

Mappatura della vegetazione ripariale attraverso DeepForest: Costi e Benefici di una nuova procedura operativa end-to-end

Nicholas Fiorentini¹[0000-0002-8769-8610], 2, 3, Manlio Bacco²[0000-0001-6733-1873], Alessio Ferrari²[0000-0002-0636-5663], Massimo Rovai¹, Gianluca Brunori³[0000-0003-2905-9738]

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale (DICI), Scuola di Ingegneria dell'Università di Pisa, Largo Lucio Lazzarino 1, 56122, Pisa, nicholas.fiorentini@ing.unipi.it

² Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione (ISTI) "A. Faedo", Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Pisa, Via G. Moruzzi 1, 56127, Pisa

³ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DISAAA-a), Università di Pisa, Via del Borgetto 80, 56124, Pisa

Abstract. L'importanza ecologica e sociale della vegetazione ripariale è ben riconosciuta per il mantenimento degli ecosistemi fluviali. Tuttavia, la mappatura manuale di questa vegetazione è un processo costoso e dispendioso in termini di tempo, soprattutto in aree difficili da raggiungere. In uno studio recente, condotto dall'Università di Pisa e dal CNR in collaborazione con il Consorzio di Bonifica Toscana Nord, è stata sviluppata una nuova procedura operativa basata sull'intelligenza artificiale, utilizzando l'algoritmo DeepForest. Questo sistema automatizzato è stato impiegato per la mappatura della vegetazione ripariale lungo il fiume Serchio, utilizzando orto-immagini ad alta risoluzione della Regione Toscana. I risultati indicano che l'efficacia di DeepForest è comparabile a quella dei metodi manuali, con un risparmio significativo di costi (83%) e tempi (84%). Questa innovazione potrebbe offrire ai consorzi di bonifica uno strumento più efficiente per la gestione delle fasce ripariali, migliorando la pianificazione e riducendo i rischi idro-geologici.

1 Breve introduzione bibliografica

Riconosciuta per la sua importanza ecologica, idrologica e sociale, la vegetazione ripariale svolge un ruolo cruciale per il buon funzionamento degli ecosistemi fluviali [1]. Dal punto di vista degli enti gestori (Consorzi di Bonifica), l'identificazione e mappatura della vegetazione ripariale lungo i fiumi è un'attività di fondamentale importanza: permette di perseguire un'efficace azione manutentiva ordinaria e straordinaria, consentendo di allocare oculatamente le risorse disponibili prevenendo potenziali rischi idro-geologici, e garantendo una costante e buona funzionalità del corpo idrico [2]. In questo ambito, la mappatura manuale della vegetazione ripariale attraverso rilievi in-situ si rivela estremamente dispendiosa in termini di tempo e denaro, soprattutto per reti fluviali estese e poco accessibili.

Conseguentemente, in questo recente studio condotto dall'Università di Pisa e dal CNR [3], in collaborazione con il Consorzio di Bonifica Toscana Nord, è stata

sviluppata una metodologia operativa per identificare e mappare la vegetazione ripariale negli ecosistemi fluviali utilizzando un algoritmo di intelligenza artificiale denominato “DeepForest” [4,5], specificatamente progettato per estrarre informazioni rilevanti da immagini aeree (utilizzando i canali RGB). L’algoritmo, open-source, lavora in ambiente PYTHON e può essere integrato semplicemente con le informazioni derivanti da software GIS.

Le potenzialità della procedura sono state quantificate per mezzo di una comprensiva analisi costi-benefici, confrontando costi, tempi, attrezzature necessarie, personale, software e hardware richiesti, associati ai tre diversi rilievi della vegetazione ripariale: rilievi in-situ, annotazione manuale sulle orto-foto, e annotazione automatica con DeepForest.

