano essenziali. Sebbene le tecnologie digitali stiano velocemente diffondendosi, il loro potenziale per supportare il futuro della conservazione del patrimonio è innegabile, ponendo le basi per un nuovo paradigma di gestione e fruizione digitale del patrimonio culturale. I DT vanno intesi come rappresentazioni virtuali dinamiche di oggetti fisici o sistemi, che integrano dati in tempo reale e modelli digitali per l'analisi dello stato di conservazione dei beni, il monitoraggio evolutivo e la programmazione degli interventi manutentivi. In

prospettiva, l'IA attraverso algoritmi avanzati di machine learning e analisi predittiva, potrà essere utilizzata per ottimizzare questi processi, permettendo una gestione più mirata del patrimonio artistico nel tempo.

Interoperabilità e DT

Con il termine interoperabilità s'intende la capacità di sistemi che, anche se sviluppati da soggetti diversi o basati su tecnologie, applicazioni ed expertise differenti, sono in grado di lavorare insieme nella logica dell'accesso condiviso. In campo beni culturali, questo significa che gli attori coinvolti, possono collaborare facilmente, accedendo alle stesse informazioni, condividendo dati tra piattaforme digitali (GIS, HBIM, sistemi IoT, ecc.). **A tal fine, è indispensabile utilizzare standard comuni** per rappresentare e archiviare informazioni e integrare diversi tipi di dati, come modelli 3D, dati storici, immagini, misure sperimentali provenienti

da una molteplicità di sensori per il monitoraggio ambientale e strutturale, analisi chimiche, ecc. al fine di monitorare criticità e pianificare interventi manutentivi. **La riduzione dei costi è un altro vantaggio significativo dell'interoperabilità**, poiché, riutilizzando dati e modelli esistenti, si riduce il bisogno di creare tutto da zero, ottimizzando risorse e tempi. Inoltre, le esperienze interattive, come la realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR), rendono i contenuti più accessibili e coinvolgenti, migliorando le applicazioni per il turismo culturale e permettendo una fruizione su dispositivi diversi.

Un elemento cruciale nell'interoperabilità è rappresentato dalla sicurezza e protezione dei dati, specialmente quando si condividono informazioni sensibili. L'adozione di protocolli sicuri e meccanismi di autenticazione robusti garantisce che l'accesso e lo scambio dei dati siano controllati e protetti. Infine, l'interoperabilità supporta la creazione di ecosistemi digitali sostenibili e resilienti, promuovendo la collaborazione tra enti pubblici, privati, istituzioni culturali e comunità locali per garantire una gestione integrata e partecipativa del patrimonio culturale.

Il progetto D-TECH

Il progetto D-TECH (Digital-Twin Environment for Cultural Heritage), finanziato dalla Regione Lazio (BUR - N. 99 del 21/10/2021) nell'ambito della seconda fase dei progetti del Distretto Tecnologico per le nuove tecnologie applicate ai beni e alle attività culturali, ha raggiunto con successo l'obiettivo di sviluppare una piattaforma multimediale avanzata, rivolta ai gestori dei beni culturali.

Questa piattaforma offre servizi innovativi per la gestione, la condivisione e la valorizzazione, via web, di copie digitali di beni culturali mobili e im-

mobili. L'uso quotidiano delle nuove tecnologie per il rilievo 3D nella fase di conoscenza e diagnostica del patrimonio culturale ha messo in luce un forte disallineamento tra l'effettiva capacità tecnologica di cui i gestori dei beni culturali dispongono e le continue innovazioni hardware e software che riguardano il mondo dell'ICT. In questo scenario, **il progetto D-TECH ha portato alla realizzazione di un prodotto innovativo, che trova applicazione in un'ampia varietà di contesti e settori, offrendo alle imprese opportunità di business significative.** La piattaforma sviluppata è progettata per gestire l'intero ciclo di vita del contenuto culturale, coprendo tutte le fasi della "catena del valore" (conoscenza, diagnostica, conservazione, restauro, valorizzazione, godimento e gestione). Questa soluzione consente la pubblicazione online di modelli 3D, HBIM, nuvole di punti e dati GIS, e offre strumenti avanzati per il monitoraggio, la pianificazione, la fruizione e la valorizzazione del patrimonio culturale, a partire dalle sue

copie digitali. La piattaforma completamente definita all'interno dei sistemi di calcolo HPC CRESCO dell'ENEA, ha, infatti, una struttura modulare costituita da componenti dockerizzati collegati tra loro, uno dei quali è il software che consente ai dati di poter dialogare, secondo una struttura semantica che, grazie all'ontologia, è in grado di stabilire relazioni con altri database, come ad esempio quello del progetto "Anagrafe" del DTC Lazio. I modelli 3D e i dati presenti in D-TECH sono interconnessi tramite questa struttura semantica comune, garantendo un'efficace gestione dei dati. In linea con gli obiettivi del bando, il progetto ha realizzato una piattaforma web-based (Figura 1) che rappresenta un forte incentivo alla digitalizzazione del patrimonio culturale e un avanzamento significativo nel settore ICT. Accanto alla piattaforma, la cui componente di base è completamente Open Source, l'impresa e i partner del progetto possono offrire una serie di servizi avanzati, disponibili secondo la logica del pay-per-use che includo-

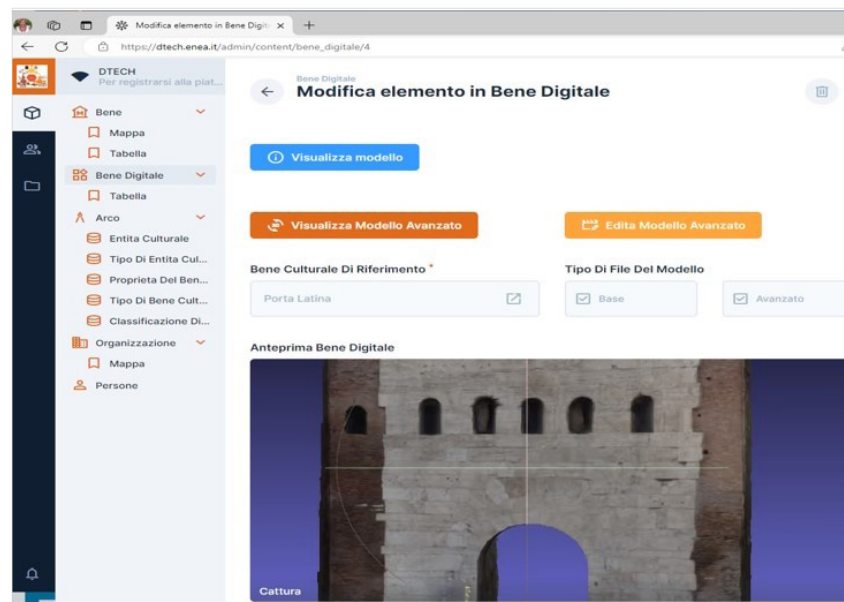


Figura 1: Pagina web di accesso alla piattaforma D-TECH; Fonte: elaborazione ENEA

no la digitalizzazione e l'archiviazione dei beni culturali, strumenti di analisi avanzata dei modelli 3D, e applicazioni mobili per la creazione di progetti personalizzati di Realtà Virtuale e Aumentata (Figura 2).

Conclusioni e futuri sviluppi

Il progetto D-TECH ha evidenziato le notevoli potenzialità dei DT, nel campo del patrimonio culturale, ma ha anche portato in luce le sfide che sarà necessario affrontare in futuro. Tra queste, la standardizzazione dei dati, l'eterogeneità dei sistemi, la conservazione digitale e le problematiche legate alla sicurezza e privacy rappresentano ostacoli significativi. **Superare tali difficoltà richiede un forte impegno nell'adozione di standard comuni, nello sviluppo di piattaforme aperte e nell'implementazione di tecnologie sicure, in grado di garantire un'interoperabilità fluida e una gestione integrata del patrimonio culturale.** In prospettiva, i DT e l'Heritage Building Information Modeling (HBIM) offrono straordinarie

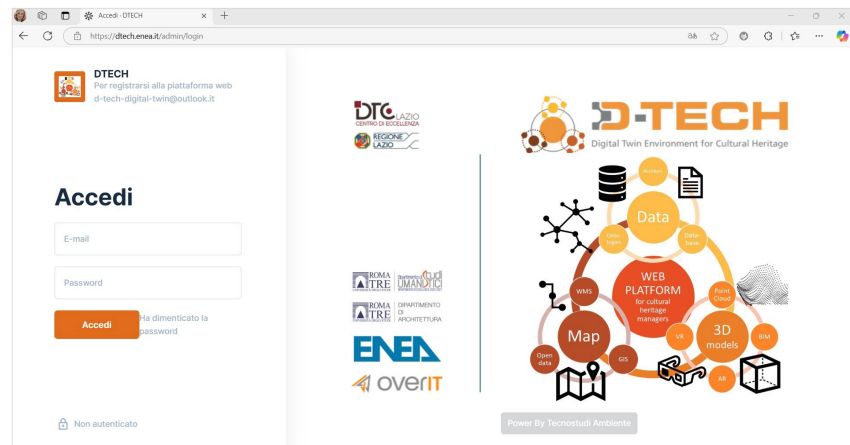


Figura 2: Layout dell'interfaccia della piattaforma D-TECH; Fonte: elaborazione Università Roma TRE Dip. Architettura

opportunità per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio. Tuttavia, il loro utilizzo è ancora in fase di sviluppo e necessita di un ulteriore approfondimento.

L'Intelligenza Artificiale (IA), sebbene non ancora pienamente integrata, si presenta come un alleato fondamentale per ottimizzare la gestione, il monitoraggio e gli interventi di restauro, grazie alle sue capacità di

analisi avanzate e automazione. In sintesi, l'integrazione delle tecnologie digitali, unitamente alla risoluzione delle sfide legate alla standardizzazione, alla sicurezza dei dati, alla protezione e all'ownership dei dati, costituirà la chiave per il futuro della conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale.

per info: marialuisa.mongelli@enea.it

Bibliografia

1. Mongelli M. et al. (2022), "Bernini's Bust Portrait of Pope Alessandro VII Chigi at Corsini Gallery in Rome: Improving Knowledge Using Digital Technologies", Handbook of Cultural Heritage Analysis. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60016-7_66, pp.1896-1911, D'Amico, S., Venuti, V. (eds).
2. Puccini M. et al. (2022), A. Camassa., M Mongelli, S. Pierattini, S. Migliori, M. Canciani, Gi. Spadafora, M. Saccone, Integrated Survey and 3D Processing on Enea CRESCO Platform: the Case Study of San Nicola in Carcere in Rome, Journal of Physics. Conference Series», n. 2204, pp. 6 (<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2204/1/012101/pdf>).
3. Canciani M et al. (2020), "Modelli 3D e dati GIS: una loro integrazione per lo studio e la valorizzazione dei beni culturali", Archeomatica, n°2 giugno, pp.18-23, DOI: <https://doi.org/10.48258/arc.v11i2.1749>.
4. Caponero M. et al.(2020), "Structural monitoring of the Ninfeo Ponari by fibre optic sensors, photogrammetry and laser scanning", Archeologia e Calcolatori, 31.2, pp. 223-232, doi 10.19282/ac.31.2.2020.21.

In Italia l'IA è in forte crescita, +34% nel 2024

Il settore dell'Intelligenza artificiale in Italia è in forte crescita, con un mercato che nel 2023 ha raggiunto i 674 milioni di euro, in aumento del 55% rispetto al 2022, e con stime che prevedono un incremento del tasso di crescita del 34,8% fino a raggiungere 909 milioni di euro nel 2024, 1,474 miliardi nel 2026 e 1,802 miliardi nel 2027. Il più sviluppato è il settore bancario mentre resta contenuto l'impiego nella Pubblica Amministrazione. A livello globale dominano gli USA.

