



Monitoring Insect Infestations in Urban Areas Using PlanetScope Time Series

Monitoraggio delle infestazioni di insetti in aree urbane tramite serie temporali PlanetScope

Francesco Parisi ^{(a)(b)(*)} - Valentina Falanga ^(a) - Saverio Francini ^(c) - Giovanni D'Amico ^(d)
Gherardo Chirici ^{(b)(d)(e)} - Bruno Lasserre ^(a) - Marco Marchetti ^(f)

^(a) Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise, C. da Fonte Lappone, 86090 Pesche (IS), Italy.

^(b) NBFC, National Biodiversity Future Center, Palermo 90133, Italy.

^(c) Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari (DISTAL), Università di Bologna, 40126 Bologna, Italy.

^(d) geoLAB - Laboratorio di Geomatica Forestale, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi di Firenze, Via San Bonaventura 13, 50145 Firenze, Italy.

^(e) Fondazione per il Futuro delle Città, Firenze, Italy.

^(f) Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Architettura e Progetto, Via Flaminia, 359, 00196 Roma, Italy.

^(*) Corresponding Author; francesco.parisi@unimol.it

Abstract: The present study aims to evaluate the effectiveness of remote sensing in monitoring the invasion of the pine tortoise scale (*Toumeyella parvicornis* Cockerell) affecting the stone pine (*Pinus pinea* L.) in the city of Rome. The use of the images proved ideal for detecting infestation outbreaks in urban and peri-urban areas, due to the 1-day revisit time and the 3-meter spatial resolution. To conduct the research, a reference dataset was created containing 238 healthy trees in Tenuta di San Rossore (Tuscany) and 2023 damaged trees in Rome. Over 30,000 PlanetScope images related to the period between July 2019 and July 2023, were analyzed, testing the effectiveness of the RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index) in detecting this specific forest disturbance. The results show a significant decrease in the RDVI during the summer in infested areas, while in healthy areas remained stable. Various thresholds were examined to identify the best discrimination between healthy and damaged trees. The identified threshold provided an accuracy of 99% in detecting infested trees. However, it is acknowledged that the dataset of healthy trees came from natural forest areas, where higher photosynthetic activity is expected compared to urban green areas. Based on our results, we can conclude that monitoring urban forests through satellite images is essential for managing and preventing pest infestations.

Key words: pine tortoise scale; city of Rome; green areas; Renormalized Difference Vegetation Index; infested trees.

Citation: Parisi F., Falanga V., Francini S., D'Amico G., Chirici G., Lasserre B., Marchetti M., 2024 - *Monitoraggio delle infestazioni di insetti in aree urbane tramite serie temporali PlanetScope*. L'Italia Forestale e Montana, 79 (5/6): 203-215; <https://dx.doi.org/10.36253/ifm-1150>

Received: 02/11/2024 **Revised version:** 19/11/2024 **Published online:** 07/02/2025

1. INTRODUZIONE

Nella società moderna le foreste urbane ri-

vestono un ruolo fondamentale, contribuendo a migliorare la qualità della vita, rafforzando le connessioni e promuovendo la salute fisica e

mentale (Capotorti *et al.*, 2021). Oltre a questi aspetti, le foreste urbane sono importanti per ridurre l'inquinamento atmosferico e idrico, migliorare il comfort termico, e aumentare il valore degli immobili. Inoltre, svolgono un ruolo non trascurabile nella mitigazione degli effetti del cambiamento climatico (Roshani *et al.*, 2022). Come indicato dal Millennium Ecosystem Assessment, questi benefici possono essere suddivisi in tre distinte categorie di servizi ecosistemici: servizi di approvvigionamento, di regolazione e culturali (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). I servizi di regolazione comprendono la gestione della qualità dell'aria, del clima e dell'acqua, mentre i servizi di approvvigionamento si riferiscono alla fornitura di materiali come legno, legna da ardere e prodotti alimentari. I servizi culturali, d'altra parte, sono essenziali per attività ricreative ed ecoturismo. Di conseguenza, la gestione e la manutenzione delle aree forestali in ambiente urbano risultano strategiche e fondamentali (Portoghesi *et al.*, 2022).

Le città italiane ospitano una notevole varietà di specie arboree, piantate nel corso dei secoli per varie finalità. Tra le specie più diffuse nelle grandi città mediterranee come Roma, emerge per diffusione e portamento il pino domestico *Pinus pinea* L. La gestione degli alberi di questa specie deve oggi affrontare differenti problemi dovuti a manutenzione inadeguata, attacco di parassiti, inquinamento o errori di piantagione, che possono comportare rischi e pericoli per persone e beni (Hui *et al.*, 2022). Inoltre, la vicinanza a strade e pavimentazioni, influenza lo sviluppo radicale ostacolandone la crescita anche a causa delle inospitali condizioni del suolo urbano tipicamente compattato e asfittico (Lüttgem e Buckeridge, 2023).

Nel corso degli anni le foreste urbane sono apparse particolarmente vulnerabili e soggette a molteplici disturbi sia da fattori biotici che abiotici (Qin *et al.*, 2017). Particolarmente

influenti sono gli effetti del cambiamento climatico, con l'aumento della frequenza degli eventi estremi e delle temperature medie, che hanno complicato ulteriormente la gestione delle foreste, rendendole più suscettibili ai danni da vento, agli incendi e infestazioni di parassiti vari (EFSA PLH Panel *et al.*, 2022). Attualmente, le pinete di pino domestico a Roma sono particolarmente minacciate da un agente biotico, la cocciniglia tartaruga (*Toumeyella parvicornis* Cockerell), un Emittente della famiglia Coccidae che è un parassita alieno originario del Nord America, individuato per la prima volta in Italia nel 2014 (Garonna *et al.*, 2015). Questo insetto provoca danni significativi al pino domestico, causando un iniziale ingiallimento della chioma, seguito progressivamente dalla riduzione della crescita, dalla defogliazione e in ultimo dalla morte degli individui (Garonna *et al.*, 2015). Due agenti principali alimentano la proliferazione di questo parassita, da un lato il commercio globalizzato di materiale talvolta infestato che permette l'introduzione in nuove aree geografiche, dall'altro il riscaldamento climatico ne velocizza la diffusione (Mazzeo *et al.*, 2014).

