

Telerilevamento degli alberi fuori foresta

DA: Ciolfi, M., Chiocchini, F., Paris, P., Lauteri, M.¹ (2024). Toffee. <https://zenodo.org/records/10986525>.

¹CNR-IRET — Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri

Alberi fuori foresta nel paesaggio agroforestale

Gli alberi fuori foresta (TOF, dall'inglese *Tree Outside Forest*) — inclusi quelli in siepi, margini dei campi, pascoli o aree urbane e periurbane — svolgono un ruolo fondamentale negli agroecosistemi europei. Sebbene spesso frammentati e dispersi, questi alberi contribuiscono in modo significativo alla biodiversità, alla regolazione del microclima, allo stoccaggio del carbonio e alla connettività del paesaggio. Tuttavia, il rilevamento e il monitoraggio dei TOF sono stati tradizionalmente limitati a causa delle loro dimensioni ridotte, della dispersione spaziale e della mancanza di inventari mirati. Con l'avvento di immagini satellitari ad alta risoluzione, in particolare dalla missione Sentinel-2 del programma europeo Copernicus, è divenuto possibile mappare e analizzare i TOF su vaste aree, almeno limitatamente agli alberi con le chiome più estese. Sentinel-2 fornisce immagini multispettrali con risoluzione a 10 m e un tempo di rivisitazione di 5 giorni, offrendo opportunità tempestive ed economicamente accessibili per identificare e valutare la copertura arborea nei paesaggi agricoli. Inoltre, la sua politica di accesso libero ai dati consente un'applicazione scalabile ed efficiente in termini di risorse, sia in Europa che altrove. Una classificazione geometrica può essere applicata per discriminare ulteriormente alberi isolati, siepi e boschetti (figura 1).

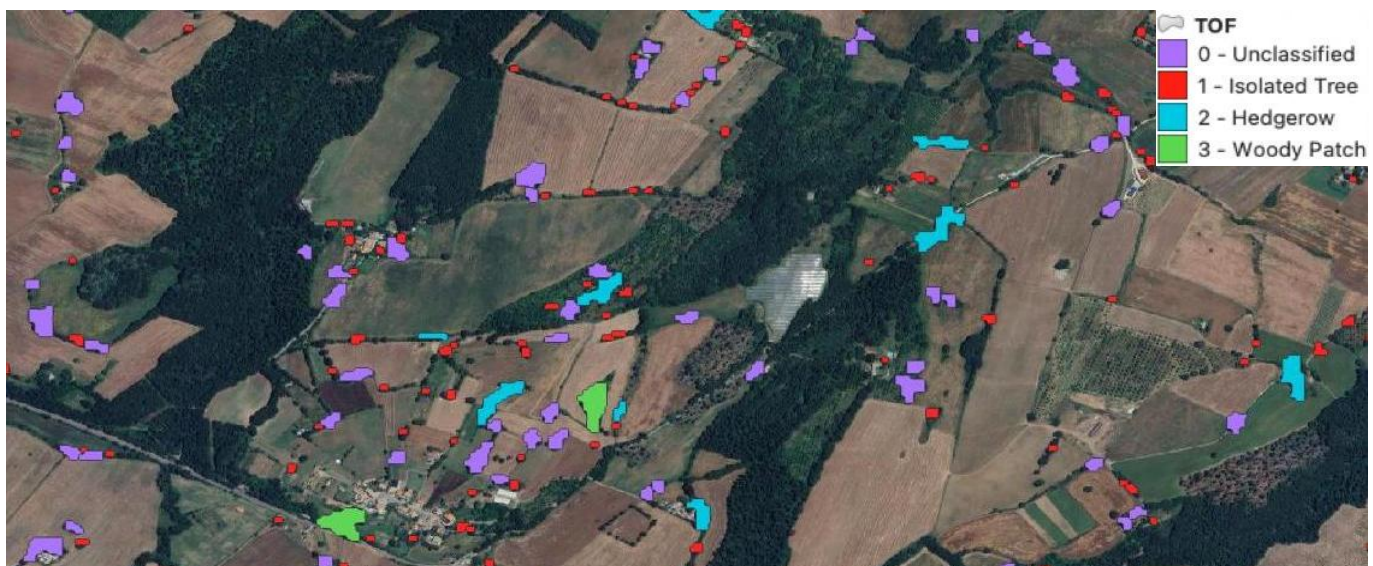


FIGURA 1. CLASSIFICAZIONE DEI TOF IN ALBERI ISOLATI, SIEPI, BOSCHETTI E ALTRE GEOMETRIE..