DOI 10.12910/EAI2025-019

di Laura Moretti, Unità Relazioni e Comunicazione - ENEA

In Italia il settore dell'Intelligenza artificiale è in forte crescita, con un mercato che nel 2023 ha raggiunto i 674 milioni di euro, in aumento del 55% rispetto al 2022, e con stime che prevedono un incremento del tasso di crescita del 34,8% fino a raggiungere 909 milioni di euro nel 2024, 1,474 miliardi nel 2026 e 1,802 miliardi nel 2027. È quanto emerge dal Report ¹ "Il Mercato dell'IA in Italia" curato da Anitec Assinform², l'Associazione italiana per l'information and Communication Technology, che fornisce un quadro delle prospettive future del settore dell'intelligenza artificiale anche dal punto di vista internazionale, con i settori strategici, gli investimenti, le tecnologie e il ruolo dell'industria.

Tra i settori più avanzati nell'adozione di tecnologie IA figurano banche, industria manifatturiera, telecomunicazioni, industria e sanità, offrendo opportunità significative sia per le grandi aziende che per le PMI, che possono trarre vantaggio dalla mag-



giore accessibilità delle tecnologie. Il settore bancario è il più sviluppato (173,6 milioni), mentre nella Pubblica Amministrazione l'impiego dell'IA resta contenuto (35,9 milioni nella Pubblica Amministrazione Centrale e 11,6 milioni nella Pubblica Amministrazione Locale³). **Il Report mette anche in evidenza le principali sfide da affrontare: oltre al divario dimen-**

sionale si registrano carenze in aree fondamentali come infrastrutture, istruzione e competenze digitali.

IA in grado di influenzare in modo significativo l'economia e la competitività

L'IA generativa è sempre più diffusa, adottata dal 75,9% delle aziende - prevalentemente grandi imprese -

¹ Lo studio è disponibile in versione integrale al seguente link <https://www.anitec-assinform.it/pubblicazioni/policy-paper/il-mercato-dell-ia-in-italia.kl>.

² Anitec-Assoinform è l'associazione di settore che raggruppa le principali imprese dell'ICT che operano in Italia.

³ Fonte: NetConsulting cube

tuttavia, il 22° posto nel ranking dell'AI Index dell'Università di Stanford ne evidenzia un potenziale ancora da esprimere.

Secondo lo studio l'IA è un settore strategico e in grado di influenzare in modo significativo l'economia e la competitività dei Paesi e delle aziende che la adottano, le stesse aziende che nel 2023 hanno accelerato nell'adozione dell'IA generativa, trainando il settore e facendo registrare un tasso di penetrazione del 32,5% per le grandi imprese e del 7,7% per le PMI.

Per quanto riguarda il mondo delle start-up, secondo il Report, su 644 start-up e PMI innovative nel filone ICT "digital enabler"⁴, il 47% opera

nell'IA e Machine Learning, con una maggiore concentrazione nelle grandi città: **Milano guida la classifica (157 imprese), seguita da Roma (85), Torino (33) e Napoli (30).**

Secondo l'AI Index Report 2024 pubblicato dalla Stanford University nel 2023, a livello globale gli Stati Uniti dominano il panorama degli investimenti dei fondi privati in IA, con 67,2 Mld\$ nel 2023 (+22,1%), un valore quasi dieci volte superiore a quello della Cina, dove questi investimenti hanno subito un calo del 44,2%; seguono Unione Europea e UK. Sebbene gli investimenti privati in IA abbiano registrato una flessione globale per il secondo anno consecutivo (-7,2% nel

2023), il numero di startup nel settore è aumentato del 40%.

Lo studio evidenzia l'importanza di una strategia integrata per accelerare lo sviluppo dell'Intelligenza Artificiale (IA) in Italia che dovrebbe basarsi su tre pilastri fondamentali: la promozione delle competenze digitali, la formazione diffusa, l'accesso alle infrastrutture e il loro potenziamento per il supporto alla ricerca, politiche industriali mirate e rafforzamento delle collaborazioni pubblico-private per creare un ecosistema favorevole all'innovazione e allo sviluppo tecnologico.

per info: laura.moretti@enea.it

⁴ Il perimetro del "macro-filone" digital enabler ricomprende le start-up e PMI innovative in ambito ICT che operano nei seguenti filoni tecnologici: AI e Machine Learning, Mobile app, Big Data & Data Science, Blockchain, Cloud, Social science, Cybersecurity & Crypto, Agile development.

Le applicazioni della Blockchain al servizio di territori e infrastrutture

La Divisione “strumenti e servizi per le Infrastrutture Critiche e le Comunità Energetiche” (TERIN-ICER) fonda il proprio approccio metodologico nello sviluppo di soluzioni digitali innovative per supportare il conseguimento degli obiettivi di transizione energetica e digitale. In tale contesto la Divisione ha avviato alcune progettualità innovative basate su tecnologia Blockchain. In particolare, un prototipo di Local Token Economy per le Comunità Energetiche che si prefiggono lo scopo di incrementare gli impatti economici e sociali in ottica Smart Communities; la resilienza delle Infrastrutture Critiche ed i territori attraverso la mitigazione e recupero dei servizi; la trasparenza e la sicurezza nella gestione dei dati dell'infrastruttura di pubblica illuminazione dei comuni italiani.

DOI 10.12910/EAI-2025-025

di Laura Blaso, Gianluca D'Agosta, Gilda Massa, Claudia Meloni, Fabio Moretti, Stefano Pizzuti, Maurizio Pollino, Alberto Tofani - ENEA

Lo strumento Local Token Economy (LTE) è un'innovativa piattaforma web-based, progettata e sviluppata all'interno del Accordo di Programma ENEA - MASE “Ricerca di Sistema Elettrico”, progetto 1.7 Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali. La piattaforma sviluppa modelli avanzati per la gestione delle risorse locali. Il cuore del sistema è rappresentato da un marketplace che sfrutta tecnologie di frontiera come le **Distributed Ledger** tra cui la **blockchain**, per creare un ecosistema digitale che coniughi **sostenibilità ambientale, economica e sociale**. Questo strumento è pensato per supportare le comunità locali, gli enti pubblici e le reti territoriali nello sviluppo di modelli di economia circolare, promuovendo la resilienza e la crescita sostenibile dei territori.

Gli obiettivi di innovazione dello strumento LTE sono la ricerca tecnologica avanzata e lo sviluppo di Smart Energy Community, che sono comu-

nità in grado di gestire il proprio fabbisogno energetico in maniera attiva. A livello tecnologico, il tool LTE rappresenta un punto di convergenza tra diverse componenti innovative:

1. Ambiente front-end user-friendly: una piattaforma interattiva che consente agli utenti di accedere facilmente al marketplace e tenere traccia dei

loro scambi di beni e servizi.

2. Algoritmi di ottimizzazione energetica: L'integrazione di algoritmi avanzati permette di trasformare in token l'uso efficiente della risorsa energetica dei membri di una CER, favorendo una gestione più efficiente della stessa.

3. Tecnologia blockchain: utilizzata

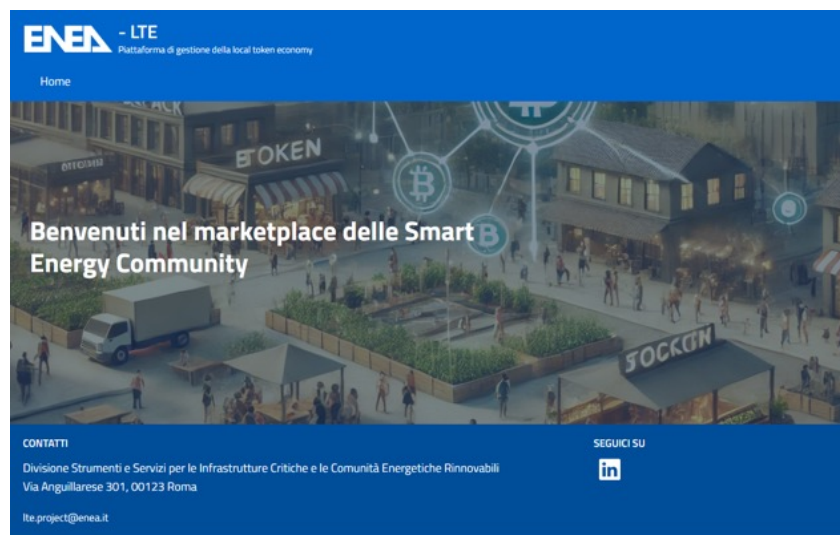


Figura 1. Homepage della piattaforma LTE

per garantire la sicurezza, l'affidabilità e la trasparenza delle transazioni, nonché per gestire i token digitali.

La tecnologia blockchain è una componente cruciale dello strumento LTE per le sue caratteristiche intrinseche di:

- 1. Tracciabilità:** ogni transazione viene registrata in modo trasparente e immutabile, creando un registro affidabile e accessibile.
- 2. Sicurezza:** i dati e gli scambi sono protetti da una crittografia avanzata, che riduce al minimo i rischi di frode o manipolazione.
- 3. Decentralizzazione:** la gestione distribuita elimina la necessità di un'autorità centrale, aumentando la resilienza del sistema.

Premiare direttamente i comportamenti virtuosi. I **token locali, creati e gestiti sulla blockchain, rappresentano il principale mezzo per favorire l'economia circolare all'interno della comunità. Questi token, oltre a fungere da strumento di scambio, vengono distribuiti sulla base di algoritmi di ricompensa e valorizzazione che utilizzano i dati energetici dei consumatori. Gli smart contract automatizzano il processo, permettendo di premiare direttamente i comportamenti virtuosi.**

I token, conservati nei wallet degli utenti, possono essere facilmente scambiati all'interno della community per acquistare servizi specifici. Il design della piattaforma enfatizza la semplicità, consentendo agli utenti di interagire con i propri token senza richiedere conoscenze tecniche approfondite, abbassando così la barriera all'ingresso per la partecipazione della comunità.

L'accesso degli utenti al marketplace è facilitato da un'interfaccia web, appositamente integrata con il plugin MetaMask, che funge da gateway per interagire con una blockchain privata basata su Ethereum. L'autenticazio-

ne è gestita da un servizio di Identity and Access Management (IAM), che utilizza l'Identity Provider di ENEA per garantire un'autenticazione utente sicura e affidabile. Questa integrazione garantisce che solo gli utenti autorizzati possano partecipare al marketplace, migliorando la sicurezza della piattaforma e fornendo un'esperienza utente semplice.

Gli algoritmi di ricompensa, che costituiscono la base del sistema di remunerazione dei token, si basano sui dati relativi al consumo e alla produzione di energia elettrica: questi dati provengono dai sistemi di backend di ENEA, esterni alla piattaforma LTE, e vengono utilizzati per misurare e valutare in modo accurato il comportamento degli utenti all'interno della comunità energetica. **La piattaforma garantisce che i comportamenti energetici virtuosi siano incentivati in modo equo e misurabile, basando le ricompense su metriche reali di consumo e produzione di energia.**

Inoltre, i dati relativi alle funzionalità del marketplace, come le offerte di servizi e i metadati delle transazioni, sono memorizzati all'interno del componente dell'app web. Questo componente gestisce i dati off-chain e fornisce un ambiente per l'archiviazione di informazioni sulle interazioni e sui servizi degli utenti.