Il monitoraggio delle infestazioni è un elemento cruciale per proteggere le foreste in ambiente urbano. Solo attraverso una tempestiva individuazione delle aree attaccate è possibile implementare misure di controllo mirate, limitando la diffusione delle infestazioni e i danni associati (Hlásny *et al.*, 2021). Per monitorare le infestazioni di insetti su larga scala e per gestire opportunamente le risorse naturali, sono emerse come particolarmente promettenti le tecnologie satellitari (Huo *et al.*, 2021). Gli approcci di telerilevamento (*remote sensing*) sono particolarmente vantaggiosi in aree remote o difficili da raggiungere, dove i metodi di monitoraggio tradizionali possono risultare impraticabili. Ad esempio, le immagini satellitari di Sentinel-2 o Landsat, con una

risoluzione spaziale di 10 e 30 m, sono state efficacemente utilizzate per identificare cambiamenti nell'attività fotosintetica della vegetazione, permettendo di individuare la presenza di infestazioni localizzate (Francini *et al.*, 2024a; Khodaei *et al.*, 2020; Parisi *et al.*, 2022, 2023).

In questo studio, data la grande variabilità dell'ambiente urbano, sono state scelte le immagini PlanetScope, disponibili con un'alta risoluzione spaziale (3 m) e temporale (tempo di rivisitazione giornaliero), caratteristiche estremamente utili per il monitoraggio della vegetazione (Planet Labs PBC, 2023). Per una accurata e puntuale identificazione delle infestazioni, la combinazione della componente satellitare con la raccolta di dati sul campo risulta indispensabile. Per tale motivo è stata messa a punto una scheda di valutazione del grado di infestazione dei pini domestici, atta a raccogliere le informazioni sistematiche connesse ai danni causati da *T. parvicornis* (Leach *et al.*, 2019) in alcune pinete della città di Roma.

Gli obiettivi di questa ricerca sono: valutare l'efficacia delle immagini PlanetScope per identificare i danni causati dall'infestazione di *T. parvicornis* in ambiente urbano e di individuare vantaggi e criticità della combinazione tra rilievi a terra e dati telerilevati per la gestione delle infestazioni in contesti urbani.

2. MATERIALI E METODI

Il presente studio si concentra sul territorio di Roma Capitale che, con un'area di 1287,4 km², presenta un'incidenza di spazi pubblici del 3,7%, corrispondente a circa 48 km², suddivisi tra aree verdi attrezzate, parchi archeologici storici e grandi parchi urbani. Parte del territorio include anche Aree Naturali Protette e Riserve Naturali.

La selezione delle aree di indagine è stata cruciale, dal momento che lo studio si con-

centra esclusivamente su una specie arborea: il pino domestico (*Pinus pinea* L.). Le aree caratterizzate da una copertura estesa di pini sono state privilegiate, in quanto più facilmente riconoscibili nelle immagini PlanetScope. Per tale motivo sono stati scelti siti come ville storiche, parchi pubblici e altre aree verdi, dove la concentrazione di *Pinus pinea* è più alta (Fig. 1). Tutti i siti selezionati si trovano all'interno del perimetro dell'A90 (Grande Raccordo Anulare), l'arteria principale che circonda Roma, escludendo quindi grandi aree verdi esterne, come la pineta di Castel Fusano.

Poiché l'insetto ha infestato tutte le aree verdi di Roma (Regione Lazio), è stata scelta un'area di controllo nella Tenuta di San Rossore (Toscana) nel Parco Regionale di Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli, situata, tra le province di Pisa e Lucca. Questo Parco regionale copre un'area di 23.115 ettari e comprende una varietà di ambienti naturali, come zone costiere, pinete, boschi di latifoglie, zone umide e il Lago di Massaciuccoli (<https://www.parcosanrossore.org/pianificazione-e-governo-del-territorio/piani-di-gestione/> visitato il 10 Ottobre 2024). L'area del parco è coperta per il 50% da foreste, dominate da pinete (sia *Pinus pinaster* Ait. che *Pinus pinea* L.) che non sono ancora state attaccate da *T. parvicornis*.

3. INDAGINI DI CAMPO

In un primo momento è stata svolta un'indagine in *situ* per valutare il grado di infestazione degli alberi e identificare le aree più adatte su cui concentrare le successive analisi (Fig. 2). Le indagini sono state condotte tra giugno e agosto 2023 nei siti selezionati (Tab. 1). Ogni ispezione ha previsto la georeferenziazione e la compilazione di una scheda identificativa per ciascun albero.

