

METODO DI PREVISIONE FULMINI E PREVENZIONE PER SISTEMI ELETTRICI (PROGETTO PRIN 2022 – FELINES)

S. Barmada¹, S. Dodge¹, M. Brignone², D. Mestriner², M. Nicora², R. Procopio²(PI), A. Formisano³

¹DESTeC, Università di Pisa, Largo Lucio Lazzarino 2, 56121, Pisa

²DITEN, Università di Genova, Via Opera Pia 11a, 16145, Genova

³Dip. di Ingegneria, Univ. della Campania “Luigi Vanvitelli”, Via Roma 29, 810131 Aversa (CE)

Il progetto Forecast of the Effects of Lightning IN Electrical Systems è relativo allo sviluppo di un metodo di protezione da fulmini a partire da misurazioni di campi ElettroMagnetici (EM) antecedenti ad una scarica atmosferica per disconnettere, in parte o in toto, l’infrastruttura elettrica sotto la sua protezione. I campi in questione sono generati dai cosiddetti Preliminary Breakdown Pulses (PBP), eventi localizzati che si verificano durante le prime fasi di sviluppo del fulmine.

È stato osservato che, rispetto al Return Stroke (RS), la fase più rilevante del fulmine, i PBP generalmente sono caratterizzati da un quantitativo energetico inferiore e si evolvono su una dinamica più lenta. Sebbene l’occorrenza dei danni associati alle fasi preliminari fulmine non sia completamente nota e possa essere trascurata in molti casi, è importante notare che questi segnali non sono mai stati utilizzati come rilevatori preliminari del RS. Lo stato attuale delle misure di protezione dai fulmini non include alcuna azione preventiva in grado di prevedere l’occorrenza di un RS pericoloso a partire dalla rilevazione del PBP ed eventualmente di disconnettere dispositivi elettronici o macchine elettriche sensibili.

Il progetto FELINES mira a colmare questa lacuna, investigando la possibilità di trovare un segnale predittivo del RS, fornendo un nuovo tipo di misura di protezione (preventiva). Per le fulminazioni dirette, i sistemi di protezione dai fulmini (Lightning Protection Systems, LPSs) di solito forniscono una misura efficace, poiché il percorso della corrente del fulmine è identificabile. Per contro, gli effetti delle fulminazioni indirette sono più difficili da contrastare, poiché diversi percorsi trasferiscono l’energia dal canale di fulmine al sistema elettrico/elettronico, oggetto di protezione.

I PBP sono stati studiati in diversi contributi [1]–[4], in cui i dati misurati sono stati elaborati per analizzare la loro caratteristiche e la relazione con il RS; inoltre, sono stati proposti modelli dei PBP per riprodurre il fenomeno misurato in termini di corrente, campi EM e tensioni indotte su un sistema di distribuzione. Anche se gli autori di [4] hanno mostrato che in alcuni casi le tensioni indotte dai PBP possono essere abbastanza elevate da innescare dispositivi di protezione, il rischio associato alle fasi preliminari della scarica elettrica dei fulmini non è tipicamente considerato. Ciò può essere ragionevole, poiché la loro inclusione diretta nei procedimenti di valutazione del rischio comporterebbe un aumento significativo della complessità, senza un aumento analogo dei benefici. Tuttavia, i PBP sono senza dubbio una risorsa che dovrebbe essere sfruttata nella ricerca sui fulmini. Rispetto al RS, le parti iniziali del processo di fulminazione sono associate a dinamiche molto più lente (dell’ordine di decine o centinaia di microsecondi) e correnti molto più ridotte nel canale del fulmine (dell’ordine di pochi chiloampere), almeno fino poco prima del RS. Inoltre, l’intervallo di tempo tipico tra PBP e RS è dell’ordine di alcune decine di millisecondi [1]–[3]. Pertanto, la rilevazione precoce dei PBP consentirebbe di progettare un segnale di attivazione della protezione per la disconnessione di tutta l’elettronica vulnerabile e preziosa (ad esempio, convertitori di potenza) immediatamente prima che si sviluppi la sovratensione indotta dai fulmini. Questo è l’obiettivo del progetto FELINES.

Il primo campo d’applicazione studiato nel progetto riguarda le linee aeree di distribuzione dell’energia. Pertanto, si è ritenuto opportuno analizzare il fenomeni atmosferici in termini di tensioni indotte, che di fatto rappresentano la grandezza più rilevante ai fini della valutazione del rischio in tale contesto.