L'architettura è strutturata attorno a cinque componenti principali, ciascuno responsabile di funzionalità specifiche relative alla gestione dei token e alle transazioni di mercato all'interno di un ecosistema di comunità energetiche. Questi cinque componenti sono:

- 1.** L'app Web Oracle.
- 2.** Il servizio di autorizzazione.
- 3.** La DApp Web, in esecuzione in un browser utente.
- 4.** Il sistema di tokenizzazione della blockchain.
- 5.** La piattaforma dei Servizi ENEA.

L'architettura della piattaforma è descritta nella figura seguente

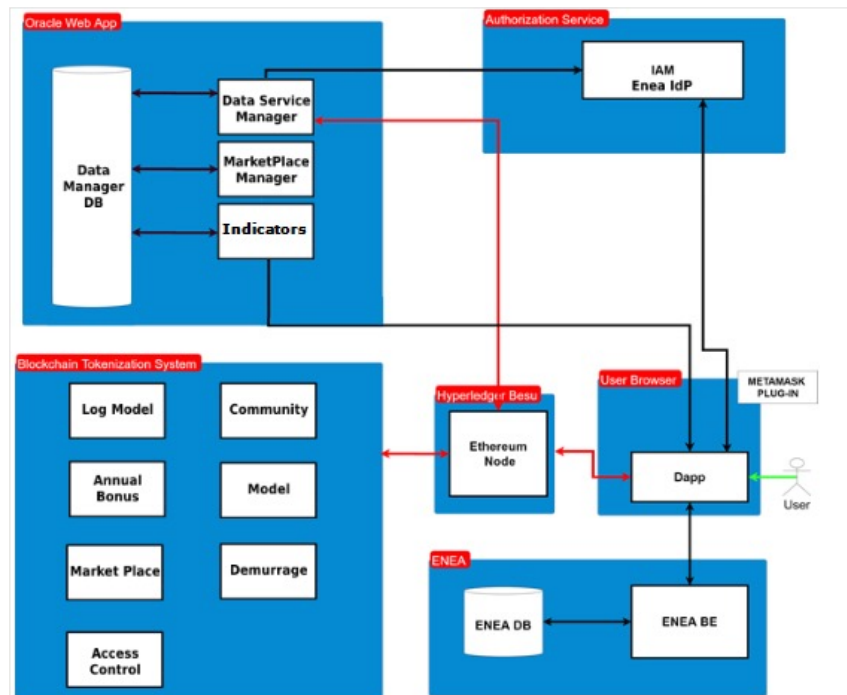


Figura 2. Architettura della piattaforma LTE.

Il sistema Oracle Web App è costituito da quattro sottocomponenti principali, principalmente legati alla gestione del marketplace:

- **DB di Data Manager:** è il database principale in cui sono archiviati tutti i dati relativi al marketplace e agli scambi di token.
- **Data Service Manager:** questo servizio gestisce le interazioni con i dati memorizzati nel DB di Data Manager.
- **Marketplace Manager:** supervisiona le operazioni del marketplace decentralizzato. È responsabile del coordinamento dell'acquisto e della vendita di servizi e della gestione delle interazioni tra gli utenti del marketplace.
- **Indicatori:** questo componente raccoglie e fornisce metriche o indicatori di performance pertinenti relativi alle prestazioni del marketplace e al suo utilizzo da parte degli utenti a fini di analisi o reportistica.

Il Servizio di Autorizzazione comprende:

- Il servizio IAM Management device (Identity and Access Management) che fornisce un'autenticazione e un'autorizzazione sicure per gli utenti della piattaforma.
- L'ENEA IdP (Identity Provider) che è il componente incaricato di verificare l'identità degli utenti quando accedono al marketplace; Solo gli utenti autenticati possono partecipare al marketplace, proteggendo così il sistema da accessi non autorizzati.

La Web DApp (Decentralized Application) è l'interfaccia con cui gli utenti interagiscono per accedere alle funzionalità della blockchain. La DApp viene eseguita all'interno del browser dell'utente ed è integrata con il plug-in MetaMask (un portafoglio basato su browser che consente agli utenti di gestire i propri token), consentendo un'interazione sicura con la rete blockchain privata. La DApp si connette al nodo Ethereum

per facilitare la gestione dei token e le interazioni all'interno del marketplace.

Il Blockchain Tokenization System è il framework blockchain che alimenta il sistema di tokenizzazione ed è basato sul client Hyperledger Besu. Include varie funzionalità che vengono implementate negli smart contract utilizzando il linguaggio di programmazione Solidity:

- **Log Model:** tiene traccia delle attività degli utenti.
- **Bonus annuale:** componente per gestire l'assegnazione delle ricompense annuali.
- **Demurrage:** modelli specifici implementati all'interno della blockchain per gestire varie operazioni basate su token. Implementano una funzione che riduce il valore del token nel tempo (una forma di interesse negativo pensato sia per evitare l'accumulo sia per stimolare la partecipazione).
- **Modello:** questo componente definisce e gestisce i modelli e i parametri configurabili che impostano le modalità di emissione dei token in base al consumo e alla produzione di energia.
- **Marketplace:** questa parte del sistema di tokenizzazione interagisce con la blockchain, consentendo agli utenti di spendere o scambiare token acquistando beni e servizi da altri utenti.
- **Il controllo degli accessi:** garantisce che solo gli utenti autorizzati possano accedere alle varie funzionalità del sistema blockchain, probabilmente in base ai loro ruoli all'interno della comunità.

I servizi ENEA sono costituiti da un database e da un sistema di backend:

- **ENEA DB:** banca dati gestita da ENEA che memorizza le informazioni relative ai consumi e alla produzione di energia elettrica per le comunità energetiche. È esterno alla piattaforma LTE principale, ma fornisce dati essenziali per gli algoritmi di calcolo

delle ricompense.

- **ENEA BE (Backend):** sistema di backend che gestisce l'integrazione e la comunicazione tra la piattaforma e i servizi esterni. Raccoglie dati sull'energia e li immette nella piattaforma per supportare gli algoritmi di ricompensa dei token.

Lo strumento LTE non è solo una piattaforma tecnologica, ma vuole definire uno strumento di cambiamento sistemico, capace di coniugare tecnologia, economia e sostenibilità per costruire comunità più resilienti e consapevoli.

Il modello utilizza la tecnologia blockchain per creare un archetipo di mercato decentralizzato per una comunità energetica al fine di incoraggiare e premiare un comportamento efficiente dal punto di vista energetico: questo si inserisce nella visione della Smart Energy Community come motore di interazione e collaborazione tra i partecipanti.

La resilienza delle infrastrutture critiche

Nel contesto della gestione di contingenze e disastri naturali, come ad esempio terremoti e alluvioni, è essenziale una coordinazione rapida ed efficiente delle attività di mitigazione e recupero dei servizi: la gestione ottimale delle risorse di salvataggio e di ripristino può rappresentare il discriminante per decretarne il successo.

Nell'ambito dello Spoke 5 del progetto PNRR ICSC, il laboratorio TERIN-ICER-ICS si è occupato anche di "Blockchain for disaster management", ovvero di sviluppare strumenti basati su registri condivisi, a livello di proof of concept, per ottimizzare la gestione delle emergenze, in modo da incrementare drasticamente il grado di tracciabilità delle operazioni.

L'idea alla base di questi strumenti consiste nell'aiutare gli operatori a



Figura 3. Il progetto PNRR ICSC

prendere decisioni informate con la garanzia di avere una tutela a posteriori sulle informazioni in loro possesso al momento della decisione e la tracciabilità delle azioni conseguenti.

Supponiamo, ad esempio, che a seguito di un terremoto in un'area densamente popolata sia avvenuto il collasso di alcune strutture sanitarie. Gli operatori specializzati saranno chiamati a prendere delle decisioni critiche in tempo rapido, come ad esempio il trasferimento dei feriti verso ospedali funzionanti oppure una redistribuzione del personale sanitario nelle aree in cui se ne ravvisa una maggiore necessità. In questi contesti, le informazioni possono essere frammentarie e difficili da verificare, provocando anche una riluttanza degli operatori a prendere alcuni tipi di decisioni, per paura di critiche future su scelte adottate a partire da informazioni non corrette o autorizzazioni non complete.

Un registro condiviso fornisce un sistema in cui le informazioni di scenari critici vengono notarizzate (attraverso uno smart contract) e fornisce, quindi, una garanzia per gli operatori relativamente a qualsiasi verifica a posteriori sul contesto informati-

vo nel quale le decisioni siano state adottate. Tale strumento garantisce allo stesso tempo la trasparenza dei dati e la conseguente tutela per le persone coinvolte nei processi decisionali.

Quale limite della applicazione della tecnologia, è opportuno sottolineare che la stessa operatività delle piattaforme a supporto dei registri condivisi in regime di non ripudiazione, non è garantita durante le contingenze potendo esse stesse risultare compromesse durante la contingenza.

La trasparenza e sicurezza dei dati di pubblica illuminazione

Nella necessità di digitalizzare infrastrutture pubbliche energivore, nell'ambito del progetto RAISE (Robotics and AI for Socioeconomic Empowerment), finanziato del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), abbiamo l'utilizzo della tecnologia blockchain per promuovere la trasparenza e la sicurezza nella gestione dei dati di pubblica illuminazione dei comuni italiani, gestiti dal progetto ENEA PELL Illuminazione Pubblica (PELL IP). Il progetto PELL IP prevede la raccolta di dati statici (consistenza degli impianti) e dinamici (dati elettrici ed energetici) dell'in-

frastruttura monitorata, con l'obiettivo di raccogliere e monitorare un set minimo di dati necessari per conoscere e gestire l'infrastruttura grazie ad un nuovo processo di efficientamento gestionale.

Nel progetto RAISE, in particolare, è stato sviluppato un esempio di un'infrastruttura basata su blockchain, per un comune della regione Liguria, per quanto riguarda i dati di alto valore (come previsto dal d.lg.s 8 novembre 2021, n°200 che recepisce la Direttiva europea Open Data).

Sono stati identificati due casi d'uso sui dati raccolti dalla Piattaforma PELL IP, identificati dai due seguenti obiettivi:

1. Dati Statici: Certificazione la sottomissione delle schede di censimento.

È stato realizzato un sistema avanzato per certificare e registrare le schede di censimento direttamente sulla blockchain. Sono stati memorizzati dati fondamentali come:

- L'hash del file XML che rappresenta la scheda,
- Il timestamp di invio,
- L'identificativo del comune,
- Lo stato di validazione della scheda.

2. Dati Dinamici: Monitoraggio mensile dei dati dei comuni relativi a energia e potenza attiva, per garantirne la trasparenza e tracciabilità.

I dati mensili, aggregati per comune, relativi al consumo di:

- energia attiva
- potenza attiva

Le informazioni, sia dei dati statici che dinamici, sono state archiviate in uno smart contract specifico per ciascun caso d'uso, garantendo massima sicurezza e completa tracciabilità. È stato inoltre sviluppato un Web Service intuitivo, progettato per consentire agli utenti di accedere e consultare questi dati in modo rapido e semplice.

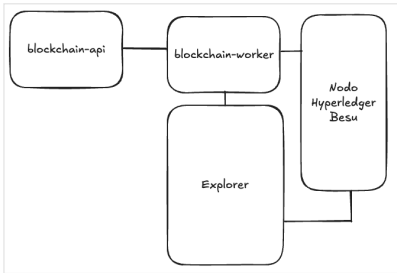


Figura 4. Schema architettura.

