

# Il Machine Learning per la predizione dei guasti nella rete di distribuzione elettrica

La rete di distribuzione elettrica è un sistema complesso che permette di trasportare l'elettricità fino al consumatore finale. La sua sicurezza, affidabilità e resilienza sono fondamentali. Qualsiasi malfunzionamento in un singolo componente può mettere a rischio l'affidabilità dell'intera rete a causa dell'interconnessione di molti elementi. Gli scenari energetici futuri saranno caratterizzati dall'aumento della diffusione delle fonti rinnovabili non programmabili e da una maggiore frequenza di fenomeni meteorologici estremi. Pertanto, è sempre più necessario studiare approcci che aiutino a identificare potenziali situazioni critiche nei componenti della rete o a prevedere possibili guasti. Il Machine Learning, una branca dell'Intelligenza Artificiale, può svolgere un ruolo fondamentale in questo contesto. I modelli di Machine Learning, sfruttando i dati storici della rete elettrica, possono aiutare a prevedere futuri guasti così da permettere una più efficace manutenzione predittiva.

DOI 10.12910/EAI2024-032

di Amedeo Buonanno, Laboratorio Smart Grid e Reti Energetiche – ENEA

**L**a rete di distribuzione elettrica è un sistema complesso che permette di trasportare l'elettricità fino al consumatore finale. Il suo ruolo è quindi fondamentale nella vita delle persone ed è per questo necessario garantirne l'**adeguatezza** (capacità del sistema elettrico di rispondere alla richiesta di energia elettrica rispettando i requisiti di sicurezza e qualità del servizio), la **sicurezza** (capacità del sistema elettrico di far fronte al cambiamento dello stato operativo garantendo il rispetto dei limiti di funzionamento), l'**affidabilità** (capacità del sistema elettrico di garantire in modo continuo la potenza ai consumatori finali rispettando standard operativi definiti e soddisfacendo la domanda energetica desiderata o, in altre parole, la probabilità che il sistema, messo in servizio al tempo  $t = 0$ , sia ancora funzionante al tempo  $t = T$ ) e la **resilienza** (capacità del sistema e dei

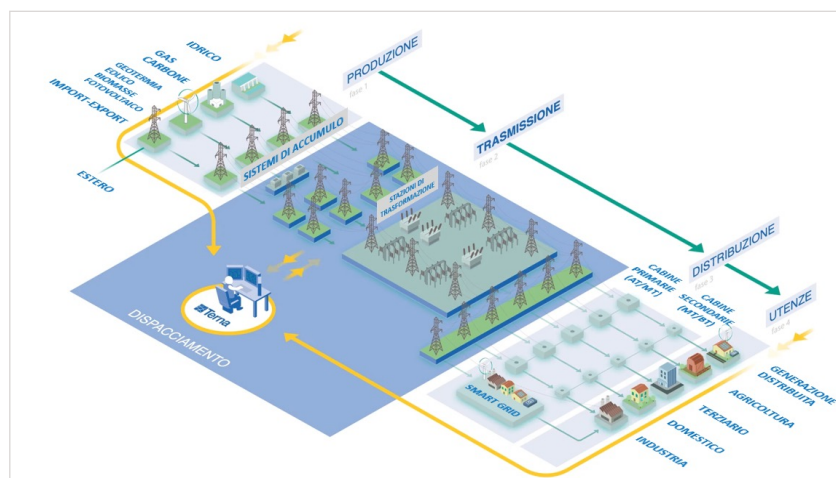


Figura 1 - Schema Concettuale del Sistema Elettrico Nazionale - [adattato da [1]]

suoi componenti di sopportare e contrastare sollecitazioni che superano i limiti di tenuta del sistema stesso e di riportarsi, in modo rapido ed efficiente, nello stato di funzionamento normale).

A causa della presenza di moltissimi

elementi interconnessi, l'interruzione o il malfunzionamento di anche solo un componente può portare ad un effetto domino mettendo a rischio l'affidabilità dell'intera rete. Per questo motivo è **fondamentale che ogni singolo componente sia affidabile e**

che eventuali situazioni critiche possano essere identificate in anticipo così da garantire un funzionamento corretto dell'intera rete.

