

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, G.W., 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/>