L'architettura si è basata su quattro componenti chiave:

- **Nodo Hyperledger Besu:** È stata creata una rete blockchain composta da quattro nodi, configurata per garantire piena compatibilità con le piattaforme IBSI (Italian Blockchain Service Infrastructure) ed EBSI (European Blockchain Services Infrastructure).
- **Blockchain-API:** Sono stati sviluppati endpoint REST per facilitare l'interazione dei dati con la blockchain. Questi consentono di gestire efficacemente sia i dati statici (ad esempio, schede di censimento) che i dati dinamici (consumi energetici).
- **Blockchain-Worker:** Un modulo autonomo progettato per ottimizzare l'inserimento dei dati nella blockchain, garantendo resilienza e automazione nei processi.
- **Explorer:** Uno strumento user-friendly che consente agli utenti di navigare tra le informazioni registrate sulla blockchain, migliorando la fruibilità e l'esperienza utente.
- **Smart Contract modulari e aggiornabili:** Grazie all'utilizzo di strutture basate su Access Control e UUPS

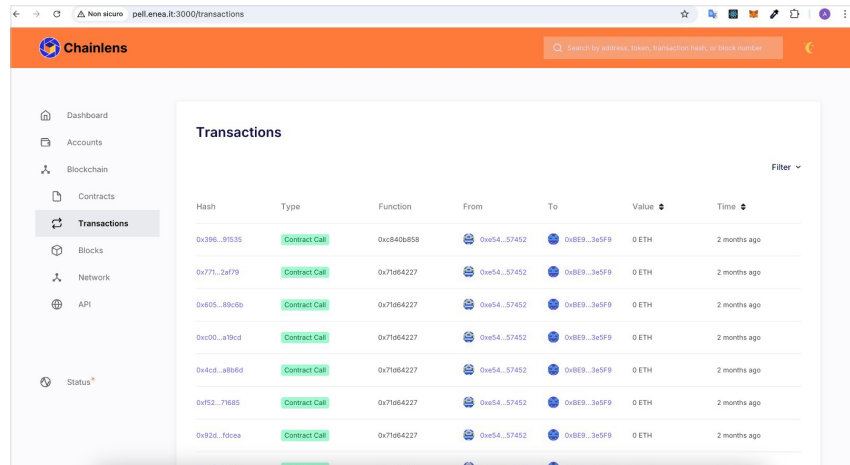


Figura 5. Vista del blockchain explorer sul sito PELL

(Upgradeable Proxy), è stata realizzata una piattaforma sicura, flessibile e predisposta per integrazioni e aggiornamenti futuri.

Il raggiungimento di tali obiettivi, ha permesso significativi vantaggi tecnologici:

- **Tracciabilità Completa:** I dati statici e dinamici sono stati registrati su smart contract dedicati, garantendo trasparenza e sicurezza.
- **Scalabilità e Modularità:** L'architettura REST e l'uso di Hyperledger Besu assicurano adattabilità futura.
- **Esperienza Utente:** L'Explorer ha semplificato l'accesso alle informazioni anche per utenti non esperti.

Nella figura 5, possiamo vedere il blockchain explorer, hostato su pell.enea.it, che mostra le transazioni effettuate all'interno della rete blockchain. Come si vede dall'immagine sono tutte transazioni di tipo

"contract call", dunque interazione con gli smart contract deployati sulla rete blockchain.

La realizzazione di questo prototipo, ha dimostrato come la tecnologia blockchain possa trasformare la gestione dei dati pubblici, promuovendo efficienza e fiducia. Il sistema è pronto per future evoluzioni e integrazioni con infrastrutture italiane ed europee, come IBSI ed EBSI. Questo progetto non è solo un successo tecnologico, ma anche un esempio di come innovazione e trasparenza possano essere strumenti di empowerment.

L'applicazione della Blockchain nell'ambito della Illuminazione Pubblica è il primo esempio applicativo predisposto per la messa a disposizione dei dati di altro valore quali i consumi di una infrastruttura Pubblica quali l'Illuminazione.

per info: stefano.pizzuti@enea.it

Infrastrutture critiche, trasformazione digitale e tecnologie abilitanti

La trasformazione digitale permette di ottimizzare il funzionamento delle infrastrutture critiche, rendendole più resilienti, efficienti e sostenibili. L'introduzione di tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale (IA), il cloud computing e l'Internet of Things (IoT) permette di monitorare e gestire queste infrastrutture in tempo reale, riducendo il rischio di guasti e migliorando la capacità di risposta a emergenze e imprevisti.

DOI 10.12910/EAI2025-020

di Maurizio Pollino, Laboratorio Analisi e Modelli per le Infrastrutture Critiche ed i Servizi essenziali- ENEA

Le Infrastrutture Critiche (IC) sono quei sistemi, reti e servizi essenziali per il funzionamento della società moderna, come reti energetiche, trasporti, comunicazioni, logistica e servizi sanitari. Gli aspetti relativi alla protezione e resilienza delle IC e dei servizi essenziali da esse erogati, sono al centro dell'Agenda Europea e internazionale ormai da molti anni. **La trasformazione digitale permette di ottimizzare il funzionamento di queste infrastrutture, rendendole più resilienti, efficienti e sostenibili. L'introduzione di tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale (AI), il cloud computing e l'Internet of Things (IoT) permette di monitorare e gestire queste infrastrutture in tempo reale, riducendo il rischio di guasti e migliorando la capacità di risposta a emergenze e imprevisti.**

Dati recenti mostrano una tendenza all'aumento - in frequenza ed intensità - delle calamità naturali che colpiscono le IC, con conseguenze sui cittadini ed incremento dei costi

relativi ai danni materiali. L'utilizzo di strumenti tecnologici avanzati per supportare le azioni di previsione e gestione delle emergenze è, pertanto, una strategia fondamentale al fine di una riduzione dei danni globali.

Con l'introduzione della Direttiva UE 2022/2557¹, la resilienza delle IC è diventata un obiettivo prioritario per i Paesi membri dell'Unione Europea. La Direttiva richiede infatti che i soggetti critici, come - ad esempio - quelli attivi nel settore dell'energia, dei trasporti e delle infrastrutture digitali, adottino misure preventive e reattive per mitigare i rischi legati a eventi naturali, antropici o minacce ibride. La Direttiva è stata recentemente recepita in Italia con il D. Lgs. N.134 del 04/09/2024². I settori previsti sono in tutto dodici: a quelli precedentemente citati si aggiungono anche, finanza, salute, acqua potabile, acque reflue, acque irrigue, pubblica amministrazione, spazio, produzione trasformazione e distribuzione di alimenti.

La sinergia tra IC e tecnologie abilitanti

Le tecnologie abilitanti sono quelle innovazioni che, attraverso l'integrazione con i processi produttivi e infrastrutturali esistenti, ne aumentano l'efficienza e la sostenibilità. **Tecnologie come l'AI, il 5G, la blockchain e i sistemi IoT stanno avendo un impatto significativo nel promuovere una transizione ecologica ed energetica.** Con l'implementazione della Direttiva UE 2022/2557, la resilienza delle infrastrutture (specialmente quelle energetiche) sarà ulteriormente rafforzata da queste tecnologie, che non solo aumenteranno l'efficienza operativa, ma permetteranno anche di identificare e rispondere rapidamente a eventuali minacce alla sicurezza, come interruzioni nell'erogazione dei servizi o minacce ibride che potrebbero mettere a rischio la continuità del servizio.

La sinergia tra IC e tecnologie abilitanti è fondamentale per affrontare le sfide poste dalla transizione ecologica ed energetica. Le reti di

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32022L2557>

² <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2024/09/23/24G00150/SG>

trasporto intelligenti e l'energia rinnovabile distribuita sono solo alcuni esempi di come la tecnologia può rendere più sostenibili settori tradizionalmente ad alto impatto ambientale. Un caso rilevante è l'uso di AI e machine learning per l'ottimizzazione della rete elettrica: questo approccio permette di creare modelli per fornire informazioni utili ad analizzare i consumi, ottimizzare la distribuzione in base alla domanda e migliorare la gestione operativa. Ciò avviene, per esempio, raccogliendo dati storici sui consumi degli utenti e generano modelli predittivi dei picchi di domanda in determinati periodi, ottenendo un sistema di gestione energetica più flessibile e resiliente.

Tornando alla Direttiva UE 2022/2557, essa prevede la definizione di misure atte a migliorare la sicurezza e la resilienza dei soggetti critici, richiedendo l'adozione di tecnologie avanzate e di protocolli di sicurezza per proteggere le infrastrutture dai rischi emergenti. Tra queste misure, l'introduzione di tecnologie come la manutenzione predittiva, abilitata dall'IoT e dall'analisi dei dati, può aiutare a prevenire malfunzionamenti e a garantire la continuità operativa delle IC. Le simulazioni digitali e i Digital Twin, inoltre, possono permettere di testare le infrastrutture in ambienti virtuali, valutandone la capacità di rispondere a eventi catastrofici.

Tecnologie innovative e strumenti per l'analisi del rischio

L'ENEA, in particolare tramite il Laboratorio "Analisi e Modelli per le Infrastrutture Critiche ed i Servizi essenziali" (Dipartimento Tecnologie Energetiche e fonti RINnovabili), ha concepito e sviluppato una serie di tecnologie innovative e strumenti

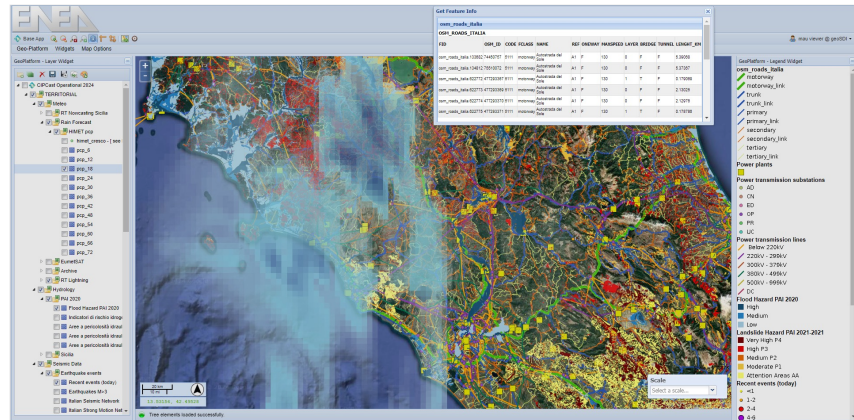


Figura 1: Interfaccia utente della piattaforma di supporto decisionale CIPCast, per il monitoraggio e l'analisi del rischio delle infrastrutture critiche. Fonte: ENEA.

per l'analisi del rischio, la protezione e l'incremento della resilienza delle IC, la simulazione di scenari di danno. Per raggiungere tali obiettivi, occorre tenere conto dell'interazione reciproca tra IC e territorio analizzando i pericoli indotti da eventi naturali calamitosi (terremoti, inondazioni, frane, eventi meteo-climatici estremi, etc.). Inoltre, è necessario definire modelli di propagazione dei guasti e considerare le mutue dipendenze tra sistemi. **A tal fine, ENEA ha sviluppato nuovi strumenti come la piattaforma di supporto decisionale CIPCast (Critical Infrastructure Protection risk analysis and foreCAST, Figura 1)** e l'applicativo RecSIM (Reconfiguration SIMulator), mentre è in corso di sviluppo la nuova piattaforma CI-RES. Tali strumenti si rivolgono sia agli operatori di IC e servizi essenziali, sia alla Pubblica Amministrazione responsabile per le azioni di previsione e di gestione delle emergenze. Un altro aspetto cruciale è la capacità delle IC di mantenere adeguati livelli di resilienza di fronte alle nuove sfide poste dalla transizione digitale. **La sicurezza informatica, ad esempio, diventa essenziale per proteggere le**

infrastrutture da attacchi cibernetici, che potrebbero compromettere il loro funzionamento e l'erogazione dei servizi.

