

## Storia di degrado e di rinascita di una pineta costiera

Marina Maura Calandrelli <sup>(1)</sup>,  
Antonello Migliozi <sup>(2)</sup>

### *History of degradation and rebirth of a coastal pine forest*

Climatic variations are events that can cause the colonization of new areas or new hosts, favored by an increase in the growth rates of the parasites. For some years the pine forests of the Domitian coast, in Southern Italy, have been endangered due to the aggression by the cochineal *Toumeyella parvicornis* (Cockerell). Observation using remote sensing techniques has been useful for identifying infested areas and defining the damage caused by the insect pests presence.

**Keywords:** Pine Forests, Pests, Monitoring, Satellite Images, Environmental Restoration

### Introduzione

La pineta di Castel Volturno si estende lungo il tratto costiero dell'omonimo comune in provincia di Caserta. Il litorale è caratterizzato da spiagge basse e sabbiose, limitato da cordoni dunari in parte allo stato naturale e in parte fortemente antropizzati (Cocco et al. 2002). Questo territorio è stato inglobato nella Riserva naturale Foce Volturno - Costa di Licola, istituita nel settembre 1993 con l'obiettivo di garantire in forma coordinata la conservazione e la valorizzazione del patrimonio naturale. A pochi chilometri di distanza, un'altra area protetta, la Riserva dei Variconi individuata dalla Convenzione di Ramsar, tutela una delle ultime aree umide di importanza internazionale (Calandrelli et al. 2012).

La pineta ha assunto nel tempo un'importante funzione che va da quella più propriamente ecologico-ambientale a quella sociale ed economica, per la sua caratteristica intrinseca di habitat e per la straordinaria posizione tra siti protetti e aree umide. I servizi ecosistemici offerti dalle pinete e dalle foreste all'interfaccia con l'urbano a vantaggio dei cittadini principalmente sono: il miglioramento del microclima, la promozione dell'esercizio fisico, la riduzione dello stress e i benefici psicologici e rigenerativi derivanti dall'esperienza diretta con la natura (Stier-Jarmer et al. 2021). In questo senso, la ricerca in ambito medico e psicologico testimonia ampiamente i diversi benefici sull'uomo (White et al. 2019). Negli anni '70 a seguito dello sviluppo turistico e urbanistico, la fascia costiera del Litorale Domitico, contraddistinta dalla dominante presenza dei pini, è stata denominata "Pineta Grande".

### *L'origine e l'ambiente naturale della pineta*

L'area in esame è caratterizzata da morfologie connesse alla dinamica costiera e fluviale e in alcuni casi all'attività antropica (Rispo et al. 2022). Quest'ultima è collegata alle differenti azioni che si sono verificate nel tempo (Migliozi & Stinca 2012). La pineta costiera ha avuto origine nella prima metà del secolo scorso a seguito di rimboschimenti in terreni bonificati nelle province di Napoli e Caserta (Rispo et al. 2015). A partire dal 1952, con la costituzione del Consorzio Generale di Bonifica del Bacino inferiore del fiume Volturno, la zona fu prosciugata, bonificata e le aree di retroduna furono riforestate con pini (De Magistris et al. 2004 - Fig. 1).

La struttura morfologica del litorale è tipica dell'ambiente dunale che nella completa successione ecologica raggiunge la sua potenzialità nelle formazioni a macchia mediterranea; nel retroduna la vegetazione erbacea e arbustiva che ricopre primariamente il suolo è sostituita da una fitta pineta costiera (Fig. 2).

Si tratta di una formazione costituita per circa il 90% dal pino domestico (*Pinus pinea* L.) che cresce in associazione con il pino marittimo (*Pinus pinaster* Aiton.), il pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.), il leccio (*Quercus ilex* L.) e altre piante della macchia mediterranea, quali mirto (*Myrtus communis* L.), lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), rosmarino (*Salvia rosmarinus* Schleid.), alaterno (*Rhamnus alaternus* L.), caprifoglio mediterraneo (*Lonicera implexa* Aiton), clematide fiammola (*Clematis flammula* L.), salsapariglia nostrana (*Smilax aspera* L.) e cisti (*Cistus* spp.). Nello specifico, il soprassuolo è principalmente costituito da pino domestico puro o in associazione con pino marittimo e pino d'Aleppo con sestri d'impianto 2x3 m, 2x4 m e 3x3 m. In alcune aree il pino domestico si trova in associazione con il leccio che arriva a dominare il soprassuolo nelle porzioni settentrionali di pineta appartenenti alla Riserva Naturale Statale di Castel Volturno. Al margine della riserva statale sono presenti nuclei di eucalipto rosso (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) che raggiungono altezze intorno ai 25 metri. Lo strato arbustivo è costituito prevalentemente da alloro (*Laurus nobilis* L.), ilatro sottile (*Phillyrea angustifolia* L.), alaterno (*Rhamnus alaternus* L.), mirto (*Myrtus communis* L.), cornetta emeroide (*Hippocrepis emerus* Lassen), lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), e con l'occasionale presenza di pittosporo (*Pittosporum tobira* [Thunb.] W.T.Aiton), mentre lo strato erbaceo è costituito da robbia selvatica (*Rubia peregrina* L.), asparago selvatico (*Asparagus acutifolius* L.), edera comune (*Hedera helix* L.),