### Realizzare una rete sempre più 'intelligente'

Gli scenari energetici futuri saranno sempre più caratterizzati dall'aumento della diffusione delle fonti rinnovabili non programmabili e da una maggiore frequenza di fenomeni meteorologici estremi per effetto del cambiamento climatico [2]. Aumenta quindi, sempre più, la necessità di studiare approcci che aiutino ad individuare possibili situazioni critiche nei componenti della rete o che permettano di prevedere potenziali malfunzionamenti, consentendo interventi rapidi che minimizzino il tempo di interruzione del servizio o che, idealmente, lo annullino. **In termini generali, si vorrebbe realizzare una rete elettrica sempre più "intelligente", capace di reagire in modo autonomo ed efficiente agli eventi.**

Per raggiungere questo ambizioso traguardo, è essenziale che la rete sia capace di monitorare il proprio stato di funzionamento e, con opportuni strumenti, riesca ad identificare prontamente situazioni potenzialmente rischiose. Questo permetterebbe interventi proattivi, così da ridurre al minimo i guasti e le conseguenti interruzioni del servizio. Attualmente, invece, la preparazione della rete a fronteggiare le condizioni meteorologiche estreme si svolge a livello operativo, con una manutenzione continua per garantire il corretto funzionamento della rete, e a livello strategico, attraverso un'analisi successiva all'evento per individuare le zone più a rischio, cioè quelle con la più alta probabilità di subire danni.

In questo contesto, **il Machine Learning (ML) può svolgere un ruolo fondamentale** [3]. Il ML è una branca

dell'Intelligenza Artificiale (IA) comprendente tutti quei metodi che, apprendendo dai dati o dall'esperienza passata, estraggono informazioni utili per prendere decisioni in situazioni nuove.

I modelli di ML, e in particolare quelli di Deep Learning (che apprendono una rappresentazione gerarchica dei dati), possono trovare un'applicazione pratica anche nel campo energetico. Una volta addestrati su grandi quantità di dati storici connessi al funzionamento della rete elettrica - quali, a titolo di esempio, i dati sui guasti passati, le condizioni meteorologiche, le variazioni di carico e altri fattori rilevanti - questi modelli sono capaci di identificare tendenze, pattern che possono aiutare nella previsione di futuri guasti o malfunzionamenti e ottimizzare i processi di manutenzione, orientandoli sempre più verso interventi predittivi piuttosto che programmati.

### Modelli per la previsione dei guasti

Con tale intento, **i ricercatori del Laboratorio Smart Grid e Reti Energetiche dell'ENEA, in collaborazione con il Politecnico di Bari e l'Università Roma Tre, hanno sviluppato, nell'ambito del progetto RAFAEL, modelli di ML per la previsione dei guasti di una rete di distribuzione. In particolare, l'attività ha riguardato l'analisi dei guasti avvenuti tra il 2015 e il 2020 in un'ampia rete elettrica di distribuzione del Sud Italia** [4].

Dall'analisi è emerso che la maggior parte dei guasti si concentra nei mesi che vanno da maggio a settembre ed interessa soprattutto i giunti (Figura 2).

La rete di distribuzione elettrica è infatti molto vulnerabile al fenomeno delle ondate di calore (periodi prolungati caratterizzati da temperature che superano la norma stagionale,

spesso accompagnate da una mancanza di precipitazioni). Questo porta a un surriscaldamento e un disseccamento del terreno, rendendo più complessa la dispersione del calore prodotto dal flusso di corrente nei cavi interrati. Durante i mesi più caldi, l'uso massiccio di condizionatori mette ulteriormente a dura prova le linee elettriche, contribuendo alle intense sollecitazioni termiche a cui sono sottoposte. Queste condizioni di carico e ambientali possono provocare un incremento della temperatura operativa, che può causare un deterioramento dei cavi, riducendone drasticamente la vita utile e causando, potenzialmente, rotture improvvise e premature. Questo fenomeno ha un impatto particolarmente rilevante sulle reti elettriche delle aree urbane densamente popolate, dove le linee di distribuzione dell'energia elettrica sono necessariamente realizzate con cavi interrati. **Inoltre, a causa dei cambiamenti climatici, vi è un aumento dei giorni con temperature anomale, che rende sempre più frequente il fenomeno e, di conseguenza, aumenta la potenziale presenza di problemi sulla rete di distribuzione elettrica interrata.**

È chiaro, da quanto discusso finora, che l'impatto delle ondate di calore sulle linee di distribuzione sotterranee non sia istantaneo, ma richieda