In questo quadro si inserisce la Direttiva UE 2022/2555³ sulla cyber security (la cosiddetta NIS2, recepita nel nostro ordinamento dal D.lgs. N.138 del 4 Settembre 2024⁴), che introduce nuovi obblighi per i soggetti considerati fondamentali per l'economia e la società, rafforzandone la resilienza contro le minacce informatiche.

Guardando al futuro, la sfida sarà quella di accelerare ulteriormente la trasformazione delle IC in un'ottica sostenibile. La transizione energetica richiederà una gestione sempre più intelligente delle risorse, integrando tecnologie come il 5G per l'automazione e la connettività, e il cloud computing per la gestione e l'elaborazione dei dati. Le IC, adeguatamente potenziate e rese resilienti attraverso l'innovazione tecnologica e grazie all'attuazione della Direttiva UE 2022/2557, potranno facilitare il passaggio verso un modello di sviluppo sostenibile, in grado di rispondere alle sfide globali del nostro tempo.

per info: maurizio.pollino@enea.it

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32022L2555>

⁴ <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2024/10/01/24G00155/GG>

L'infrastruttura ENEA per il supercalcolo HPC e l'IA

ENEA ha sviluppato un'infrastruttura avanzata di supercalcolo HPC e Big Data, aperta e flessibile, che consente la realizzazione di progetti all'avanguardia in diversi settori della ricerca, inclusa quella industriale. Sono in corso di sviluppo nuove tecnologie cloud-edge continuum per rispondere alla crescente domanda di calcolo, gestione dati e servizi IA.

DOI 10.12910/EAI2025-021

di Giovanni Ponti, Angelo Mariano, Massimo Celino, Dipartimento Tecnologie energetiche e fonti rinnovabili, Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT - ENEA - Francesco Iannone, Dipartimento Tecnologie energetiche e fonti rinnovabili, Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT, Laboratorio Infrastrutture per il Calcolo Scientifico e ad Alte Prestazioni - ENEA

L'ENEA ha una lunga storia e competenze nella gestione di infrastrutture di calcolo scientifico a supporto delle attività di ricerca. I datacenter ENEA ospitano i sistemi di calcolo CRESCO [1], che dal 2008 offrono infrastrutture di calcolo all'avanguardia in campo calcolo parallelo ad alte prestazioni (HPC). Questi sistemi trovano applicazione in numerose attività svolte in ambito di progettualità nazionali ed internazionali, nel corso delle quali sono stati sviluppati modelli nel campo dell' HPC, gestione dei dati su infrastrutture di calcolo parallelo e sistemi storage avanzati, e tecnologie di interconnessione di rete a bassa latenza per garantire il rapido accesso ai dati da elaborare e il collegamento tra datacenter ENEA distribuiti sul territorio.

Progettualità e sfide di ricerca

Le competenze sviluppate nel corso degli anni si sono consolidate in importanti partecipazioni progettuali negli ultimi venti anni. Solo per citarne alcuni tra gli ultimi in corso, si può far riferimento al progetto TEXTAROSSA [2] per quanto riguarda il calcolo pa-

rallelo avanzato e l'uso di acceleratori per EuroHPC, e la serie di progetti EoCoE per l'energia e la scienza dei materiali [3], fino ad arrivare ai recenti PNRR Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing (ICSC [4]), Rome Technopole per il rilancio dei processi di innovazione del Lazio in ambito digitale ed energetico [5], e il progetto DTT-U [6] in ambito della fusione nucleare dove le infrastrutture di calcolo supportano lo studio della geometria e la modellazione del divertore.

Recentemente, si stanno affrontando anche le tematiche legate all'Intelligenza Artificiale (IA), supportando anche in questo caso diverse progettualità e sfide di ricerca. L'aspetto più importante è che la rivoluzione disruptive introdotta dall'IA, unita al consolidamento del paradigma dei servizi in Cloud, sta stravolgendo il modo in cui i servizi HPC vengono erogati, spingendo verso infrastrutture sempre più innovative con acceleratori grafici (GPU) e modelli di servizi più flessibili.

Anche l'ENEA sta rispondendo alle nuove esigenze del settore ICT. La

divisione ICT del dipartimento Tecnologie energetiche e fonti rinnovabili (TERIN) sta avviando un processo di transizione dei paradigmi di calcolo scientifico per adeguare l'offerta delle risorse di calcolo e delle facility computazionali a supporto delle nuove frontiere tecnologiche e applicative, andando sempre più nella direzione di offrire servizi HPC flessibili in Cloud. Nel seguito, saranno descritte le risorse di calcolo HPC presenti in ENEA e come si sta declinando la proposta servizi in Cloud e le nuove frontiere in termini di applicazioni che fanno uso dell'IA, con riferimento ai progetti in corso e di prossimo inizio.

L'High Performance Computing

ENEA è parte attiva nell'ecosistema europeo dell'HPC (High Performance Computing), grazie alla sua partecipazione alle iniziative internazionali di grande rilievo come Eurofusion ed EuroHPC Joint Undertaking [7,8]. ENEA gestisce una rilevante piattaforma di supercalcolo HPC denominata CRESCO [1] e contribuisce alla ricerca e sviluppo di nuove architetture eterogenee di supercalcolo che hanno l'obiettivo erogare prestazio-

ni che oramai possono raggiungere l'incredibile velocità computazionale dell'ordine dell'exascale (pari a 10^{18} operazioni al secondo), mantenendo un consumo energetico sostenibile. Accanto allo sviluppo hardware, ENEA si occupa anche di creare nuovi modelli di programmazione e ambienti di sviluppo, ottimizzati per sfruttare al meglio queste architetture avanzate. **Negli anni, i sistemi HPC di ENEA sono cresciuti in risposta all'aumento delle richieste dei ricercatori, dimostrando che la piattaforma CRESCO è un elemento cruciale per l'acquisizione di nuovi finanziamenti e per il successo di progetti in settori strategici come l'energia e l'ambiente. Questi progetti spaziano dalla fusione nucleare alla meteorologia, dalla combustione alla progettazione di materiali innovativi e sistemi molecolari di interesse biologico. La disponibilità di infrastrutture di supercalcolo HPC è un elemento assolutamente necessario per ogni attività che implica l'utilizzo di strumenti basati su tecnologie di intelligenza artificiale.**

Dal 2007, ENEA ha consolidato la sua esperienza nel supercalcolo attraverso la partecipazione a numerosi progetti nazionali ed europei. Questo percorso ha permesso la costante evoluzione dei sistemi CRESCO, principalmente presso la sede di Portici, che hanno visto un aumento significativo delle capacità di calcolo in termini di TFlops (teraflops). I primi



Figura 1: Crescita nel tempo della potenza dei sistemi CRESCO

sistemi, come CRESCO1, CRESCO2 e CRESCO4, sono stati realizzati nell'ambito di progetti PON, mentre CRESCO6 e CRESCO7, con potenze di picco rispettivamente di 1,4 e 0,5 PFlops, sono stati sviluppati nell'ambito dei servizi HPC che ENEA, in collaborazione con CINECA, mette a disposizione della comunità scientifica e della fusione nucleare europea attraverso il consorzio Eurofusion. L'infrastruttura CRESCO è oggi considerata come prioritaria a livello nazionale dal PNIR 2021-2027.

Entro la fine del 2024 sarà disponibile CRESCO8 presso il centro ricerche di Portici, che con i suoi 9 PFlops di picco, costituirà la risorsa di calcolo HPC di riferimento per le attività di ricerca ENEA. Il calcolatore è finanziato dai fondi del progetto PNRR DTT-U [6].

Analisi di grandi quantità di dati

L'espansione delle capacità computazionali di ENEA non solo risponde alla crescente domanda interna di risorse, ma si è rivelato spesso un fattore cruciale per l'acquisizione e il successo di progetti di ricerca e innovazione strategici. L'obiettivo di ENEA è fornire risorse computazionali attraverso la piattaforma ENEA-Grid, integrando tali risorse nelle attività di ricerca e sviluppo dell'ente. Nel 2023, l'utilizzo dei sistemi CRESCO ha superato i 122 milioni di core-hour, un valore equivalente a circa 1,5 milioni di euro, se paragonato ai costi di risorse cloud commerciali come Amazon Web Services (AWS).

Recentemente ENEA ha coordinato il progetto EuroHPC TEXTAROSSA [2], che ha sviluppato prototipi di nodi di calcolo hardware e software a basso consumo, specificamente progettati per l'analisi di grandi quantità di dati, una risorsa sempre più preziosa nelle applicazioni moderne.

ENEA è inoltre membro fondatore del Centro Nazionale HPC Big Data

and Quantum Computing (ICSC) [4], dove collabora negli Spoke dedicati a "Future HPC", "Materials & Molecular Science", "Environment & Natural Disasters" ed "Earth & Climate". In questi ambiti, ENEA lavora allo sviluppo di simulazioni complesse e "grandi sfide", in collaborazione con partner industriali e accademici italiani, per la realizzazione di piattaforme per la simulazione di problemi strategici attraverso il supercalcolo. Parallelamente, ENEA è coinvolta nel Centro Europeo di Eccellenza per il supercalcolo nel settore delle energie rinnovabili (EoCoE-III) [3]. Qui, l'ente è impegnato nella progettazione e sviluppo di codici di calcolo in grado di sfruttare i supercomputer exascale europei per supportare la transizione energetica verso fonti rinnovabili, con applicazioni che includono simulazioni su larga scala di impianti eolici, gestione delle risorse idriche e la progettazione di nuovi materiali. In quest'ultimo ambito, CRESCO è il motore computazionale della piattaforma Mission Innovation IEMAP (Italian Energy Materials Acceleration Platform), volta a velocizzare la progettazione di nuovi materiali per l'energia tramite Big Data e intelligenza artificiale [9].

L'intelligenza artificiale

La disponibilità di supercomputer in grado di elaborare enormi quantità di dati ha rivoluzionato, negli ultimi anni, lo sviluppo e l'ottimizzazione degli algoritmi di machine learning, permettendo di processare volumi di informazioni impensabili fino a poco tempo fa. La capacità di questi algoritmi di analizzare e interpretare i dati è cresciuta a tal punto da sembrare quasi una nuova forma di intelligenza, capace di generare nuovi contenuti a una velocità sorprendente. L'HPC ha reso possibile questo enorme progresso, tanto che l'Intelligenza Artificiale (IA) è ormai diventata una

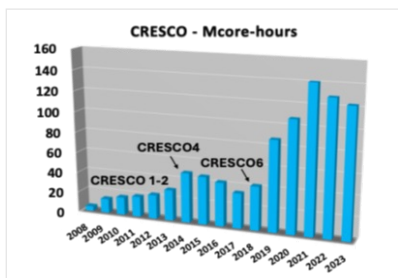


Figura 2: Crescita nel tempo delle ore di calcolo utilizzate dagli utenti per lo svolgimento delle attività progettuali. Si noti il picco di utilizzo nel 2021 quando si avviarono numerosi progetti computazionali per le simulazioni COVID.

realtà pervasiva, trasformando radicalmente il nostro modo di lavorare e vivere. **Esistono molteplici tipi di AI, da quella analitica a quella predittiva, passando per l'intelligenza supervisionata e non supervisionata, fino ad arrivare all'IA generativa, che crea nuovi contenuti, e alla robotica.**

Un esempio attuale di applicazione avanzata dell'IA è la guida autonoma, recentemente tornata al centro dell'attenzione con i Robotaxi di Tesla. Giova ricordare che i vantaggi dell'IA sono innumerevoli: automatizzazione di processi ripetitivi, analisi dati più accurate, sviluppo di nuovi prodotti e servizi. Tuttavia, esistono anche delle sfide, come la necessità di garantire l'eticità dell'AI e di mitigare i rischi legati alla riduzione di lavoro non specializzato. **Per quanto riguarda l'ENEA, l'ente usa ampiamente soluzioni di IA per ottimizzare la ricerca in ambito energetico, analizzare grandi quantità di dati provenienti dai sensori, sviluppare modelli predittivi per il monitoraggio ambientale e migliorare la sicurezza cibernetica.**

L'impatto dell'IA sulla competitività delle imprese è innegabile. Le aziende che adottano soluzioni basate sull'IA possono acquisire un vantaggio competitivo significativo, ottimizzando i processi, personalizzando i prodotti e servizi, e prendendo decisioni più informate. Tuttavia, per

sfruttare appieno il potenziale dell'IA è necessario disporre di risorse di calcolo adeguate, come infrastrutture cloud potenti e chip specializzati. L'ENEA, con le sue competenze in ambito di supercalcolo e AI, può svolgere un ruolo chiave nello sviluppo di soluzioni IA accessibili e sostenibili per le imprese italiane, anche attraverso il coinvolgimento negli European Digital Innovation Hubs.