Per la predisposizione della scheda di valutazione utilizzata nello studio, sono state

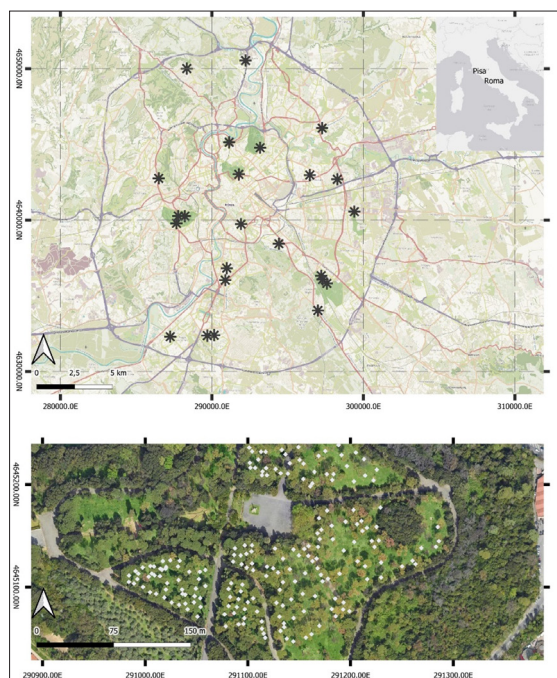


Figura 1 - Localizzazione delle aree scelte nella città di Roma per i rilievi e dettaglio di Villa Glori con relativi pini georeferenziati.

affrontate diverse considerazioni preliminari. Come suggerito da Stenhouse (2005), la metodologia iniziale ha riguardato la scelta tra un approccio qualitativo o quantitativo. Nella progettazione della scheda è stato adottato un approccio simile a quello illustrato da Mat-

theck e Breloer (1994) relativa al protocollo VTA (*Visual Tree Assessment*), il quale genera un risultato numerico pur prevedendo valutazioni qualitative (Koeser *et al.*, 2014).

Allo stesso modo la valutazione dello stato degli alberi tramite scheda, è stata effettuata qualitativamente, con variabili classificate su una scala da “poco degradato” a “completamente degradato” (Dunster *et al.*, 2017), trasposte in valori numerici percentuali per facilitare le analisi successive. La scelta delle variabili per la valutazione si basa su una revisione della letteratura relativa agli attacchi di *T. parvicornis* (Di Sora *et al.*, 2022, 2023; EFSA PLH Panel *et al.*, 2022; Garonna *et al.*, 2015) e sulle caratteristiche specifiche di tali attacchi. Le variabili incluse nel modulo sono cinque: due relative alla presenza e quantità di fumaggine, due legate alla chioma dell’albero (disseccamento della chioma e compattezza della chioma) e una riguardante la vitalità complessiva dell’albero.

Tutte queste variabili sono state utilizzate per determinare il grado di infestazione dei pini. Le prime quattro variabili sono state valutate in intervalli percentuali di 0%-20% (quasi assente), 20%-40% (poco presente), 40%-60% (mediamente presente), 60%-80% (molto presente) e 80%-100% (completamen-



Figura 2 - A sinistra esemplari di pino domestico infestati a Roma, a destra pinete sane nel Parco Regionale di Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli (foto F. Parisi).

Tabella 1 - Elenco delle aree scelte per i rilievi con relativa data di esecuzione e numero di alberi georeferenziati.

LOCALITÀ	NOME DELL'AREA	NUMERO DI ALBERI RILEVATI	DATA DEL RILIEVO
Roma (Lazio)	Parco degli acquedotti	130	16-29/06/2023
	Villa Ada	30	21/06/2023
	Parco Don G. Alberione	16	23/06/2023
	Villa Borghese	340	21/06 - 29/07 - 27/08/2023
	Green area via D. Campana	10	07/06/2023
	Via delle Terme di Caracalla	106	17/06/2023
	Parco G. Sbragia	47	23/06/2023
	Parco E. Corizza	16	06/06/2023
	Villa Glori	202	21/06 - 22/07/2023
	Villa Lazzaroni	37	18/06/2023
	Parco Papacci	49	10/06/2023
	Villa Pamphili	574	27/06 - 11/07 - 23/07 - 28/07 - 10/08/2023
	Parco Petroselli	19	07/06/2023
	Parco Don Giovanni Scorza	40	16/06/2023
	Pineta Sacchetti	331	27/06 - 08/08/2023
	Street-side trees in Saxa Rubra	41	10/06/2023
	Giardino Aldo Tozzetti	7	07/06/2023
	Parco Tor Tre Teste	28	07/06/2023
Pisa (Toscana)	Tenuta San Rossore	238	10/09/2023

te presente). L'ultima, che riguarda la valutazione complessiva della salute dell'albero, è stata classificata su una scala da 1 a 5 utilizzando criteri simili.

Dalla campagna di rilievi è risultato uno shapefile puntiforme, in cui ogni punto rappresenta un albero. Tutte le alberature appartenenti all'area urbana di Roma sono classificate come attaccate, e, nella scheda, è stato registrato il grado di infestazione di queste; tutte le

alberature appartenenti alla tenuta Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli sono state classificate come sane, infatti tutti i parametri della scheda sono stati considerati ottimali.

La metodologia di registrazione dei dati completamente in digitale ha consentito l'utilizzo diretto di software specifici come QGIS e *Google Earth Engine*. È stato registrato anche il numero di alberi monitorati in ciascuna area selezionata, insieme alla data di ogni rilievo (Tab. 2).

Tabella 2 - Scheda utilizzata durante i rilievi.

