

MACHINE LEARNING NELLA DIAGNOSTICA DEI CIRCUITI, L'IDENTIFICAZIONE DEI MODELLI, IL MONITORAGGIO E LA PREVISIONE NELLE SMART GRID

L. Becchi, M. Bindi, F. Corti, F. Grasso, M. Intravaia, G.M. Lozito, A. Luchetta, M. C. Piccirilli

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DINFO),

Via S. Marta 3 - 50139 FIRENZE, e-mail mariacristina.piccirilli@unifi.it

Parole chiave: Reti Neurali, Machine Learning, Diagnosi di Guasto, Smart Grid

Nell'area di ricerca sulle Reti Neurali, l'Unità di Firenze si dedica ai seguenti temi:

- a) modellistica e diagnostica dei circuiti analogici e dei convertitori;
- b) metodologie per la diagnosi e la prognosi di reti di distribuzione in AT/MT;
- c) Power quality e smart-grid.

La ricerca nell'ambito della diagnostica per guasti parametrici in circuiti analogici ha preso spunto dal lavoro svolto in passato dall'unità, rivolto alla determinazione della testabilità e dei gruppi di ambiguità associati alle equazioni di diagnosi di guasto relative ai punti di misura del circuito in esame. Ciò costituisce un importante punto di partenza per lo sviluppo di tecniche ausiliarie che prevedano l'uso di reti neurali di vario tipo, per le quali gli insiemi di apprendimento siano costituiti da campioni del segnale nel tempo o in frequenza. L'impiego combinato di risultati validi, provenienti da entrambe le linee di ricerca testabilità-reti neurali, ha consentito di implementare delle procedure complete di modellamento (identificazione), prognostica e individuazione dei guasti e di raffrontarle con altre soluzioni proposte in letteratura. Le tecniche definite per le tipologie tempo-invarianti sono state estese ai circuiti a commutazione, tipo convertitori DC-DC [3, 4]. Il medesimo approccio nel dominio del tempo è stato applicato per il riconoscimento e la classificazione dei malfunzionamenti in molteplici dispositivi elettromeccanici, come ad esempio le valvole a sfera impiegate nelle applicazioni Carbon Capture [6]

La seconda linea indirizza la diagnosi di guasto e la localizzazione dei malfunzionamenti alla fase di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, dove riveste un ruolo fondamentale sia dal punto di vista della qualità del servizio che della continuità, in quanto consente di organizzare le operazioni di manutenzione e di ridurre i tempi di ripristino. Tali aspetti diventano determinanti, anche dal punto di vista economico, nel caso di reti elettriche caratterizzate da un'elevata estensione territoriale, dove l'individuazione del ramo affetto da malfunzionamento richiede un importante investimento di tempo e risorse. Per questa attività di ricerca è previsto l'utilizzo di reti neurali a valori complessi [2,3], che permettono di trattare direttamente le misure fasoriali ottenute nel dominio della frequenza senza necessità di particolari codifiche. È stata quindi sviluppata una procedura di monitoraggio per linee elettriche aeree di alta tensione e reti di distribuzione esercite mediante cavi interrati [2, 8, 10]. In entrambi i casi, la rilevazione e la localizzazione dei malfunzionamenti vengono ottenute attraverso l'analisi della risposta in frequenza. L'idea di base è quella di iniettare segnali sinusoidali a elevata frequenza all'interno della rete elettrica utilizzando i sistemi di comunicazione PLC (Power Line Communications) e, successivamente, classificare la risposta in frequenza mediante la rete neurale a valori complessi. A tal proposito, la caratterizzazione in frequenza dell'infrastruttura elettrica sia nelle condizioni nominali che in quelle di malfunzionamento gioca un ruolo fondamentale. In [5] viene proposto un metodo di modellazione a parametri concentrati per cavi di Media Tensione nella banda 90kHz-1Mhz esaminando anche l'influenza di eventuali sovratemperature. Tali informazioni permettono di sviluppare algoritmi neurali di prevenzione sempre più specifici.

Il terzo ambito indaga le problematiche relative alla gestione ottimale di reti di natura complessa rappresentate da comunità energetiche rinnovabili, quindi da nuclei energetici "eterogenei" (che siano allo stesso tempo consumatori, produttori ed accumulatori), con il monitoraggio dei disturbi e della "Power Quality", lo studio di tecniche NILM (Non Intrusive Load Monitoring) di disaggregazione delle misure nelle varie componenti, l'ottimizzazione degli accumuli in termini economici e di continuità del servizio [1, 7, 9].

BIBLIOGRAFIA

1. Talluri, G., Lozito, G. M., Grasso, F., Iturrino Garcia, C., & Luchetta, A. (2021). Optimal Battery Energy Storage System Scheduling within Renewable Energy Communities. *Energies*, 14(24), 8480.
2. I. Aizenberg, R. Belardi, M. Bindi, F. Grasso, S. Manetti, A. Luchetta, M.C. Piccirilli, "Failure Prevention and Malfunction Localization in Underground Medium Voltage Cables", *Energies*, 2021, 14, 85.
3. Bindi, M., Corti, F., Aizenberg, I., Grasso, F., Lozito, G. M., Luchetta, A., Piccirilli M.C. and Reatti, A. (2022). Machine Learning-Based Monitoring of DC-DC Converters in Photovoltaic Applications. *Algorithms*, 15(3), 74.
4. Bindi, M., Corti, F., Grasso, F., Luchetta, A., Manetti, S., Piccirilli, M. C., & Reatti, A. (2022). Failure prevention in DC-DC converters: Theoretical approach and experimental application on a zeta converter, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 70(1), 930-939.
5. M. Bindi, A. Luchetta, G. M. Lozito, C. F. M. Carobbi, F. Grasso and M. C. Piccirilli, "Frequency Characterization of Medium Voltage Cables for Fault Prevention through Multi-Valued Neural Networks and Power Line Communication Technologies, *IEEE Transactions on Power Delivery*, doi: 10.1109/TPWRD.2023.3270128.

6. M. Bindi, L. Paolucci, C. Iturrino-García, G. Losi, A. Luchetta, F. Grasso, G.M. Lozito, S. Gabrielli, "Machine learning-based prognosis for valves in Carbon Capture applications," Int. Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME 2023), Shanghai, China, Dec. 2023.
7. Bindi, M., Iturrino-García, C., Piccirilli, M.C., Luchetta, A., Paolucci, L., Power grid monitoring based on Machine Learning and Deep Learning techniques, *Journal of Autonomous Intelligence*, 2024, 7(1), 1124
8. Bindi, M., Piccirilli, M.C., Luchetta, A., Grasso, F., A Comprehensive Review of Fault Diagnosis and Prognosis Techniques in High Voltage and Medium Voltage Electrical Power Lines, *Energies*, 2023, 16(21), 7317
9. L. Becchi, E. Belloni, M. Bindi, M. Intraivaia, F. Grasso, G.M. Lozito, M.C. Piccirilli, Computationally Efficient Rule-Based Scheduling Algorithm for Battery Energy Storage Systems, *Sustainability*, Vol. 16, Issue 23, December 2024, Article number 10313, DOI 10.3390/su162310313
10. M. Bindi, M. Intraivaia, A. Luchetta, G.M. Lozito, L. Becchi, F. Grasso, M. Manno, C.M. Annigliato, F. Ferri, E. Bartoccini, Predictive Analysis of Criticality for Underground Medium Voltage Lines, in revisione per *Electric Power System Research*.