Le tendenze future dell'IA sono molto promettenti. Si prevede un'ulteriore diffusione dell'IA in tutti i settori, con lo sviluppo di applicazioni sempre più sofisticate e personalizzate. L'integrazione tra IA e altre tecnologie emergenti, come l'Internet delle Cose (IoT) e il cloud-edge continuum, aprirà nuove frontiere. L'ENEA sta investendo ampiamente in queste soluzioni favorendo la costruzione di una piattaforma con tutti gli strumenti necessari per ogni fase del processo: dalla preparazione dei dati alla creazione e all'addestramento dei modelli, fino alla loro distribuzione in un ambiente produttivo. Il tutto è gestito in modo automatizzato e scalabile, permettendo ai data scientist di concentrarsi sull'innovazione piuttosto che sulla gestione dell'infrastruttura sottostante. Questa piattaforma sarà il core del contributo di ENEA a IPCEI-CIS, meglio descritto nel paragrafo successivo.

L'IA, dunque, può essere un potente acceleratore dell'innovazione e della crescita economica, ma è fondamentale affrontare le sfide legate alla sua implementazione, come la necessità di garantire la sicurezza dei dati e l'eticità delle applicazioni, tutti ambiti in cui l'ENEA con le sue competenze e le sue infrastrutture si sta impegnando in prima persona.

Il Cloud-edge computing

L'aumento esponenziale dei dati generati da dispositivi come sensori,

telefoni cellulari e laboratori automatizzati, insieme alla crescente importanza strategica dei dati stessi, ha portato a un forte interesse per le tecnologie cloud-edge. Tuttavia, il mercato del cloud è dominato da poche grandi aziende internazionali (Google, Microsoft, Amazon, Alibaba, etc), mentre i fornitori europei sono frammentati e rappresentano meno del 13% del mercato globale. Questa frammentazione limita la scalabilità, l'interoperabilità e la trasparenza delle offerte, ostacolando la piena espressione del potenziale innovativo dell'Europa.

Per rispondere a queste sfide, l'Europa ha lanciato l'IPCEI-CIS (IPCEI Next Generation Cloud Infrastructure and Services), un'iniziativa strategica per creare un cloud federato europeo per le industrie, riducendo la dipendenza dalle grandi aziende extraeuropee^[10]. Secondo sondaggi recenti, molte aziende vogliono collaborare con fornitori europei, e il 95% di esse ritiene problematica la sicurezza dei dati e la conformità con il GDPR. L'IPCEI-CIS mira a creare un "Cloud-Edge Continuum" multi-fornitore, il primo nel suo genere, che consenta di sviluppare modelli di business basati su intelligenza artificiale (IA) e Internet delle Cose (IoT) in settori come la manifattura, la mobilità, l'energia e il turismo, promuovendo al contempo la sostenibilità energetica.

In questo contesto, ENEA gioca un ruolo chiave con il progetto DataCLEEN (Data CCloud for Energy and Environment). L'obiettivo di DataCLEEN è creare un'infrastruttura cloud che farà parte del cloud industriale europeo, utilizzando il calcolo ad alte prestazioni (CRESCO7, CRESCO8) in un continuum cloud-edge federato, scalabile e affidabile. Questo sistema offrirà servizi di IA componibili e strumenti per la gestione dei Big Data, con l'obiettivo di accelerare la transi-

zione energetica e favorire lo sviluppo di nuovi prodotti e servizi, coinvolgendo imprese e istituzioni pubbliche in Italia e in Europa. ENEA si propone di creare un ambiente pilota che aiuti le aziende nella migrazione verso il cloud e nella loro prima implementazione industriale, favorendo il trasferimento tecnologico e la validazione delle tecnologie su larga scala.

DataCLEEN partecipa a quattro filoni di lavoro dell'IPCEI-CIS, contribuendo alla catena del valore dalle infrastrutture alle applicazioni. Il progetto prevede la costruzione di quattro nuovi data center federati, energeticamente efficienti e con elevate capacità di calcolo, lo sviluppo di un layer software per l'orchestrazione dell'infrastruttura, e la creazione di servizi IA e di scambio dati per l'infrastruttura cloud-edge. Il progetto implementerà applicazioni in settori strategici come

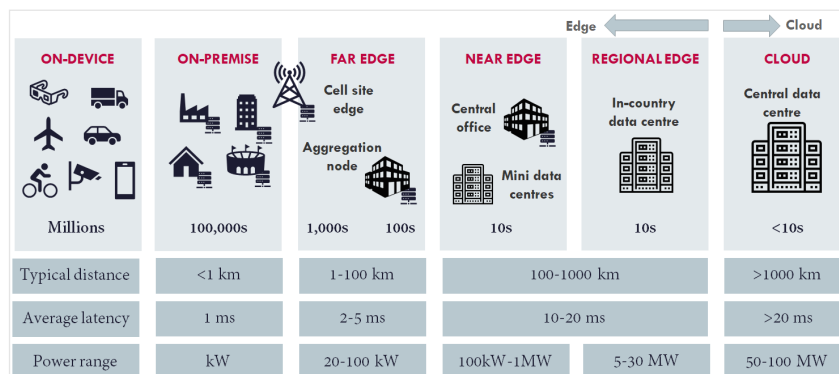


Figura 3: Il cloud-edge continuum è descritto nelle sue componenti dal cloud sulla destra all'edge sulla sinistra. I dati generati all'edge vengono processati dalle diverse componenti del cloud.

infrastrutture critiche, smart cities, patrimonio culturale e materiali per l'energia. DataCLEEN rappresenta un'innovazione importante poiché non esistono altre infrastrutture simili dedicate alla gestione ed elaborazioni di grandi moli di dati per applicazioni energetiche e ambientali, che

riesca a mettere nella stessa filiera in maniera trasparente chi genera i dati e chi li deve utilizzare senza che la complessità dell'infrastruttura distribuita e dei suoi servizi sia un ostacolo al progresso della conoscenza e all'innovazione.

per info: giovanni.ponti@enea.it

Riferimenti bibliografici

1. CRESCO e ENEAgrid, <https://www.eneagrid.enea.it/CRESCOportal/>
2. TEXTAROSSA, <https://textarossa.eu/>
3. EoCoE-III, www.eocoe.eu
4. ICSC, <https://www.supercomputing-icsc.it/>
5. Rome Technopole, <https://www.rometechnopole.it>
6. DTT-U, <https://www.enea.it/it/progetti/progetti-nazionali/progetto-dttu.html>
7. Eurofusion, <https://euro-fusion.org/>
8. EuroHPC, <https://eurohpc-ju.europa.eu/>
9. IEMAP, www.mission-innovation.it
10. IPCEI-CIS, www.ipcei-cis.eu

Cybersicurezza dei sistemi energetici

La cybersicurezza dei sistemi energetici rappresenta oggi una delle priorità globali più urgenti, soprattutto considerando l'importanza di queste infrastrutture per il buon funzionamento delle società moderne. L'energia alimenta non solo le abitazioni e le imprese, ma anche infrastrutture vitali come i trasporti, gli ospedali e i servizi pubblici, che sono essenziali per la vita quotidiana. Proteggere i sistemi energetici da potenziali attacchi informatici è quindi fondamentale non solo per garantire il corretto funzionamento delle economie moderne, ma anche per preservare la stabilità sociale, economica e politica delle nazioni.

DOI 10.12910/EAI2025-022

di Maria Valenti, Giovanna Adinolfi, Roberto Ciavarella Laboratorio smart grid e reti energetiche - Massimo Celino, Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT - ENEA

La cybersicurezza dei sistemi energetici rappresenta oggi una delle priorità globali più urgenti, soprattutto considerando l'importanza delle infrastrutture energetiche per il buon funzionamento delle società moderne. L'energia alimenta non solo le abitazioni e le imprese, ma anche infrastrutture vitali come i trasporti, gli ospedali e i servizi pubblici, che sono essenziali per la vita quotidiana. Proteggere i sistemi energetici da potenziali attacchi informatici è quindi fondamentale non solo per garantire il corretto funzionamento delle economie moderne, ma anche per preservare la stabilità sociale, economica e politica delle nazioni. Inoltre, la protezione di queste infrastrutture è cruciale per tutelare la sicurezza dei cittadini e prevenire danni derivanti da interruzioni o disastri tecnologici. Il processo di digitalizzazione del settore energetico ha portato senza dubbio a numerosi benefici, migliorando l'efficienza e la gestione dei sistemi, ma ha anche aperto nuovi orizzonti per i cybercriminali, ampliando le possibili superfici di attacco. La progressiva integrazione di quote

sempre maggiori di energie rinnovabili, come anche la crescente adozione di tecnologie digitali avanzate nelle reti elettriche, rappresenta uno strumento fondamentale per la transizione energetica. Tuttavia, questa evoluzione determina una maggiore vulnerabilità agli attacchi informatici, che sono ormai un rischio concreto e tangibile. Dal rapporto CLUSIT (Associazione Italiana per la Sicurezza Informatica) 2024 il numero di attacchi andati a buon fine in Italia nel settore Energy & Utilities è raddoppiato tra il 2018 e il 2022. Nei primi tre mesi del 2024 si sono registrati oltre la metà degli incidenti dell'intero 2023. La principale tecnica di attacco è stata il malware utilizzata in circa il 60% degli attacchi nel 2023 e il 96% nel 2024. La presenza di vulnerabilità ha rappresentato il "punto di ingresso" per l'attacco nel 13% dei casi nel 2022 e nell'11% nel 2023.

Garantire una transizione energetica sostenibile e sicura

La crescente integrazione di energie rinnovabili e l'adozione di tecnologie digitali avanzate nelle reti elettriche rappresentano un pilastro fonda-

mentale della transizione energetica. Tuttavia, questi sviluppi comportano anche un aumento della vulnerabilità agli attacchi informatici, un rischio ormai concreto e tangibile. **Sebbene il settore energetico sia attualmente coinvolto solo nel 4% degli attacchi cyber, la digitalizzazione crescente delle infrastrutture potrebbe amplificare l'esposizione a minacce sempre più sofisticate.**

È quindi fondamentale progettare e sviluppare soluzioni avanzate e sicure, garantendo una transizione energetica non solo sostenibile, ma anche resiliente sotto il profilo della protezione informatica. Gli attacchi informatici contro i sistemi energetici, infatti, potrebbero avere conseguenze rilevanti, come blackout di portata estesa, che potrebbero causere danni economici significativi. Oltre agli impatti diretti, gli attacchi cibernetici potrebbero anche danneggiare fisicamente gli impianti e le infrastrutture, aumentando notevolmente i costi di riparazione e sostituzione. Le aziende potrebbero subire gravi perdite a causa dell'interruzione delle loro attività, e a livello geopolitico,

un attacco riuscito potrebbe minare la fiducia pubblica e istituzionale, creando instabilità in un contesto già complesso.