2 Metodologia e risultati principali

Per la calibrazione e validazione dell’algoritmo DeepForest, la ricerca ha utilizzato le più recenti orto-immagini aeree ad alta risoluzione (pixel a terra di 20x20 cm) della Regione Toscana relative all’anno 2023 [6] su un’area di oltre 35 km².

Il corso d’acqua oggetto di studio - circa 10 km del fiume Serchio, a nord della città di Lucca - rientra nelle competenze manutentive del CB Toscana Nord, responsabile della gestione di oltre 8.000 km di fiumi, torrenti e canali in diverse aree urbane, suburbane e montane della zona settentrionale Toscana.

I risultati dimostrano che le potenzialità del modello proposto sono paragonabili a quelle di operatori e professionisti esperti che conducono la mappatura manuale della vegetazione ripariale sulle stesse orto-immagini ad alta risoluzione. Allo stesso modo, i punti di debolezza nel riconoscimento della vegetazione sono simili a quelli dell’operatore umano e riguardano essenzialmente le difficoltà di conteggio del numero di alberi quando essi sono in gruppo o in filari. In aggiunta, l’algoritmo DeepForest restituisce anche il valore dell’affidabilità della previsione della presenza degli alberi (Figura 2).

Tramite opportune analisi quantitative delle performance dell’algoritmo (Figura 3), associate a rilievi in campo (Figura 4), è stato dimostrato che il riconoscimento della presenza di alberi risulta affidabile quando la soglia è fissata ad un valore di circa 0.25, in cui si raggiunge l’ottimo compromesso tra il numero di Corretti Positivi, Falsi Positivi e Falsi Negativi.

Nella legenda della Figura 2, la vegetazione correttamente predetta corrisponde dunque ai punti dall’arancio al verde.

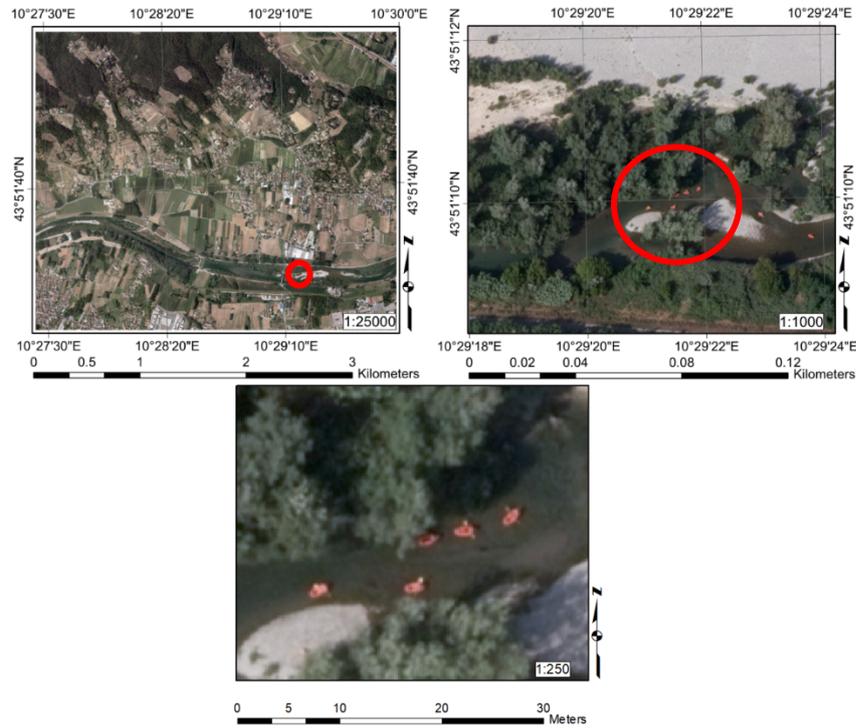


Fig. 1. Esempio di una delle orto-foto RGB dell'anno 2023 di Regione Toscana e suoi ingrandimenti. Ciascuna orto-foto copre un'area di oltre 12 km². In basso a destra è visibile la scala dell'orto-foto. Si nota l'ampia copertura della singola immagine (in alto a sinistra) ed i dettagli nitidamente visibili in scala 1:250.