Area			Data		
Vitalità complessiva dell'albero	1	2	3	4	5
Note					
Presenza di fumaggine	Rami		Tronco		
Quantità di fumaggine	20%	40%	60%	80%	100%
Note					
Disseccamento della chioma	20%	40%	60%	80%	100%
Note					
Compattezza della chioma	20%	40%	60%	80%	100%
Note					

4. DATI PLANETSCOPE

Per le aree selezionate, individuate durante le indagini sul campo, sono state acquisite immagini satellitari ad alta risoluzione spaziale per caratterizzare l'attività fotosintetica degli alberi mediante il calcolo di indici di vegetazione. In questo studio, sono state utilizzate immagini PlanetScope acquisite tra il 15 luglio 2019 e il 15 luglio 2023. Queste immagini provengono dalla seconda generazione di nano-satelliti PlanetScope (PS2.SD), disponibili dal 2019. Questi satelliti sono dotati di sensore multispettrale capace di acquisire quattro bande spettrali (*spectral bands*) associate a otto *quality bands*. Le caratteristiche delle quattro bande spettrali utilizzate per generare gli indici di attività fotosintetica sono riportate nella Tabella 3. Le *quality bands*, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 4 (EFSA PLH Panel *et al.*, 2022; Tarasov, 2020), invece, vengono impiegate per mascherare le nubi e ridurre il rumore. Poiché questa costellazione di satelliti presenta tempi di rivisitazione giornaliera non eliosincrona, è stato necessario rimuovere il rumore derivante dalle variazioni nell'angolo della radiazione solare, mediando settimanalmente le immagini acquisite (White *et al.*, 2017).

Tabella 3 - PlanetScope spectral bands.

SPECTRAL BANDS	LENGTH
Blue	464 - 517 nm
Green	547 - 585 nm
Red	650 - 682 nm
NIR	846 - 888 nm

Tabella 4 - PlanetScope quality bands.

QUALITY BANDS	INFORMATION
1	clear mask
2	snow mask
3	shadow mask
4	light haze mask
5	heavy haze mask
6	cloud mask
7	confidence
8	unusable data mask

5. CALCOLO DEGLI INDICI DI VEGETAZIONE

Dalle immagini disponibili sono stati estratti i valori di banda corrispondenti ad ogni punto georeferenziato (e quindi ad ogni albero). La tabella degli attributi dello shapefile puntifor-

me è stata integrata con i corrispondenti valori delle bande spettrali oltre ad informazioni aggiuntive, come l'area di studio di appartenenza, la data di acquisizione delle immagini Planet-Scope e le variabili registrate durante i rilievi, creando una dettagliata banca dati per ogni area studiata.

Sulla base di una revisione della letteratura (Morales-Gallegos *et al.*, 2023; Shi *et al.*, 2018; Xue e Su, 2017), sono stati selezionati e calcolati gli indici di vegetazione: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (eq 1), Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI) (eq 2) e Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) (eq 3).

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (1)$$

$$RDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)^{0.5}} \quad (2)$$

$$SAVI = (1 + L) \frac{(NIR-R)}{(NIR+R+L)} \quad (3)$$

L'NDVI è l'indice più comunemente utilizzato negli studi sulla vegetazione (Karnieli *et al.*, 2010; Xue e Su, 2017), mentre il SAVI e l'RDVI derivando dall'NDVI, ne modificano le caratteristiche riducendo la sua sensibilità agli effetti del suolo. Il confronto dei risultati per i tre indici calcolati ha mostrato che l'RDVI era particolarmente adatto agli obiettivi dello studio, evidenziando in modo più marcato e netto le differenze tra le tendenze degli alberi infestati e sani nelle diverse aree.

6. RILEVAMENTO DELLE INFESTAZIONI

Sono stati individuati due livelli di analisi, uno che si concentra maggiormente sulle aree, considerate come entità uniche, ed uno che si concentra sulle singole alberature. Per le aree sono stati calcolati i valori medi mensili di

RDVI per tutto il periodo analizzato (da luglio 2019 a luglio 2023). Questo è stato utile per studiare il diverso comportamento delle aree infestate e delle aree sane, individuando dei trend ricorrenti nell'andamento dell'RDVI.

Per quanto riguarda le singole alberature invece, sono state calcolate le medie di RDVI dei soli mesi di luglio e agosto per gli anni 2020, 2021 e 2022. Si è deciso infatti di studiare il comportamento in uno specifico periodo, ossia quello di massima differenziazione nel comportamento spettrale tra alberature sane e infestate. Questo è stato utile per determinare una soglia di discriminazione tra i due stati (sano-infestato). Per massimizzare i risultati sono stati esclusi gli anni 2023 per l'assenza di dati nei mesi di luglio e agosto, e il 2019 poiché le differenze tra alberature sane e colpite risultavano meno significative. La soglia è stata determinata a seguito dell'analisi della distribuzione normale delle medie estive di ogni albero.

7. RISULTATI

Nell'analisi dell'indice RDVI per le aree sane e quelle infestate, è stata calcolata la media mensile lungo i quattro anni di monitoraggio (Fig. 3). I risultati in entrambi i casi hanno mostrato un calo durante il periodo primaverile-estivo di ogni anno, tuttavia la tendenza dell'RDVI nell'area di controllo differisce significativamente da quella delle aree colpite da *T. parvicornis*: in particolare, l'area di controllo non presenta il pronunciato calo osservato nelle zone attaccate durante i mesi estivi, mantenendo livelli di attività relativamente stabili.

Inoltre, l'andamento dell'indice ha rivelato che i valori più bassi registrati nelle aree colpite mostrano una tendenza crescente nel tempo (Fig. 3). In particolare, il picco minimo medio nel 2020 era 21.9, rispetto a un valore di 26.6 nel 2022.



Figura 3 - Trend multitemporale dei valori medi di RDVI (in rosso chiaro il range dei valori assunti dall'indice). L'indice raggiunge i valori minimi nel 2020, e lentamente risale negli anni successivi.