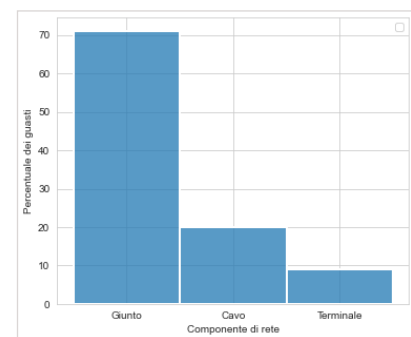


Figura 2 - Percentuale dei guasti osservati sulla rete di distribuzione considerata [adattato da [4]]

tempo perché possa provocare effetti visibili e potenzialmente distruttivi. **Un sistema di previsione che riesca ad identificare preventivamente un guasto causato dalle ondate di calore dovrebbe monitorare le condizioni meteorologiche e i flussi di corrente per un periodo di tempo sufficientemente lungo per permettere al fenomeno di avere un impatto.** Questo è l'approccio adottato dal team di ricerca e che viene schematicamente illustrato nella Figura 3.

Come per tutti i sistemi di ML, vi è una prima fase, durante la quale il modello predittivo viene addestrato utilizzando dati storici di guasto, meteorologici (ad es. temperatura e umidità) e relativi ai flussi di corrente in un periodo di osservazione sufficientemente lungo per comprendere e catturare la dinamica del sistema. A valle dell'addestramento del modello, si procede alla fase operativa, in cui il modello utilizza le informazioni meteorologiche e di corrente degli ultimi 30 giorni per prevedere se ci sarà un guasto nelle successive 6 ore. A partire da questa informazione, il gestore della rete può intraprendere azioni preventive sulla rete di distribuzione interessata per prevenire danni all'infrastruttura e disagi per i cittadini e le aziende.

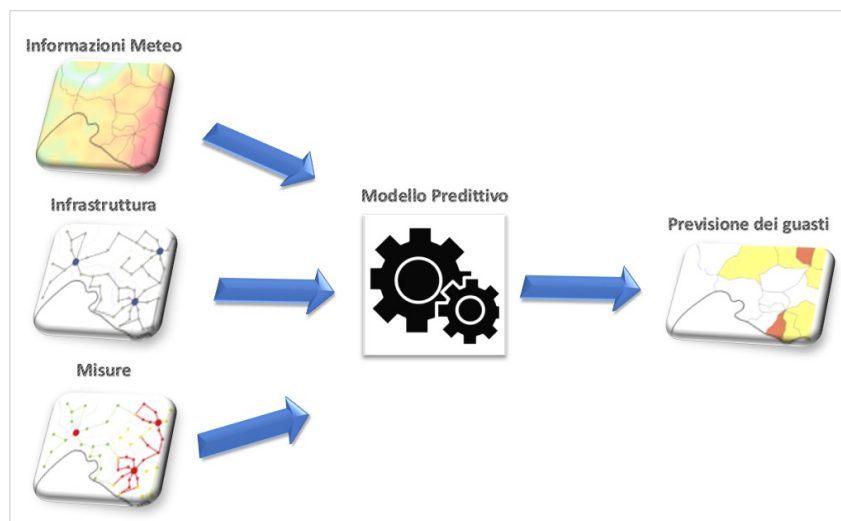


Figura 3 - Schema concettuale del sistema previsionale [adattato da [4]]

### Soluzioni innovative per migliorare adeguatezza, affidabilità, resilienza e sicurezza delle reti

**Il Laboratorio Smart Grid e Reti Energetiche dell'ENEA si impegna da tempo a sviluppare soluzioni innovative che migliorino l'adeguatezza, l'affidabilità, la resilienza e la sicurezza delle reti elettriche, utilizzando le più recenti tecniche e metodologie. Queste includono l'uso di algoritmi avanzati per l'ottimizzazione del carico, sistemi di gestione avanzata dell'energia, algoritmi per la previsione della domanda e della producibilità da fonti rinnovabili basati sull'utilizzo dell'IA, modelli di anomaly detection**

**e di fault prediction, modelli per l'ottimizzazione dell'uso delle risorse distribuite nell'erogazione dei servizi ancillari.** In particolare, nell'ambito del Progetto 2.3 "Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche" della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale, il laboratorio è impegnato, tra le diverse attività, ad esaminare l'impatto che le anomalie nei vari componenti della rete (ad es. pannelli fotovoltaici, turbine eoliche, batterie, ecc.) possono avere sull'affidabilità in modo da individuare parametri utili per l'analisi e la pianificazione in vista degli scenari energetici futuri.

per info: [amedeo.buonanno@enea.it](mailto:amedeo.buonanno@enea.it)

#### Bibliografia

1. Terna, "Come funziona il sistema elettrico" - <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/ruolo-terna/come-funziona-sistema-elettrico>
2. IPCC Climate Change Report 2023 - <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
3. 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.
4. 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.