

# UN ALGORITMO PER L'ADDESTRAMENTO DI RETI NEURALI LOCALMENTE RICORRENTI BASATO SULL'ESPRESSIONE ESPLICITA DEL GRADIENTE

*S. Carcangiu, A. Montisci*

*Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica, Università di Cagliari*

*Piazza d'Armi, 09123 Cagliari*

Un nuovo algoritmo è stato proposto dal gruppo di Cagliari per l'addestramento delle Reti Neurali Localmente Ricorrenti (LRNNs). Nello studio di sistemi dinamici, le reti ricorrenti sono spesso preferite alle reti dinamiche unidirezionali perché nelle prime è possibile modificare la profondità di memoria agendo sui parametri di retroazione, anziché modificare la topologia, come occorre fare nelle seconde. D'altra parte, le reti retroazionate sono più complicate da addestrare, perché non si riesce ad esprimere in modo esplicito la derivata della funzione di perdita rispetto ai parametri di retroazione. Un secondo problema è rappresentato dalla difficoltà di valutare a priori la stabilità della rete durante la fase di addestramento. Il problema può essere mitigato se, anziché utilizzare reti globalmente ricorrenti, le retroazioni sono localizzate all'interno dei neuroni, mediante filtri IIR. Nondimeno, le due problematiche descritte in precedenza non sono del tutto risolte. Per quanto riguarda l'addestramento, normalmente si ricorre all'algoritmo Backpropagation Through Time (BPTT), svolgendo l'anello di retroazione e ripetendolo un numero di volte sufficiente a coprire la profondità di memoria. Problemi aperti restano la determinazione del numero adeguato di ripetizioni, e la stima a priori della stabilità della rete.

Il gruppo di ricerca di Cagliari ha sviluppato un algoritmo che risolve alla base entrambe queste problematiche. Tale algoritmo parte dalla considerazione che la serie di Fibonacci corrisponde alla risposta impulsiva di un filtro IIR del secondo ordine con coefficienti di retroazione entrambi unitari. A J.P.M. Binet (1786-1858) si deve la formula per il calcolo del generico termine della serie di Fibonacci, senza la necessità di calcolare tutti i termini precedenti. Mutuando la medesima formulazione che porta alla formula di Binet, si è definita un'espressione per il calcolo del generico termine della risposta impulsiva di un filtro IIR. Da qui si arriva a definire il gradiente della funzione di perdita rispetto ai parametri di retroazione. Inoltre, la risposta impulsiva del filtro è espressa come combinazione lineare di funzioni esponenziali, da cui è immediato tenere sotto controllo la stabilità della rete durante l'addestramento. L'algoritmo è stato testato su numerosi benchmark e casi applicativi, ricevendo sempre conferma della sua efficacia.

## **Bibliografia**

[1] Carcangiu, S., & Montisci, A. (2025). A Training Algorithm for Locally Recurrent Neural Networks Based on the Explicit Gradient of the Loss Function. *Algorithms*, 18(2), 104.