Focalizzando, poi, l'analisi sulle singole piante, è stata studiata la distribuzione delle medie estive (luglio-agosto). Anche in questo caso è evidente una chiara separazione tra aree sane e infestate (Fig. 4). Sulla base di questa evidenza, sono stati testati diversi valori dell'indice RDVI, per identificare una soglia che distinguesse tra piante sane e infestate. Attraverso la costruzione di una matrice di confusione sono state valutate le accuratezze della classificazione effettuata in base ai valori dell'indice, con quella effettuata durante i rilievi. Il valore soglia di 33,1 ha permesso di ottimizzare l'accuratezza della classificazione (Tab. 5), calcolata sulla base di tre indicatori di accuratezza: 1. *Overall accuracy*, cioè l'accuratezza complessiva della classificazione che, sulla base del campione rappresentato nella matrice di confusione è data dal numero dei valori classificati correttamente (la sommatoria delle numerosità sulla diagonale) rapportato al numero totale del campione stesso; 2. *User accuracy*, cioè il rapporto tra i valori correttamente assegnati ad una determinata classe ed i valori totali che sono stati assegnati alla classe

stessa (rappresentano i falsi positivi); 3. *Producer accuracy*: rapporto tra i valori correttamente assegnati ad una determinata classe ed i valori totali che sarebbero dovuti appartenere a quella classe (rappresentano i falsi negativi).

8. DISCUSSIONE

Il monitoraggio delle infestazioni di insetti, in ambiente forestale, attraverso il tele-rilevamento, è una pratica consolidata (Abd El-Ghany *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2019). In questo studio, è stata monitorata l'infestazione di insetti sugli alberi di pino domestico nella città di Roma, utilizzando indici di vegetazione elaborati su dati satellitari ad alta risoluzione. La complessità dell'ambiente urbano rappresenta una sfida nello studio degli spazi verdi in aree densamente popolate (He, 2023). Le immagini PlanetScope, con risoluzione di 3 metri e tempi di rivisitazione giornalieri, si sono dimostrate promettenti per studi in contesti urbani, offrendo dettagli spaziali oltre 10 volte superiori rispetto alle immagini Sentinel-2

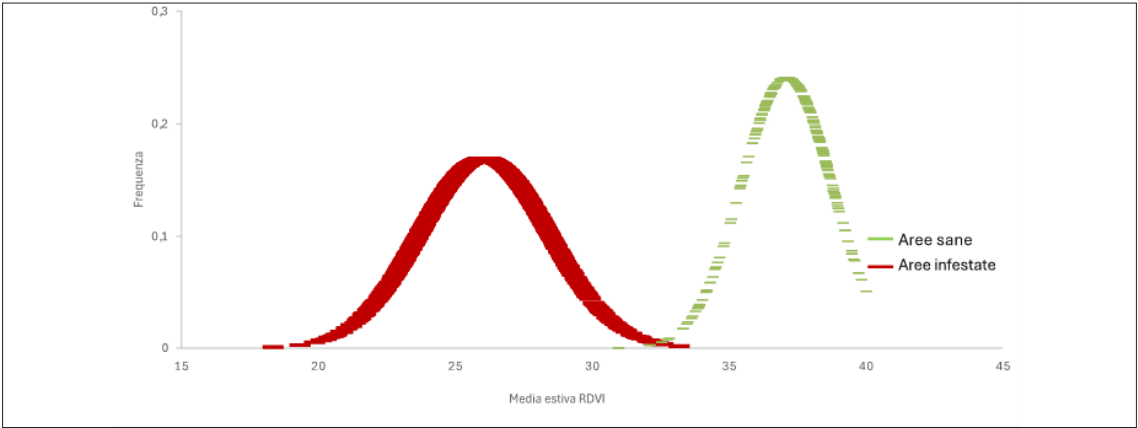


Figura 4 - Distribuzione normale delle medie estive di RDVI.

Tabella 5 - Matrice di confusione per il valore 33,1 di RDVI.

Soglia delle medie estive di RDVI = 33,1		Classificazione con la soglia		
		infestate	sane	totale
Classificazione in campo	infestate	1596	1	1260
	sane	6	232	238
	totale	1602	233	1835
Overall Accuracy = 0,996 Producer Accuracy = 0,999 User Accuracy = 0,996				

(Dalponte *et al.*, 2022; D’Amico *et al.*, 2023; Francini *et al.*, 2020, 2024b; Shi *et al.*, 2018).

In particolare, i dati PlanetScope sono stati utilizzati per testare per la prima volta l’indice RDVI nel monitoraggio di *Toumeyella parvicornis*. L’indice RDVI ha mostrato una tendenza simile all’NDVI, ma con una maggiore separazione tra le curve relative alle aree infestate e sane, facilitandone così la discriminazione. Durante il periodo estivo, la diminuzione dei valori di RDVI, anche rispetto agli altri indici analizzati, era più pronunciata nelle alberature colpite rispetto a quelle sane.

L’analisi ha coperto un periodo di 48 mesi, consentendo di identificare le tendenze ricorrenti. I valori minimi dell’indice calcolati nel tempo hanno mostrato un trend crescen-

te (21,9 nel 2020, 24,6 nel 2021, e 26,6 nel 2022), questi valori possono essere attribuiti all’implementazione di trattamenti endoterapici a carico dei pini di Roma. La lunghezza triennale del periodo di osservazione rende questa ricerca utile per la gestione delle infestazioni in ambito urbano, considerando i cicli di deposizione delle uova di *T. parvicornis*. In particolare la specie svolge tre cicli di ovideposizione in un anno: il primo tra la seconda metà di aprile e maggio, il secondo tra luglio e agosto e il terzo tra settembre e novembre (Garonna *et al.*, 2015). La correlazione di questi periodi con il ciclo vegetativo di *Pinus pinea* evidenzia la concomitanza tra i periodi di stress (Aragones *et al.*, 2019) e gli attacchi dell’insetto. Questo fenomeno si evidenzia ancora di

più nel confronto con alberi sani: gli attacchi non solo amplificano il danno, ma aggravano significativamente le condizioni degli alberi colpiti rispetto a quelli non attaccati.