Metodologia

Questo approccio utilizza le serie temporali di immagini Sentinel-2 per identificare gli alberi fuori foresta, concentrandosi sulla stagione estiva per ridurre la confusione con le colture agricole. Un insieme di indici ottici di

vegetazione come NDVI, EVI o MSAVI (figura 2) e valori di luminanza (Xue e Su 2017) è calcolato a partire da dati di riflettanza superficiale corretti atmosfericamente e mascherati dalle nuvole. Per separare la copertura arborea da altri usi del suolo, si genera un istogramma da un indice selezionato, individuando un valore di picco caratteristico associato alla vegetazione legnosa perenne. Selezionando date d'immagine di fine estate — quando le colture annuali tipicamente perdono vigoria — il metodo minimizza la classificazione errata della vegetazione erbacea. La soglia risultante è applicata per isolare i pixel coperti da alberi per analisi e mappature successive.

La maschera binaria degli alberi (figura 3) viene quindi convertita da formato raster a vettoriale, generando poligoni individuali che rappresentano aree contigue di copertura arborea. Questa trasformazione consente un'analisi spaziale basata su forma e dimensione delle caratteristiche rilevate. Per concentrarsi specificamente sugli alberi fuori foresta, i poligoni più grandi — corrispondenti ad aree forestali continue — sono esclusi dalle analisi ulteriori usando una soglia minima di area predefinita. L'intero flusso di lavoro si basa esclusivamente su immagini satellitari ottiche, senza includere mappe di copertura del suolo esterne o strati di classificazione ausiliari (Chiocchini et al. 2019, Sarti et al. 2021).

A partire da questo punto, ogni poligono risultante è trattato come TOF. Per ciascun poligono, vengono valutati dei descrittori geometrici di base per supportare l'analisi strutturale. La dimensione è rappresentata dall'area del poligono, mentre la forma è quantificata utilizzando un fattore di forma derivato da area e perimetro, che misura lo scostamento rispetto a un cerchio perfetto. Questa metrica aiuta a distinguere tra alberi isolati o raggruppati in forma compatta e caratteristiche più allungate o irregolari, potenzialmente corrispondenti a siepi o elementi lineari di vegetazione (figura 4). Una categoria ulteriore viene utilizzata per includere tutti i poligoni residui la cui forma non corrisponde chiaramente a strutture compatte o lineari, permettendo di mantenere caratteristiche geometriche ambigue o irregolari senza forzarle in classi predefinite. Per tenere conto della varietà di forme dei TOF nei paesaggi agroforestali, si utilizza un semplice fattore di forma definito come $s = \frac{p^2}{4\pi A} - 1$, dove p è il perimetro e A l'area dell'oggetto interessato (Ciolfi et al. 2024); questo valore è esattamente zero per un cerchio perfetto e aumenta con l'allungamento: le siepi e gli alberi lungo i fossi, in particolare, tendono a mostrare valori elevati per via della loro forma lineare. Siepi con



FIGURA 2. AREA DI SAGGIO (IN ALTO) E DISTRIBUZIONE DELL'INDICE OTICO (IN BASSO).



FIGURA 3. MASCHERA DEGLI ALBERI (IN ROSSO).



FIGURA 4. TOF CLASSIFICATI.

alberi radi sono spesso classificate come alberi isolati quando le chiome non sono visibilmente connesse nelle immagini satellitari di partenza.

Implementazione su cloud computing

Le immagini Sentinel-2 sono liberamente disponibili, ma la loro gestione richiede in genere competenze specifiche e notevoli risorse computazionali; tuttavia, piattaforme cloud come Google Earth Engine rendono oggi possibile eseguire queste operazioni più facilmente, anche ai non addetti ai lavori. Per semplificare l'identificazione dei TOF, abbiamo sviluppato Toffee: un'applicazione basata su Google Earth Engine che rileva e classifica automaticamente i TOF con un input minimo da parte dell'utente. L'applicazione è accessibile via web e funziona direttamente all'interno dell'interfaccia di Google Earth Engine, senza necessità di installazione locale o configurazioni tecniche avanzate (Ciolfi et al. 2024).