Furto e manipolazione dei dati

Un ulteriore rischio cruciale riguarda il furto e la manipolazione dei dati.

I moderni sistemi energetici sono dotati di tecnologie che raccolgono enormi quantità di dati, il cui obiettivo è ottimizzare la produzione e distribuzione dell'energia, anche massimizzando l'uso delle fonti rinnovabili. Tuttavia, l'integrità di questi dati è essenziale per prendere decisioni operative corrette. Un cyberattacco che comprometta l'affidabilità delle informazioni potrebbe portare a scelte errate nella gestione delle risorse energetiche o alla perdita di dati sensibili, con ripercussioni sulla sicurezza e sull'efficienza dei sistemi.

Un esempio emblematico della gravità di questi rischi è rappresentato dagli attacchi cibernetici alle reti elettriche subiti dall'Ucraina nell'ultimo decennio (2015, 2016, 2022). Nel 2016, un attacco condotto con il malware Industroyer One causò un blackout, lasciando un quinto della popolazione senza energia per ore. Questo malware, progettato per colpire i sistemi di controllo industriale, è stato attribuito al GRU, l'intelligence militare russa, dall'alleanza Five Eyes (alleanza di intelligence composta da Stati Uniti, Regno Unito, Canada, Australia e Nuova Zelanda). Nel 2022, un nuovo attacco mirato a spegnere la rete elettrica ucraina, questa volta con Industroyer2, evoluzione del precedente malware, è stato sventato, evitando che due milioni di persone rimanessero senza energia. Questi episodi evidenziano come **gli attacchi informatici contro le infrastrutture critiche siano diventati potenziali armi di guerra. L'Unione Europea ha riconosciuto l'urgenza di affrontare**

tali minacce e ha adottato misure significative per rafforzare la cybersicurezza dei sistemi energetici. Tra le iniziative principali vi sono la Direttiva NIS (Network and Information Security) del 2016 e il suo aggiornamento NIS2 del 2020. Questi strumenti normativi impongono obblighi stringenti agli operatori di infrastrutture critiche, tra cui il settore energetico, per migliorare la sicurezza delle reti e dei sistemi di informazione.

Parallelamente, l'UE ha sviluppato una Strategia per la Cybersecurity che prevede investimenti significativi per aumentare la resilienza cibernetica del settore energetico. La creazione dell'European Cybersecurity Industrial, Technology and Research Competence Centre è un esempio concreto di questa strategia: il centro coordina attività di ricerca e sviluppo per rafforzare le difese contro le minacce informatiche. Inoltre, attraverso l'Agenzia dell'Unione europea per la cybersicurezza (ENISA), vengono promosse linee guida, buone pratiche e misure proattive come la segmentazione delle reti, sistemi di monitoraggio avanzati e formazione del personale.

L'integrazione della cybersicurezza nelle politiche climatiche ed energetiche

Un aspetto cruciale dell'approccio europeo è l'integrazione della cybersicurezza nelle politiche climatiche ed energetiche. Programmi come Horizon Europe finanziano progetti che richiedono lo sviluppo di soluzioni e prodotti avanzati che combinino l'innovazione tecnologica nel settore energetico con la sicurezza cibernetica, nell'obiettivo generale di promuovere una **transizione energetica cibersicura.**

Anche l'Italia ha assunto un ruolo attivo nella sfida della cybersicurezza, avviando numerose iniziative fina-

lizzate a garantire la cyber-resilienza dei propri sistemi energetici. Nel 2021, ad esempio, è stata istituita l'**Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale (ACN)**, un organismo fondamentale per il coordinamento delle attività di prevenzione e risposta agli attacchi informatici. L'ACN dedica particolare attenzione alla protezione delle infrastrutture critiche, consolidando così un approccio integrato e lungimirante nella difesa delle risorse strategiche del Paese. Consapevole dell'importanza di proteggere le infrastrutture energetiche, considerate risorse critiche vulnerabili a possibili attacchi informatici, **la legislazione italiana pone particolare attenzione alle sfide di cybersicurezza legate all'evoluzione dei sistemi energetici.**

Un esempio significativo di questo impegno è il più recente aggiornamento del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC). Obiettivo principale del PNIEC è garantire la transizione verso un sistema energetico sostenibile, decarbonizzato, sicuro e competitivo, in linea con gli impegni europei per la riduzione delle emissioni di gas serra e il raggiungimento degli obiettivi climatici. Il PNIEC punta a promuovere l'efficienza energetica, l'adozione di fonti di energia rinnovabile e la digitalizzazione delle infrastrutture energetiche, favorendo un'economia a basse emissioni di carbonio, assicurando al contempo la sicurezza e la resilienza delle reti energetiche. Tale Piano cita, in maniera esplicita, il tema della cybersicurezza applicata ai sistemi energetici, evidenziando come la crescente digitalizzazione e interconnessione dei sistemi energetici accrescano la vulnerabilità a minacce informatiche.

Il PNIEC sottolinea, perciò, la necessità di adottare tecnologie e protocolli avanzati per prevenire, rilevare e contrastare efficacemente gli at-

tacchi, rafforzando allo stesso tempo la resilienza delle infrastrutture energetiche, in modo da garantire la continuità operativa anche in caso di incidenti così da ridurre al minimo le conseguenze sulle forniture. **Parallelamente, si dà grande importanza alla collaborazione, sia a livello nazionale che europeo, con l'obiettivo di sviluppare strategie condivise, scambiare informazioni e adottare le migliori pratiche in materia di difesa cibernetica. Queste azioni sono pienamente coerenti con la Strategia Nazionale di Cybersicurezza 2022-2026, che prevede 82 interventi mirati a rafforzare la sicurezza cibernetica del Paese entro il 2026.**

L'impegno della ricerca per la cybersicurezza dei sistemi energetici

Ancora in linea con gli obiettivi di promuovere una transizione energetica cybersicura per il nostro Paese, a partire dal Piano Triennale 2022-2024, il programma nazionale della Ricerca di Sistema elettrico ¹, promosso dal MASE (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica), ha integrato tra i suoi progetti un'iniziativa strategica dedicata alla sicurezza cibernetica dei sistemi energetici. Il progetto 2.1 "Cybersecurity dei Sistemi Energetici" ², in particolare, è un progetto integrato che coinvolge tre enti di ricerca - RSE (Ricerca sul Sistema Energetico), ENEA (Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) e CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) - e numerose università italiane, che lavorano con l'obiettivo comune di contribuire al raggiungimento della

priorità "Digitalizzazione ed evoluzione delle reti" dell'Accordo di Programma 2022-2024.

Il progetto, conclusosi a dicembre 2024, ha consentito di progettare e implementare studi, strumenti e metodologie, con un livello di sviluppo tecnologico pari a TRL 4, finalizzati a: garantire la sicurezza delle tecnologie per le comunicazioni nei sistemi energetici; preservare la resilienza del sistema elettrico a fronte di attacchi cyber; sfruttare l'intelligenza artificiale per il rilevamento di anomalie cyber in infrastrutture energetiche. **Il progetto continuerà all'interno del Piano Triennale 2025-2027, con l'obiettivo di consolidare e migliorare il livello di sviluppo tecnologico raggiunto nel precedente triennio. L'intento è quello di introdurre progressivamente soluzioni sempre più avanzate e pronte per l'industrializzazione.**

¹ Il programma nazionale della Ricerca di Sistema elettrico sostiene attività di ricerca e sviluppo di rilevante interesse generale per il sistema elettrico e si estende anche a settori correlati, con ricadute dirette sul settore energetico.

² <https://www.ricercasistemaelettrico.enea.it/accordo-di-programma-mase-enea-2022-2024/digitalizzazione-ed-evoluzione-delle-reti/progetto-integrato-cyber-security-dei-sistemi-energetici.html>

L'infrastruttura di ricerca METROFOOD per la digitalizzazione delle filiere agroalimentari

L'infrastruttura di ricerca METROFOOD, coordinata da ENEA a livello italiano ed europeo, svolge un ruolo strategico nella digitalizzazione delle filiere agroalimentari, coprendone tutte le fasi. METROFOOD rappresenta un esempio all'avanguardia di come la digitalizzazione possa trasformare le filiere agroalimentari, migliorando efficienza, sostenibilità, sicurezza e trasparenza. Grazie all'integrazione tra componenti fisica ed elettronica, offre soluzioni innovative per affrontare le sfide del settore. La collaborazione tra ricerca, industria e consumatori, supportata da un approccio di co-creation e open innovation, garantisce che le soluzioni sviluppate siano rilevanti, applicabili ed in grado di contribuire a un sistema agroalimentare più resiliente, trasparente e sostenibile.

DOI 10.12910/EAI2025-023

di Claudia Zoani, Valeria Poscente, Emilia Pucci, Claudia Scagliarino, Massimo Iannetta - Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali - Divisione Sistemi Agroalimentari Sostenibili - ENEA

L'infrastruttura di ricerca METROFOOD, coordinata da ENEA a livello italiano ed europeo, svolge un ruolo strategico nella digitalizzazione delle filiere agroalimentari, coprendone tutte le fasi. **L'obiettivo dell'infrastruttura è supportare la ricerca e l'innovazione nel settore agroalimentare fornendo servizi integrati, accelerando la digitalizzazione dei sistemi agroalimentari e la loro efficienza, promuovendo la rintracciabilità, la sostenibilità e l'affidabilità di prodotti e processi e delle informazioni fornite ai cittadini, alle autorità locali ed a tutti gli stakeholder.** Un elemento cruciale è rappresentato dalla raccolta, analisi e accessibilità dei big data, garantendo la riferibilità metrologica e l'affidabilità dei risultati analitici e promuovendo la comparabilità e l'integrazione di dati metrologicamente affidabili. In tal senso, la digitalizzazione coinvolge tutte le fasi della filiera, con vantaggi in termini di costi,

qualità dei dati e accesso in tempo reale a informazioni da parte di un pubblico ampio.

METROFOOD, come infrastruttura di ricerca innovativa, è in grado di fornire un apporto fondamentale per ogni anello di questa catena, integrando tecnologie avanzate come sensori intelligenti, sistemi di calcolo ad alte prestazioni (HPC), strumenti di intelligenza artificiale (IA) e blockchain, al fine di raccogliere, integrare e analizzare grandi volumi di dati lungo tutta la filiera. Il contributo di METROFOOD alla digitalizzazione si estende anche alla gestione e all'utilizzo dei dati, promuovendo la visione di un sistema agroalimentare più sicuro, resiliente e trasparente.