Il supporto delle indagini in *situ* ha permesso di concentrare l'analisi in aree note per l'avanzamento delle infestazioni, facilitando lo studio del comportamento spettrale in alberi con diverso grado di attacco. Attraverso la georeferenziazione degli alberi, è stato possibile identificare accuratamente i pixel delle immagini PlanetScope relativi a *Pinus pinea*, evitando incertezze e rumore nei dati di telerilevamento.

Confrontando la distribuzione normale delle medie dell'RDVI estivo delle aree infestate con quella di un'area di controllo sana, è stato possibile definire una soglia di RDVI di 33.1, utilizzabile come criterio affidabile per identificare aree danneggiate, dal momento che è stata osservata un'accuratezza superiore al 99% nella discriminazione tra aree sane e malate. Questo indice può supportare le attività di monitoraggio, fornendo informazioni preliminari sugli alberi malati con costi contenuti e con possibilità di intervento tempestivo.

9. POTENZIALITÀ E NUOVE SFIDE

Il presente studio evidenzia l'importanza dei dati di campo nella ricerca sulle infestazioni di insetti forestali, in particolare se integrati opportunamente con dati da telerilevamento. Nonostante l'uso di cicli di endoterapia nel comune di Roma, manca un'informazione dettagliata sui tempi e le modalità di tali trattamenti, il che limita l'interpretazione dei risultati. Inoltre, le linee guida per il trattamento di *T. parvicornis* suggeriscono la potatura delle chiome (CFN, 2020), va quindi tenuta in considerazione questa pratica nella lettura dei risultati, poiché ha comportato una significa-

tiva riduzione della densità delle chiome degli alberi interessati dall'infestazione.

Si evidenzia inoltre la necessità di sviluppare una serie storica di dati raccolti in campo, oltre a migliorare le metodologie di raccolta, poiché alcuni indicatori risultano difficili da valutare e potenzialmente inefficaci. Per questo motivo i parametri registrati nella scheda valutativa non sono stati inclusi attualmente nelle analisi. Le alberature sono state quindi considerate come infestate o sane, senza valutare il grado di infestazione. In futuro, con il perfezionamento della scheda valutativa, sarà possibile implementare analisi che integrino i dati da telerilevamento con i parametri raccolti in campo.

Infine, sebbene il telerilevamento sia uno strumento fondamentale, presenta limitazioni intrinseche, quali la difficoltà di valutazione a livello del singolo albero e la possibilità che i danni iniziali non siano rilevabili, ostacolando così la diagnosi precoce delle infestazioni e la possibilità di intervento (Gonthier *et al.*, 2012; Kirdar *et al.*, 2010).

10. CONCLUSIONI

Questo studio ha portato a cinque principali conclusioni:

- l'uso delle immagini PlanetScope ha consentito di studiare piccole aree urbane grazie alla loro alta risoluzione spaziale e alla disponibilità di dati giornalieri, offrendo un approccio innovativo nell'individuazione e nel monitoraggio delle infestazioni di *Toumeyella parvicornis* con risultati promettenti;
- è stata effettuata con successo l'integrazione tra dati di campo e tecniche di telerilevamento, permettendo l'analisi della risposta spettrale di *Pinus pinea*;
- l'indice RDVI si è dimostrato efficace nel distinguere alberi infestati da quelli sani,

mostrando risultati soddisfacenti rispetto ad altri indici utilizzati in studi precedenti su *T. parvicornis* in Italia (D'Amico *et al.*, 2023; Garonna *et al.*, 2015);

- è stata identificata una soglia nei valori di RDVI per classificare le alberature sane e infestate, utile nella gestione di *T. parvicornis* e facilmente applicabile anche in contesti urbani;
- per contrastare efficacemente l'invasione di *T. parvicornis*, è fondamentale condurre ulteriori ricerche, in particolare per sviluppare tecniche di identificazione di indicatori per interventi preventivi. Inoltre, la condivisione di informazioni tra stakeholder sulla salute degli alberi e sui cicli di trattamento potrebbe migliorare la comprensione delle dinamiche del fenomeno. Infine, la disponibilità continua di dati *in situ* è essenziale per ampliare i database e ottimizzare i risultati del telerilevamento.

Ente finanziatore

Progetto finanziato dall'Unione Europea - Next-GenerationEU - Piano Nazionale Resistenza e Resilienza (PNRR) - Missione 4 Componente 2 Investimento 1.4 - Avviso n. 3138 del 16 dicembre 2021 rettificato con D.D. n. 3175 del 18 dicembre 2021 del Ministero dell'Università e della Ricerca.

Award Number

Codice progetto CN_00000033, Decreto Direttoriale MUR n.1034 del 17 giugno 2022 di concessione del finanziamento, CUP H73C22000300001, titolo progetto "National Biodiversity Future Center - NBFC".

RIASSUNTO

Il presente studio si propone di valutare l'efficacia del telerilevamento nel monitorare l'invasione della cocciniglia tartaruga (*Toumeyella parvicornis* Cockerell) a carico

del pino domestico (*Pinus pinea* L.) nella città di Roma, utilizzando immagini di PlanetScope, ideali per rilevare focolai di infestazioni in aree urbane e periurbane.

Per condurre la ricerca, è stato creato un dataset di riferimento contenente 238 alberi sani in Toscana e 2023 alberi danneggiati nelle aree verdi di Roma.