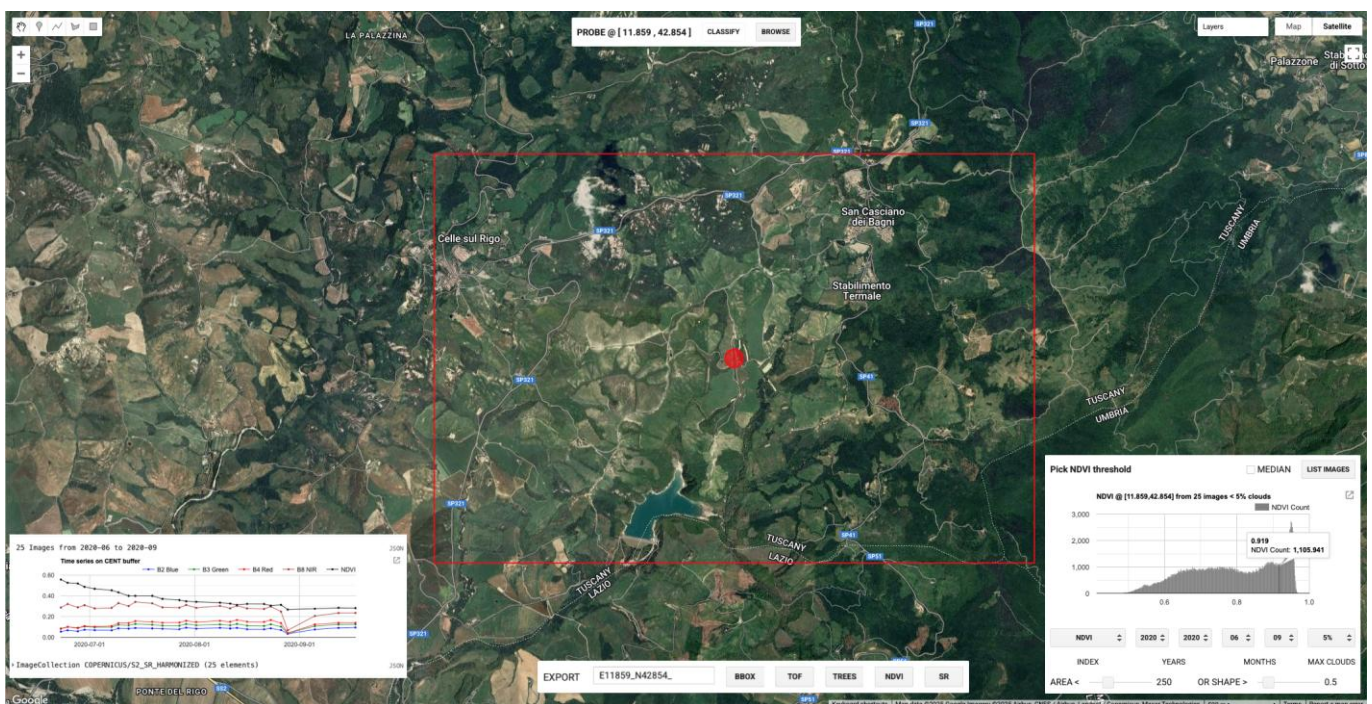


FIGURA 5. TOFFEE IN AZIONE, PRIMA DEL RILEVAMENTO DEI TOF. A DESTRA L'ISTOGRAMMA INTERATTIVO DELL'INDICE OTTICO.

Il ruolo dell'operatore si limita alla selezione di un indice ottico appropriato (Xue e Su, 2017) in base alla fenologia locale come appare nelle immagini Sentinel-2 (Misra et al. 2020). Il software genera quindi un istogramma dei valori dell'indice, da cui l'operatore seleziona interattivamente una soglia. Da questo momento in poi, il processo è completamente automatico (figura 5). Tutti i risultati generati nel cloud possono essere scaricati per ulteriori analisi in ambiente GIS.

Questo approccio dimostra il potenziale delle immagini Sentinel-2 per l'identificazione efficiente e scalabile degli alberi fuori foresta in paesaggi agroforestali diversificati e, con i futuri miglioramenti attesi nella risoluzione spaziale delle immagini satellitari, tali tecniche sono destinate a diventare sempre più efficaci.

Bibliografia



- Chiocchini, F., Ciolfi, M., Sarti, M., Lauteri, M., Cherubini, M., Leonardi, L., Paris, P. (2019). Detecting tree hedgerows in agroforestry landscapes in Earth observation advancements in a changing world, Trends in earth observation AIT series, volume 1, DOI 10.978.88944687/17, <https://aitonline.org/collana-ait-trends-in-earth-observation>.
- Ciolfi, M., Chiocchini, F., Lauteri, M. (2024). Toffee - Trees outside forest finding via Earth Engine, rev. 1.0, license GNU-GPL 3.0, DOI 10.5281/zenodo.10986525, <https://zenodo.org/records/10986525>.
- Misra G., F., Cawkwell F., Wingle A. (2020). Status of Phenological Research Using Sentinel-2 Data: A Review. Remote Sensing, 2020(12), 2760. DOI 10.3390/rs12172760, <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2760>.
- Sarti M., Ciolfi M., Lauteri M., Paris P., Chiocchini F. (2021). Trees outside forest in Italian agroforestry landscapes: detection and mapping using sentinel-2 imagery, European Journal of Remote Sensing, 54:1, 609-623, DOI 10.1080/22797254.2021.1986678, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2021.1986678>.
- Xue, J., Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. Journal of Sensors, 1-17. DOI 10.1155/2017/1353691, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2017/1353691>.

AF4EU

**Un'iniziativa innovativa che migliorerà
l'agroforestazione europea**

Get to know more!



www.af4eu.eu

This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No GA 101086563. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.