Tecnologie ed integrazione: un sistema innovativo

METROFOOD integra una componente fisica ed una elettronica, creando un ecosistema tecnologico unico per la digitalizzazione del settore agro-

alimentare. La componente fisica coordina e integra facilities all'avanguardia: laboratori per la caratterizzazione chimica, chimico-fisica e microbiologica degli alimenti e di ogni altra matrice di interesse per il settore agroalimentare, impianti per lo sviluppo e la produzione di Materiali di Riferimento, campi e fattorie sperimentali per la produzione agricola e l'allevamento, impianti per la trasformazione e la conservazione degli alimenti, cucine-laboratorio e siti "demo" per il coinvolgimento diretto degli stakeholder e la gestione di Living Lab. La componente elettronica fornisce accesso ad una piattaforma per la raccolta, condivisione e integrazione dei dati secondo l'approccio FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*). **Soluzioni innovative basate su sistemi Internet of Things (IoT), IA e blockchain supportano la digitalizzazione dei sistemi agroalimentari, promuovendo qualità & sicurezza, rintracciabilità, food tran-**

sparency, sostenibilità ed economia circolare. Le applicazioni di queste tecnologie coprono ogni fase della filiera:

- **Produzione primaria:** sensori intelligenti e sistemi IoT vengono utilizzati per monitorare e raccogliere parametri ambientali e agricoli (es.: temperatura, umidità) analizzati tramite piattaforme digitali integrate con sistemi HPC e IA, che permettono lo sviluppo di modelli predittivi al fine di ottimizzare l'uso delle risorse naturali e minimizzare l'impatto ambientale.
- **Trasformazione:** la blockchain facilita la tracciabilità dei prodotti alimentari, assicurando che ogni fase del processo venga documentata e verificata. Strumenti e servizi avanzati vengono utilizzati per monitorare e migliorare la lavorazione degli alimenti, garantendo elevati standard di qualità e sicurezza.
- **Distribuzione e logistica:** la tracciabilità digitale dei prodotti con blockchain garantisce un monitoraggio dei movimenti lungo la filiera, aumentando la trasparenza e riducendo il rischio di frodi alimentari. Sensori e modelli predittivi basati su IA consentono di ottimizzare la logistica, riducendo i tempi di consegna e minimizzando le perdite legate alla deperibilità dei prodotti.
- **Commercializzazione:** piattaforme digitali consentono al consumatore di accedere a dati certificati, offrendo alle aziende uno strumento per dimostrare la conformità a standard di qualità, sicurezza e sostenibilità. Soluzioni per la gestione intelligente delle scorte consentono di monitorare la qualità dei prodotti in tempo reale e ridurre gli sprechi.
- **Post-vendita:** lo sviluppo di modelli di *machine learning* favorisce la creazione di ecosistemi digitali per la gestione e il recupero degli scarti, supportando soluzioni innovative per il riciclo e la trasformazione dei sot-

toprodotti in un'ottica di bioeconomia circolare.

Big Data, AI e Blockchain: costruire trasparenza e fiducia

La gestione dei big data è al centro dell'infrastruttura METROFOOD, che utilizza un'architettura orientata ai servizi per la raccolta, l'integrazione e l'interoperabilità dei dati raccolti dalle facilities fisiche e dai sistemi IoT lungo tutte le fasi della filiera. Questo approccio garantisce che i dati siano non solo accessibili, ma anche metrologicamente riferibili, ovvero collegati a standard riconosciuti a livello internazionale per garantire l'accuratezza e la comparabilità delle misurazioni.

L'integrazione di Open Data e ICT (OD&ICT) consente di gestire, elaborare ed archiviare grandi quantità di dati e rendere disponibili i risultati in

tutte le fasi del processo di analisi. Questo sistema si basa su una potente infrastruttura hardware/software ottimizzata per il calcolo HPC, ospitata presso 3 data center: CRESCO7 (ENEA), ReCaS (Università degli Studi di Bari Aldo Moro), Stake Lab (Università degli Studi del Molise).

Attraverso tecniche di clustering, classificazione e regressione, METROFOOD sviluppa modelli predittivi in grado di fornire informazioni, ad esempio, sulle rese agricole, la shelf-life e la qualità dei prodotti, o identificare pattern relativi all'origine. Elemento distintivo è l'uso dell'IA esplicativa (XAI), che non solo fornisce previsioni, ma rafforza la fiducia degli utenti finali grazie alla capacità di rendere comprensibili e trasparenti le decisioni prese dai modelli.

L'implementazione della blockchain completa questo sistema, creando

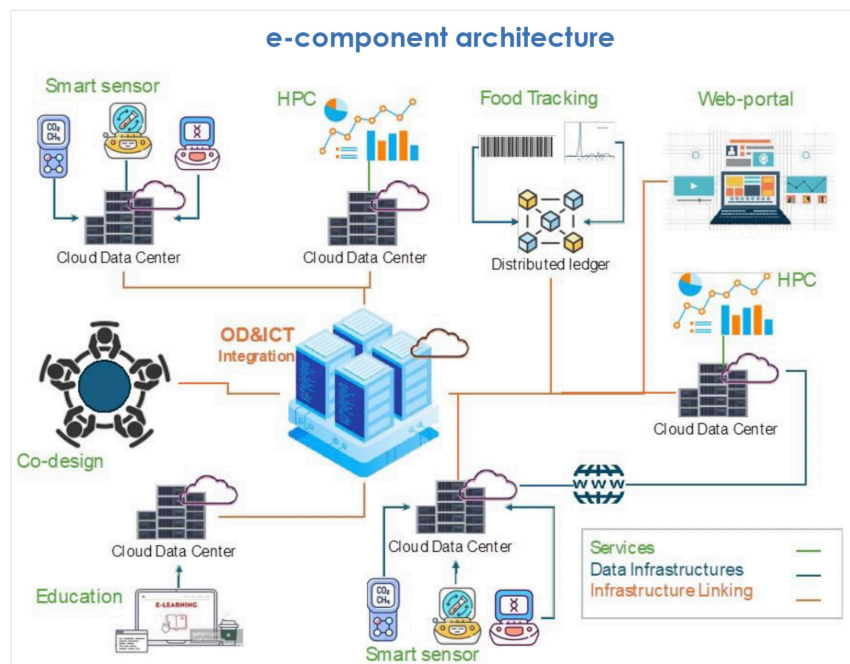


Figura 1: architettura della componente elettronica dell'infrastruttura METROFOOD.

Tratto da: Di Bitonto P, Magarelli M, Novielli P, Romano D, Diacono D, de Trizio L, et al. "From data to nutrition: the impact of computing infrastructure and artificial intelligence". *Explor Foods Foodomics*. 2024;2:810-29 (<https://doi.org/10.37349/eff.2024.00063>)

un registro digitale dalla produzione fino al consumo finale attraverso l'ottimizzazione dei tempi di processo, integrità dei dati, trasparenza, sicurezza e privacy, gestione efficiente delle risorse e adozione di pratiche sostenibili.

Un sistema agroalimentare resiliente e sostenibile

METROFOOD rappresenta un esempio all'avanguardia di come la digitalizzazione possa trasformare le filiere agroalimentari, migliorando efficienza, sostenibilità, sicurezza e trasparenza. Grazie all'integrazione tra componenti fisica ed elettronica, offre soluzioni innovative per affron-

tare le sfide del settore. La collaborazione tra ricerca, industria e consumatori, supportata da un approccio di *co-creation* e *open innovation*, garantisce che le soluzioni sviluppate siano rilevanti, applicabili ed in grado di contribuire a un sistema agroalimentare più resiliente, trasparente e sostenibile.

Per informazioni: claudia.zoani@enea.it

Acronimi:

OD: Open Data

ICT: Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione

XAI: IA esplicativa

IA: Intelligenza Artificiale

IoT: Internet of Things

FAIR: Findable, Accessible, Interoperable, Reusable

HPC: calcolo ad alte prestazioni

Studiare gli effetti del cambiamento climatico con l'I.A.

di Stefania Marconi – Servizio Relazioni con i media

L'intelligenza artificiale può giocare un ruolo di primo piano nello studio del cambiamento climatico, per analizzare dati complessi, fare previsioni e sviluppare soluzioni innovative per mitigare gli impatti. E' quanto emerge da uno studio condotto da Claudia Zoani ricercatrice del Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali dell'ENEA, in collaborazione con un team dell'Università degli Studi di Bari coordinato dalla professoressa Sabina Tangaro.

I primi risultati – ottenuti nell'ambito del progetto METROFOOD-IT finanziato dal PNRR e pubblicati sulla rivista *Machine Learning and Knowledge Extraction*, che gli ha dedicato anche la copertina – aprono nuove prospettive per la gestione sostenibile del suolo, pratiche agricole più sostenibili, la tutela dell'ambiente e la sicurezza alimentare.

Le tecniche di machine learning hanno consentito di identificare una delle principali 'sentinelle' della salute del terreno, il microbioma, vale a dire l'insieme di batteri, funghi e protisti che popolano il terreno e giocano un ruolo cruciale nella dinamica del carbonio in risposta al cambiamento climatico. Questa scoperta può avere implicazioni di rilievo per la mitigazione dei cambiamenti climatici e la gestione sostenibile del suolo.

Lo studio ha preso in esame dati raccolti da un'indagine condotta su 332 campioni di suolo raccolti in 29 paesi, rappresentativi di una vasta gamma di condizioni climatiche e di caratteristiche del suolo. Questo approccio globale ha permesso di 'catturare' le differenze regionali nei modelli di uso del suolo, consentendo ai ricercatori di costruire modelli predittivi più robusti. "In un'epoca in cui il cambiamento climatico richiede risposte immediate e innovative, integrare l'intelligenza artificiale con la conoscenza della dinamica del microbioma offre un'opportunità unica per proteggere il suolo, salvaguardare la sicurezza alimentare e costruire un futuro più sostenibile – sottolinea Claudia Zoani-. L' I.A. offre strumenti molto efficaci per analizzare dati complessi, fare previsioni e sviluppare soluzioni innovative per mitigare gli effetti del cambiamento climatico e adottare pratiche agricole sostenibili che promuovano la produzione alimentare nel lungo termine" conclude.

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
Laboratorio Tecnografico - Centro Ricerche ENEA Frascati

www.enea.it

NEL PROSSIMO NUMERO PARLEREMO DI:

Energia e agricoltura: sinergie per un futuro sostenibile

Il prossimo numero della rivista Energia, Ambiente e Innovazione sarà incentrato sulla relazione tra agricoltura ed energia, alla luce delle possibili sinergie e delle sfide emergenti. Rafforzare questa interconnessione è fondamentale e rappresenta una strategia vincente per costruire un futuro più sostenibile per tutti.

L'integrazione di tecnologie energetiche rinnovabili nelle pratiche agricole permette di ridurre l'impatto ambientale e migliorare l'efficienza. Pannelli solari installati nei campi, ad esempio, possono alimentare sistemi di irrigazione e macchinari, riducendo la dipendenza dai combustibili fossili. Le turbine eoliche possono generare energia pulita per le attività agricole, mentre i biogas prodotti dai residui agricoli offrono una soluzione circolare sia per la gestione dei rifiuti che per la generazione di energia.

Questa sinergia non solo contribuisce a ridurre le emissioni di gas serra, ma promuove anche lo sviluppo economico nelle aree rurali, creando posti di lavoro e nuove opportunità. Le pratiche agricole sostenibili, come l'agrivoltaico, permettono di ottimizzare l'uso del suolo, combinando agricoltura, produzione di energia rinnovabile e tutela del paesaggio. Inoltre, l'adozione di tecnologie innovative, come i sensori IoT e i droni, consente di semplificare la gestione delle colture e incrementare l'efficienza delle risorse energetiche e idriche, in linea con l'approccio NEXUS (acqua, energia e cibo).

In conclusione, la sinergia tra agricoltura ed energia rappresenta una via maestra per affrontare le sfide ambientali ed economiche. L'integrazione di tecnologie rinnovabili nelle pratiche agricole non solo riduce l'impatto ambientale, ma promuove anche lo sviluppo sostenibile delle aree rurali. La collaborazione tra agricoltori, ricercatori e tecnologi è, quindi, essenziale per sviluppare soluzioni innovative e resilienti in grado di garantire la sicurezza alimentare e la sostenibilità energetica. Solo attraverso un impegno congiunto e una visione integrata sarà possibile costruire un futuro più verde e prospero.

eai.enea.it