Sono state analizzate oltre 30.000 immagini PlanetScope, testando l'efficacia dell'indice RDVI (*Renormalized Difference Vegetation Index*) nel rilevamento delle infestazioni di pino domestico. I risultati mostrano un calo significativo dell'indice RDVI durante l'estate nelle aree infestate, mentre gli alberi sani sono rimasti stabili. Integrando dati a terra e telerilevati, sono state esaminate diverse soglie di RDVI, individuando la più accurata nella discriminazione tra alberi sani e danneggiati.

La soglia identificata ha fornito un'accuratezza del 99% nel rilevare gli alberi infestati. Tuttavia, si riconosce che il dataset degli alberi sani proveniva da aree forestali naturali, dove è prevista un'attività fotosintetica più elevata rispetto alle aree verdi urbane. Dai risultati ottenuti possiamo affermare che il monitoraggio delle foreste urbane tramite immagini satellitari è fondamentale per gestire le infestazioni di parassiti.

BIBLIOGRAFIA

- Abd El-Ghany N.M., Shadia E Abd E.A., Shahira S.M., 2020 - *A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and diseases management*. Environmental Science and Pollution Research, 27 (27): 33503-33515. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09517-2>
- Aragones D., Rodriguez-Galiano V.F., Caparros-Santiago J.A., Navarro-Cerrillo R.M., 2019 - *Could land surface phenology be used to discriminate Mediterranean pine species?* International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 78: 281-294. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.003>
- Capotorti G., Alós Ortí M.M., Copiz R., Fusaro L., Mollo B., Salvatori E., Zavattoni L., 2019 - *Biodiversity and ecosystem services in urban green infrastructure planning: A case study from the metropolitan area of Rome (Italy)*. Urban Forest and Urban Greening, 37: 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.12.014>
- CFN, 2020 - *Linee guida per la gestione del fitomizo Toumeyella parvicornis (Cockerell)*. 20 p.
- D'Amico G., Francini S., Parisi F., Vangi E., De Santis E., Travaglini D., Chirici G., 2023 - *Multitempo-*

- ral Optical Remote Sensing to Support Forest Health Condition Assessment of Mediterranean Pine Forests in Italy*. In: Earth and Environmental Sciences, Springer Proceedings, Part F639: 113-123. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25840-4_15
- Dalponte M., Solano-Correa Y.T., Frizzera L., Gianelle D., 2022 - *Mapping a European Spruce Bark Beetle Outbreak Using Sentinel-2 Remote Sensing Data*. Remote Sensing (Basel), 14 (13). <https://doi.org/10.3390/rs14133135>
- Di Sora N., Rossini L., Contarini M., Chiarot E., Speranza S., 2022 - *Endotherapeutic treatment to control *Toumeyella parvicornis* Cockerell infestations on *Pinus pinea* L.* Pest Management Science, 78 (6): 2443-2448. <https://doi.org/10.1002/ps.6876>
- Di Sora N., Rossini L., Contarini M., Mastrandrea G., Speranza S., 2023 - *Toumeyella parvicornis* versus endotherapeutic abamectin: three techniques, 1 year after. Pest Management Science, 79 (10), 3676-3680. <https://doi.org/10.1002/ps.7547>
- Dunster J.A., Smiley, E.T., Matheny N., Lilly S., 2017 - *Tree risk assessment manual*. In: International Society of Arboriculture, Arboricultural Journal, 36 (3): 179-180. <https://doi.org/10.1080/03071375.2014.930244>
- EFSA PLH Panel (EFSA Panel on Plant Health), Bragard C., Baptista P., Chatzivassiliou E., Serio F. Di, Gonthier P., Jaques Miret J.A. et al., 2022 - *Pest categorisation of *Toumeyella parvicornis**. EFSA Journal, 20 (3): e07146. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7146>
- Francini S., McRoberts R.E., Giannetti F., Mencucci M., Marchetti M., Scarascia Mugnozza G., Chirici G., 2020 - *Near-real time forest change detection using PlanetScope imagery*. European Journal of Remote Sensing, 53 (1): 233-244. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1806734>
- Francini S., Schelhaas M.J., Vangi E., Lerink B.J., Nabuurs G.J., McRoberts R.E., Chirici G., 2024a - *Forest species mapping and area proportion estimation combining Sentinel-2 harmonic predictors and national forest inventory data*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 131: 103935. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103935>
- Francini S., Chirici G., Chiesi L., Costa P., Caldarelli G., Mancuso S., 2024b - *Global spatial assessment of potential for new peri-urban forests to combat climate change*. Nature Cities, 1 (4): 286-294. <https://doi.org/10.1038/s44284-024-00049-1>
- Garonna A.P., Scarpato S., Vicinanza F., Espinosa B., 2015 - *First report of *Toumeyella parvicornis* (Cockerell) in Europe (Hemiptera: Coccidae)*. Zootaxa, 3949 (1): 142-146. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3949.1.9>
- Gonthier P., Lione G., Borgogno Mondino E., 2012 - *Tree health monitoring: perspectives from the visible and near infrared remote sensing*. Forest@ - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, 9 (2): 89-102; <https://doi.org/10.3832/efor0691-009>
- He D., Shi Q., Xue J., Atkinson P.M., Liu X., 2023 - *Very fine spatial resolution urban land cover mapping using an explicable sub-pixel mapping network based on learnable spatial correlation*. Remote Sensing of Environment, 299: 113884. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113884>
- Hlásny T., Zimová S., Merganičová K., Štěpánek P., Modlinger R., Turčáni M., 2021 - *Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications*. Forest Ecology and Management, 490: 119075. <https://doi.org/10.1016/j.FORECO.2021.119075>
- Hui K.K.W., Wong M.S., Kwok C.Y.T., Li H., Abbas S., Nichol J.E., 2022 - *Unveiling Falling Urban Trees before and during Typhoon Higos (2020): Empirical Case Study of Potential Structural Failure Using Tilt Sensor*. Forests, 13 (2): 359. <https://doi.org/10.3390/f13020359>
- Huo L., Persson H.J., Lindberg E., 2021 - *Early detection of forest stress from European spruce bark beetle attack, and a new vegetation index: Normalized distance red & SWIR (NDRS)*. Remote Sensing of Environment, 255: 112240. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112240>
- Khodaei M., Hwang T., Kim J.H., Norman S.P., Roberson S.M., Song C., 2020 - *Monitoring forest infestation and fire disturbance in the southern appalachian using a time series analysis of landsat imagery*. Remote Sensing (Basel), 12 (15): 2412. <https://doi.org/10.3390/RS12152412>
- Kırdar E., Özel H. B., Ertekin M., 2010 - *Effects of pruning on height and diameter growth at stone pine (*Pinus pinea* L.) afforestations*. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 12 (18): 1-10. <http://bof.bartın.edu.tr/.../1-10.pdf>
- Koeser A.K., Hasing G., McLean D., Northrop R., 2014 - *Tree Risk Assessment Methods: A Comparison of Three Common Evaluation Forms*. Edis, 2014 (1). <https://doi.org/10.32473/edis-ep487-2013>
- Karnieli A., Agam N., Pinker R.T., Anderson M., Imhoff M.L., Gutman G.G., Panov N., Goldberg A., 2010 - *Use of NDTV and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations*.