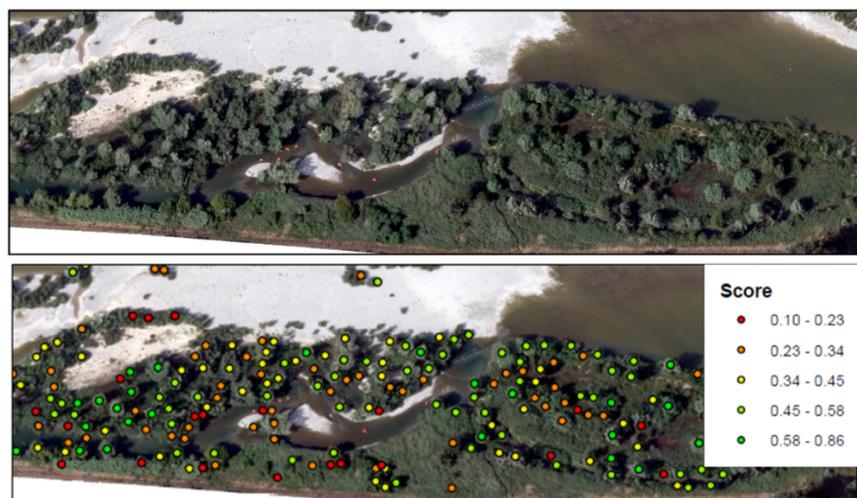


Fig. 2. Esempio di mappatura della vegetazione ripariale con l'algoritmo DeepForest.

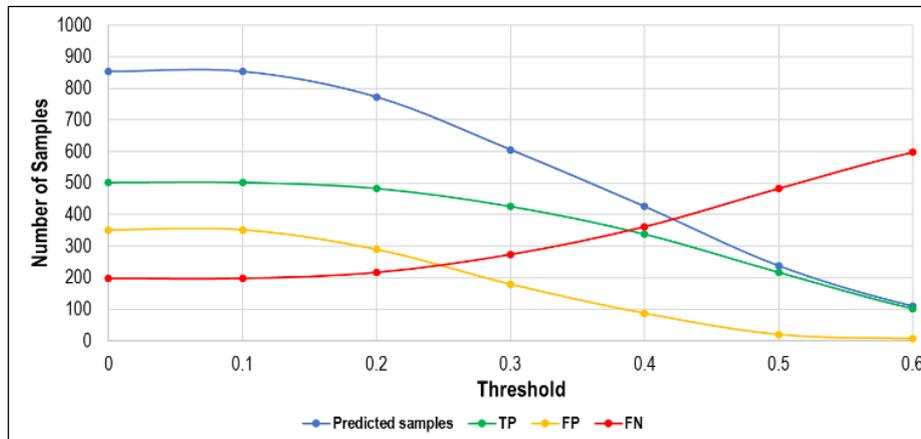


Fig. 3. Quantificazione delle capacità previsionali di DeepForest. La validazione è stata eseguita confrontando la previsione del modello con un'annotazione manuale di 700 specie arboree ricadenti sull'area di studio (TP= corretti positivi, TN = corretti negativi, FN = falsi negativi). La miglior soglia appare essere circa 0.25, per la quale si ha il punto di inversione tra FP e FN, e per la quale il numero di alberi predetti dal modello è pari al numero di annotazioni effettuate (circa 700).



Fig. 4. Mappatura manuale in-situ di vegetazione ripariale lungo il fiume Serchio. Si riconosce vegetazione ripariale composta da: (a) specie arboree distinte su sottobosco erbaceo, (b) specie arboree distinte su sottobosco arbustivo, (c) specie arboree in gruppo/filare su sottobosco arbustivo.