Inoltre, per far fronte alla natura rumorosa e imprevedibile delle forme d’onda di tensione associate ai PBP, il metodo prevede di adottare algoritmi e strumenti di Machine Learning (ML) per riconoscere

specifici pattern che possano rappresentare una previsione affidabile dei danni futuri. In dettaglio, la rilevazione di marcatori correlati ai PBP nelle forme d'onda di tensione indotta misurate può essere trattata come un tipico problema di classificazione, cioè un tipo specifico di riconoscimento di pattern. Un problema di classificazione tenta di assegnare ciascun valore di input a uno dei dati insieme di classi forniti. Nel sistema in oggetto, i valori di input sono i segnali PBP (forme d'onda delle tensioni indotte), mentre le classi sono “il RS in arrivo sarà/non sarà pericoloso per il sistema elettrico da proteggere”. Fino ad oggi, non sono disponibili dati sulla corrente condotta dai PBP e sulle relative forme d'onda dei campi EM per l'Italia. Tuttavia, è stato dimostrato che, a partire dalle equazioni di Maxwell, l'analisi computazionale dei campi EM può essere applicata per modellare l'interazione dei campi EM generati da eventi di fulmine con l'ambiente e gli oggetti in ivi collocati. Pertanto, il progetto FELINES ha previsto lo sviluppo di un modello che, a partire da un evento di fulmine, sia in grado di riprodurre i campi EM dei PBP, i campi EM dei RS e il loro accoppiamento con l'oggetto da proteggere.

A seguito di una fase di valutazione degli approcci disponibili in letteratura, si è optato per lo sviluppo di un modello della tipologia “Transmission Line”[5] che assume la scarica PBP come un'antenna filiforme disposta verticalmente ad una certa altezza dal terreno (alcuni km) ed esprime la corrente che si propaga lungo di essa in funzione del tempo e della quota. I parametri del modello sono stati caratterizzati a livello statistico attraverso una procedura di ottimizzazione (metodo Multivariate Ant Colony Algorithm for Continuous Optimization [6]) utilizzando come riferimento i dati di PBP in oltre 3000 eventi di fulminazione [7].

In seguito, utilizzando simulazioni numeriche mediante il software dedicato LIGHT-PESTO [8] è stato generato un dataset di “esperimenti virtuali”, ovvero forme d'onda di tensione indotta da PBP associate a una classe (RS pericoloso o RS non pericoloso). In prossimi sviluppi, tale dataset sarà utilizzato per addestrare e testare un sistema di ML per prevedere l'entità di un RS incombente. In ultimo si studieranno procedure di protezione da attivare in base alla previsione del modello di ML.

Acknowledgment:

Questo lavoro è finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca – progetto PRIN 2022, prot. 20224CL7HM – e dall'Unione Europea-Next Generation EU

Bibliografia

- [1] P. Kašpar, O. Santolík, I. Kolmašová, and T. Farges, ‘A model of preliminary breakdown pulse peak currents and their relation to the observed electric field pulses’, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 44, no. 1, pp. 596–603, 2017.
- [2] I. Kolmasova, T. Marshall, S. Bandara, S. Karunarathne, M. Stolzburg, N. Karunarathne and R. Seidlecki, ‘Initial breakdown pulses accompanied by VHF pulses during negative cloud-to-ground lightning flashes’, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 46, no. 10, pp. 5592–5600, 2019.
- [3] Y. Wang, X. Qie, D. Wang, M. Liu, D. Su, Z. Wang, D. Liu, Z. Wu, Z. Sun and Y. Tian, ‘Beijing Lightning Network (BLNET) and the observation on preliminary breakdown processes’, *Atmospheric Res.*, vol. 171, pp. 121–132, 2016.
- [4] F. Rachidi, M. Rubinstein, S. Guerrieri, and C. A. Nucci, ‘Voltages induced on overhead lines by dart leaders and subsequent return strokes in natural and rocket-triggered lightning’, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 39, no. 2, pp. 160–166, 1997.
- [5] S. Karunarathne, T. C. Marshall, M. Stolzenburg, N. Karunarathna, Modeling initial breakdown pulses of CG lightning flashes. *Geophys. Res. Atmos.* 119 (14) (2014) 9003–9019. doi:<https://doi.org/10.1002/2014JD021553>.
- [6] Y. Zhu, V. A. Rakov, M. D. Tran, A study of preliminary breakdown and return stroke processes in high-intensity negative lightning discharges, *Atmosphere* 7 (10) (2016). doi:[10.3390/atmos7100130](https://doi.org/10.3390/atmos7100130).
- [7] F. O. De Franca, G. P. Coelho, F. J. Von Zuben, R. R. d. F. Attux, Multivariate ant colony optimization in continuous search spaces, in: *Proc. 10th Annual Conf. on Genetic and Evolutionary Computation*, Association for Computing Machinery, 2008, p. 9–16. doi:[10.1145/1389095.1389098](https://doi.org/10.1145/1389095.1389098).
- [8] L. Farina, D. Mestriner, R. Procopio, M. Brignone and F. Delfino, "The Lightning Power Electromagnetic Simulator for Transient Overvoltages (LIGHT-PESTO) Code: A User-Friendly Interface With the MATLAB-Simulink Environment," in *IEEE Letters on Electromagnetic Compatibility Practice and Applications*, vol. 2, no. 4, pp. 119-123, Dec. 2020, doi: [10.1109/LEMCPA.2020.3032180](https://doi.org/10.1109/LEMCPA.2020.3032180).