

# RETI NEURALI PROFONDE PER LA CLASSIFICAZIONE DELLO STATO DI VITA DELLE BATTERIE

Federico Succetti, Antonello Rosato, Rodolfo Araneo, Massimo Panella

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni (DIET)  
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"  
Via Eudossiana 18, 00184 Roma

La ricerca è stata svolta nell'ambito delle tecniche di intelligenza computazionale, in particolare per l'applicazione delle reti neurali al contesto reale di classificazione di serie energetiche. I *Battery Energy Storage System* (BESS) stanno assumendo un ruolo sempre più cruciale nell'infrastruttura della rete elettrica, soprattutto alla luce della crescente integrazione di fonti di energia rinnovabile intermittenti [1]. L'aumento della domanda energetica unito alla carenza di fonti energetiche sostenibili e affidabili rappresenta già una sfida significativa per il prossimo futuro. In questo contesto, stanno assumendo un ruolo sempre più importante i *Battery Management System* (BMS), sistemi in grado di misurare i segnali di tensione, corrente e temperatura, che vengono poi utilizzati per stimare lo Stato di Potenza, lo Stato di Salute e lo Stato di Carica delle batterie [2]. La stima accurata di questi stati permette di identificare il degrado delle celle e prevenire malfunzionamenti. Tuttavia, le batterie presentano caratteristiche complesse, non lineari e variabili nel tempo, rendendo la determinazione precisa del loro stato e della loro salute una sfida significativa.

Le reti neurali, in particolare le *Deep Neural Network* (DNN), rappresentano l'approccio più utilizzato in tale ambito grazie alla loro capacità di realizzare modelli di classificazione complessi [3]. In molte situazioni reali si possono avere serie temporali con caratteristiche molto simili, come quelle associate ai cicli di carica/scarica di una batteria. Ciò rende difficile classificare lo stato di vita di una batteria utilizzando i dati di serie temporali. Questo problema risulta cruciale per scopi legati alla stabilizzazione della rete elettrica, alla gestione lato domanda e all'ottimizzazione dei costi nel contesto delle comunità energetiche. L'elevata similarità di queste serie temporali rende necessario sviluppare un sistema adatto per descrivere le relazioni tra diverse serie temporali e utilizzare quindi tale modello di classificazione.

Nella presente ricerca è stato studiato un modello e tre differenti approcci atto ad analizzare dati di serie temporali associati ai profili di carica/scarica di una batteria [4]. Il modello proposto è basato su una rete neurale profonda che sfrutta le potenzialità dei *layer* ricorrenti di tipo *Long Short-Term Memory* (LSTM), illustrato in Fig. 1. In questo contesto, le reti LSTM vengono utilizzate per gestire il problema della classificazione multi-classe.

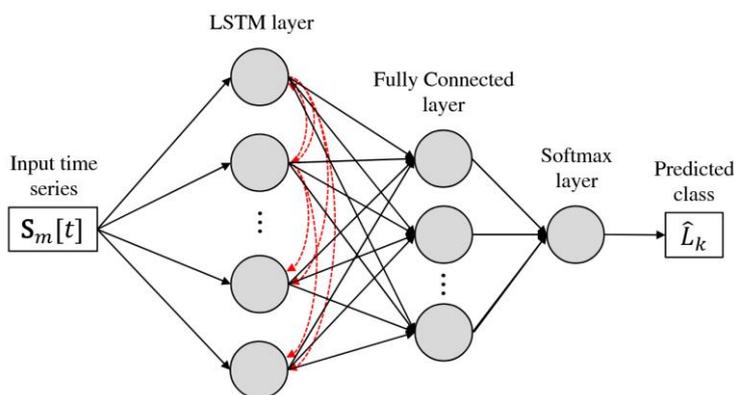


Figura 1 - Struttura della rete ricorrente proposta, basata su layer LSTM.

Per quanto riguarda le tre tipologie di approccio proposte, la prima consiste in 3 classi e 55 cicli per classe, la seconda in 5 classi e 33 cicli per classe, mentre la terza comprende 7 classi e circa 23 cicli per classe. Questa granularità nella classificazione consente una maggiore flessibilità nell'applicazione del modello, in particolare rispetto ai vincoli derivanti dalla scarsità dei dati a disposizione. I dati delle serie temporali utilizzate nella ricerca sono relativi a misurazioni reali, effettuate in laboratorio, della tensione di carica-scarica di una batteria LiFePO4. Per valutare la bontà del modello proposto sono state esaminate le prestazioni su molteplici esecuzioni con diverse inizializzazioni casuali. Nella tabella sottostante sono riportati i valori medi di accuratezza per ciascun approccio insieme alla deviazione standard.

**Tabella 1 - Accuratezza della classificazione ottenuta con la rete ricorrente proposta per ciascun approccio.**

Case	N. of classes	Accuracy [%]
A	3	93.3 $\pm$ 2.5
B	5	80.6 $\pm$ 1.7
C	7	83.0 $\pm$ 1.7

*La presente ricerca è stata in parte svolta nell'ambito del progetto **PRIN 2022 "MESSI - Management Energy Systems for Smart Islands"**, codice 2022HMYX2C, finanziato dall'Unione Europea – Next generation EU, CUP B53D23002650006.*

### **Riferimenti bibliografici**

- [1] T. Gao, L. Jiang, K. Liu, D. Xiong, Z. Lin, W. Bu, Y.Z. Chen, "Field exploration and analysis of power grid side battery energy storage system", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63213-63218, 2021.
- [2] S. Rahimifard, A. Ryan, H. Saeid, "Interacting multiple model strategy for electric vehicle batteries state of charge/health/power estimation", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 109875-109888, 2021.
- [3] A. Ceschini, A. Rosato, F. Succetti, R. Araneo, M. Panella, "Multivariate time series analysis for electrical power theft detection in the distribution grid", In *2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*, IEEE, pp. 1-5), 2022.
- [4] F. Succetti, A. Dell'Era, A. Rosato, A. Fioravanti, R. Araneo, M. Panella, "A Deep Learning-Based Approach for Battery Life Classification", In *2024 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2024 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*, IEEE, pp. 01-04, 2024.