

Primi passi verso una rete neurale per la batimetria fluviale da fotogrammetria.

Elena Belcore¹[0000-0002-3592-9384] e Vincenzo Di Pietra¹[0000-0001-7501-1183]

¹ Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI)-
Politecnico di Torino, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy;
elena.belcore; vincenzo.dipietra;

La batimetria fluviale è una componente insostituibile dei modelli idraulici ed è misurata con ecoscandagli montati su imbarcazioni, ma anche stazioni totali e ricevitori GNSS in piccoli corsi d'acqua o fiumi in secca. Nell'ultimo decennio, nuove tecniche e strumenti di acquisizione hanno progressivamente integrato le misure batimetriche tradizionali; tra queste spiccano i sensori ottici montati su droni, o *Unmanned Aerial Systems* (UAS), che hanno risvegliato l'interesse scientifico verso la batimetria da sensori ottici, prima materia relegata quasi esclusivamente ad immagini satellitari. L'ostacolo principale nella batimetria di derivazione ottica è la rifrazione della luce che passa l'interfaccia atmosfera-acqua. La rifrazione distorce la ricostruzione della scena fotogrammetrica, facendo sì che le misure in acqua siano sottostimate (ovvero meno profonde della realtà). Per correggere queste distorsioni, vengono spesso applicati metodi radiometrici, che si concentrano sulla risposta spettrale dei mezzi attraversati dalla luce e sono tipicamente costruiti sulla teoria che l'energia radiativa totale riflessa dalla colonna d'acqua è funzione della profondità dell'acqua [1]. L'obiettivo primario della ricerca sulla batimetria ottica è quello di comprendere la relazione tra la riflettanza della colonna d'acqua e la profondità dell'acqua utilizzando modelli statistici e trigonometrici. La diffusione dell'intelligenza artificiale ha aperto nuove prospettive di ricerca nella batimetria a base spettrale permettendo di modellare le relazioni tra variabili non lineari e molto complesse [2]. Questo lavoro mira a testare l'efficacia dell'intelligenza artificiale per correggere la rifrazione dell'acqua in ambienti fluviali caratterizzati da acque poco profonde utilizzando immagini UAS ad altissima risoluzione. Nello specifico, il lavoro è basato sulle informazioni sintetiche estratte dalla componente visibile dello spettro elettromagnetico di tre diversi casi studio geologicamente e morfologicamente simili e situati nel nord-ovest dell'Italia. Tali informazioni confluiscono in una rete neurale di regressione appositamente creata, *Artificial Neural Network* (ANN), che restituisce la quota batimetrica privata delle distorsioni derivati dalla rifrazione dell'acqua.

I dati per l'analisi sono stati raccolti nel 2020. Nelle tre campagne di raccolta dati è stato impiegato un UAS commerciale (DJI Phantom 4 Pro), e sono stati generati i seguenti dataset: i) ortomosaico georeferenziato RGB dell'alveo e delle rive ottenuto da processo fotogrammetrico, ii) modello digitale di elevazione (DEM) georeferenziato dell'alveo ottenuto da processo fotogrammetrico, iii) misure GNSS dell'alveo e delle rive.

I fotogrammi raccolti dall'UAS sono stati elaborati attraverso una procedura standard di *Structure from Motion* (SfM). Applicando la cosiddetta fotogrammetria diretta, le nuvole di punti sono state georeferenziate direttamente nel sistema di coordinate WGS84-UTM32 grazie ai dati di posizionamento acquisiti dal ricevitore GNSS a

doppia frequenza incorporato nel sistema UAS [3]. Con rilievo GNSS-RTK sono state misurate diverse sezioni sull'alveo con precisione planimetrica di 1,5 cm e altimetrica di 3 cm. Successivamente le quote sull'ellissoide sono state tradotte in quote geoidiche applicando il modello altimetrico locale fornito dall'Istituto Geografico Nazionale Militare (IGM).

Sette indici radiometrici sono stati calcolati e uniti alle informazioni RGB e il DSM in un raster a undici bande (raster di input). La componente Up delle sezioni trasversali di batimetria ha costituito il dataset "Z_GNSS" ed è la variabile dipendente della regressione. Il dataset è stato poi normalizzato e diviso in dataset di test (20% osservazioni) e di training (80% osservazioni). In questo lavoro, un ANN *multilayer perceptron* (MLP) a cinque *layers*, di cui tre nascosti, è stato costruito in ambiente Python utilizzando la libreria di *deep learning* Keras con *backend* TensorFlow [4]. La dimensione del *layer* di input è di undici, e i pesi sono stati inizializzati a piccoli valori casuali gaussiani (inizializzatore del kernel 'Normal'). Un regolatore, L1, è stato aggiunto per ridurre l'*overfitting*. L'ottimizzatore applicato per aggiornare i pesi nella rete è l'Adaptive Moment Estimation (Adam). La rete è stata addestrata sul dataset normalizzato e valutata sulla base dei punteggi r-quadro, errore quadratico medio e errore assoluto medio. Infine, l'influenza, o importanza, di ogni variabile nel modello è stata valutata con la tecnica di permutazione. La rete ha ottenuto un r-quadro di 0,80. Come previsto, l'analisi di permutazione ha rivelato l'alto impatto delle bande relative al DEM e al visibile, e bassi punteggi di importanza sono stati riscontrati per le bande sintetiche.

I risultati sono soddisfacenti e rilevanti, anche se il modello è solo il primo passo verso una rete neurale per correggere le distorsioni fotogrammetriche causate dall'acqua più complessa e profonda. Il modello è stato addestrato su un set di dati ridotto, ma è nostra intenzione proseguire in questa direzione la ricerca, aggiungendo più dati sino a sviluppare uno strumento libero e aperto per la comunità scientifica. Allo stato attuale, il lavoro fornisce una buona comprensione dell'alta affidabilità e precisione dell'intelligenza artificiale nella batimetria derivata da fotogrammetria.

Riferimenti bibliografici

1. Makboul, O.; Negm, A.; Mesbah, S.; Mohasseb, M. Performance Assessment of ANN in Estimating Remotely Sensed Extracted Bathymetry. Case Study: Eastern Harbor of Alexandria. *Procedia Engineering* 2017, 181, 912–919, doi:10.1016/j.proeng.2017.02.486.
2. Mandlbürger, G.; Kölle, M.; Nübel, H.; Soergel, U. BathyNet: A Deep Neural Network for Water Depth Mapping from Multispectral Aerial Images. *PFG* 2021, 89, 71–89, doi:10.1007/s41064-021-00142-3.
3. Chiabrando, F.; Lingua, A.; Piras, M. DIRECT PHOTOGRAMMETRY USING UAV: TESTS AND FIRST RESULTS. In *Proceedings of the ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*; Copernicus GmbH, August 16 2013; Vol. XL-1-W2, pp. 81–86.
4. Abadi, M.; Agarwal, A.; Barham, P.; Brevdo, E.; Chen, Z.; Citro, C.; Corrado, G.S.; Davis, A.; Dean, J.; Devin, M.; et al. TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems. arXiv:1603.04467 [cs] 2016.