Le potenzialità della procedura sono state infine valutate per mezzo di un'analisi costi-benefici quantitativa, confrontando costi (in termini di euro/km di fiume analizzato), tempi (in termini di ore), attrezzature necessarie, personale, software e hardware richiesti, associati ai tre diversi rilievi della vegetazione ripariale: rilievi in-situ, annotazione manuale sulle orto-foto, e annotazione automatica con DeepForest (Tabella 1).

Nella Tabella 1 si evidenzia che il costo del rilievo in-situ è di circa 102 euro/km con una capacità di copertura (8 ore lavorative al giorno) di circa 1,6 km/giorno, mentre l'annotazione manuale della vegetazione ripariale su orto-foto è di circa 29 euro/km con una capacità di copertura di circa 5 km/giorno. Sfruttando le potenzialità di

DeepForest, si è calcolato un risparmio dell'83% dei costi (17 €/km) e del'84% dei tempi (10 km/giorno).

Table 1. Analisi comparative Benefici-Costi

	Rilievi in-situ	Annotazione manual di ortofoto	Annotazione automatica con DeepForest
Costo stimato dell'intero processo*	600 € per i rilievi in situ (3 giorni, 2 operatori)	150 € per l'annotazione (tecnico esperto, 1 giorno)	150 € per utilizzo algoritmo e redazione del report (tecnico esperto, 1 giorno)
	+ 300 € per la mappatura (tecnico esperto, 2 giorni)	+ 100 € per redigere il report (tecnico, 1 giorno)	+ 21 € per i costi di licenze software
	+ 100 € per redigere il report (tecnico, 1 giorno)	+ 42 € per i costi di licenze software	
	+ 24 € per i costi di licenze software		
	=	=	=
	102 €/km di fiume	29 €/km di fiume	17 €/km di fiume

*Il costo dell'equipaggiamento (da acquistare un'unica volta) è stato escluso

In definitiva, grazie al modello di analisi proposto, i Consorzi di Bonifica potrebbero acquisire migliori informazioni e conoscenze sull'evoluzione della vegetazione arborea nelle fasce ripariali, indispensabili per la redazione dei piani annuali di manutenzione del reticolo idrografico.

Riferimenti bibliografici

1. Fiorentini, N., Bacco, M., Ferrari, A., Rovai M., Brunori G. Remote Sensing and Machine Learning for Riparian Vegetation Detection and Classification, MetroAgriFor 2023 – 2023 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, Pisa, IT, November 6-8, 2023, pp. 369-374, <https://doi/10.1109/MetroAgriFor58484.2023.10424205>
2. Lepore F., Ortolani, L., Ferrari A., Fiorentini, N., Mannari, C., Bacco, M., Brunori, G. Co-Design and e-Governance Tools for Sustainable Land and Water Management in Rural Areas: The Experience Within the DESIRA H2020 Project, MetroAgriFor 2023 – 2023 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, Pisa, IT, November 6-8, 2023, , pp. 25-30, <https://doi/10.1109/MetroAgriFor58484.2023.10424263>
3. Fiorentini N., Bacco M., Ferrari A., Rovai M., Brunori G., Riparian vegetation mapping through an adapted DeepForest Algorithm: Costs and benefits of a novel end-to-end operating framework, 2024, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (in revisione)
4. Weinstein, B.G., Marconi, S., Aubry-Kientz, M., Vincent, G., Senyondo, H., White, E.P., 2020. DeepForest: A Python package for RGB deep learning tree crown delineation. *Methods Ecol Evol* 11. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13472>
5. Weinstein, B.G., Marconi, S., Bohlman, S.A., Zare, A., Singh, A., Graves, S.J., White, E.P., 2021. A remote sensing derived data set of 100 million individual tree crowns for the national ecological observatory network. *Elife* 10. <https://doi.org/10.7554/eLife.62922>
6. https://www502.regione.toscana.it/geoscopio/servizi/wms/OFC_RT.htm