- Journal of Climate, 23 (3): 618-633. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2900.1>
- Leach N., Coops N.C., Obrknezev N., 2019 - *Normalization method for multi-sensor high spatial and temporal resolution satellite imagery with radiometric inconsistencies*. Computer Electronics in Agriculture, 164: 104893. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104893>
- Lüttge U., Buckeridge M., 2023 - *Trees: structure and function and the challenges of urbanization*. Trees - Structure and Function, 37 (1): 9-16. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01964-1>
- Mattheck C., Breloer H., 1994 - *Field guide for visual tree assessment (Vta)*. Arboriculture Journal, 18 (1): 1-23. <https://doi.org/10.1080/03071375.1994.9746995>
- Mazzeo G., Longo S., Pellizzari G., Porcelli F., Suma P., Russo A., 2014 - *Exotic scale insects (Coccoidea) on ornamental plants in Italy: A never-ending story*. Acta Zoologica Bulgarica, 66: 55-61.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005 - *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4892.1.1>
- Morales-Gallegos L.M., Martínez-Trinidad T., Hernández-de la Rosa P., Gómez-Guerrero A., Alvarado-Rosales D., Saavedra-Romero L. de L., 2023 - *Tree Health Condition in Urban Green Areas Assessed through Crown Indicators and Vegetation Indices*. Forests, 14 (8): 1673. <https://doi.org/10.3390/f14081673>
- Parisi F., Vangi E., Francini S., Chirici G., Travaglini D., Marchetti M., Tognetti R., 2022 - *Monitoring the abundance of saproxylic red-listed species in a managed beech forest by landsat temporal metrics*. Forest Ecosystem, 9: 100050. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100050>
- Parisi F., Vangi E., Francini S., D'Amico G., Chirici G., Marchetti M., Lombardi F., Travaglini D., Ravera S., Santis E. De, Tognetti R., 2023 - *Sentinel-2 time series analysis for monitoring multi-taxon biodiversity in mountain beech forests*. Frontiers in Forests and Global Change, 6: 1-16. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1020477>
- Planet Labs PBC, 2023 - *PlanetScope Product Specifications*. (December), 1-38. Available at: https://assets.planet.com/docs/Planet_PSScene_Imagery_Product_Spec_letter_screen.pdf
- Portoghesi L., Tomao A., Bollati S., Mattioli W., Angelini A., Agrimi M., 2022 - *Planning coastal Mediterranean stone pine (Pinus pinea L.) reforestations as a green infrastructure: combining GIS techniques and statistical analysis to identify management options*. Annals of Forest Research, 65 (1): 31-46. <https://doi.org/10.15287/afr.2022.2176>
- Qin J.L., Yang X.H., Yang Z.W., Luo J.T., Lei X.F., 2017 - *New technology for using meteorological information in forest insect pest forecast and warning systems*. Pest Management Science, 73 (12): 2509-2518. <https://doi.org/10.1002/ps.4647>
- Shi Y., Huang W., Ye H., Ruan C., Xing N., Geng Y., Dong Y., Peng D., 2018 - *Partial least square discriminant analysis based on normalized two-stage vegetation indices for mapping damage from rice diseases using planetscope datasets*. Sensors (Switzerland), 18 (6): 1-16. <https://doi.org/10.3390/s18061901>
- Stenhouse R.N., 2005 - *Assessing disturbance and vegetation condition in urban bushlands*. Australasian Journal of Environmental Management, 12 (1): 16-26. <https://doi.org/10.1080/14486563.2005.10648630>
- Tarasov A.V., 2020 - *Estimation of the accuracy of cloud masking algorithms using Sentinel-2 and PlanetScope data*. Sovremennyye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa, 17 (7): 26-38. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-7-26-38>
- White J.C., Wulder M.A., Hermosilla T., Coops N.C., Hobart G.W., 2017 - *A nationwide annual characterization of 25 years of forest disturbance and recovery for Canada using Landsat time series*. Remote Sensing of Environment, 194: 303-321. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.035>
- Xue J., Su B., 2017 - *Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications*. Journal of Sensor, ID 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Zhang J., Huang Y., Pu R., Gonzalez-Moreno P., Yuan L., Wu K., Huang W., 2019 - *Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review*. Computers and Electronics in Agriculture, 165: 104943. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104943>