□ (1) CNR - Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri, via P. Castellino 111, 80131, Napoli; (2) Università degli studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Agraria, via Università, Portici (NA)

@ Marina Maura Calandrelli ([marinamaura.calandrelli@cnr.it](mailto:marinamaura.calandrelli@cnr.it))

Ricevuto: 17 Maggio 2023 - Accettato: 24 Agosto 2023

**Citazione:** Calandrelli MM, Migliozi A (2023). Storia di degrado e di rinascita di una pineta costiera. *Forest@* 20: 73-80. - doi: 10.3832/efor4386-020 [online 2023-10-25]



**Fig. 1** - Immagini di repertorio. Illustrano gli impianti di pini negli anni '50 del XX secolo (Foto: Comando Scuola Forestale Carabinieri, Centro Addestramento di Castel Volturno, CE).



**Fig. 2** - Un esempio di vegetazione arbustiva pioniera del litorale sabbioso nell'area oggetto di studio (Foto: M.M. Calandrelli).

dafne olivella (*Daphne sericea* Vahl), parietaria giudaica (*Parietaria judaica* L.), erba mazzolina comune (*Dactylis glomerata* L.), clematide vitalba (*Clematis vitalba* L.), e sile-ne (*Silene* spp). Nelle pinete non è raro rilevare piante di pino policormiche con 1-3 fusti coetanei, struttura condizionata dall'eccessiva densità, dalla mancanza di interven-

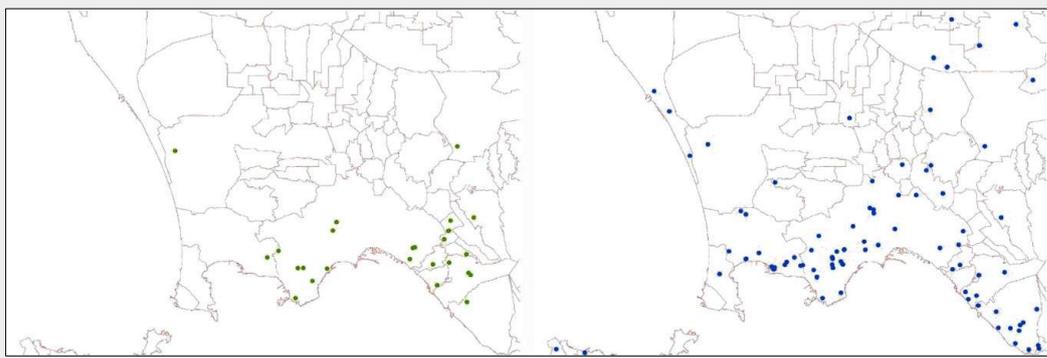
ti selvicolturali (diradamenti e spalcatore) oltre che dall'azione dei venti marini e talvolta dal passaggio del fuoco.

Molti soprassuoli, sia dominati dai pini che dal leccio, appaiono in precario stato fitosanitario. In particolare, le pinete negli ultimi anni sono state ridimensionate dal paras-



**Fig. 3** - Segni di attacco di *Toumeyella parvicornis* sui rami terminali con formazione di croste nere (A); come fumaggine (B); e segni di deambulazione di altri parassiti sul tronco (C) (Foto: M.M. Calandrelli).

**Fig. 4** - Siti di avvistamento del parassita: a sinistra, la situazione nel 2014; a destra, la situazione nel 2023 (fonte dati Regione Campania, Servizio fitosanitario).



sita *Toumeyella parvicornis* (Cockerell) – cocciniglia tartaruga –, mentre singoli individui di leccio sono infestati da funghi come il *Ganoderma lucidum* e il *Ganoderma applanatum*, che causano il disseccamento dell'intera pianta.

#### Il degrado

Nel 2014 è stata accertata la presenza della cocciniglia *T. parvicornis* in diverse parti del territorio agro-forestale campano e anche all'interno delle aree urbane (Garonna et al. 2015, Regione Campania 2015).

La cocciniglia tartaruga, originaria del Nord America, è così chiamata per l'aspetto degli esemplari adulti femminili. Le colonie si sviluppano in croste sui rametti e, oltre al danno diretto derivante dalla sottrazione di linfa, provocano un danno indiretto rilevante in conseguenza della produzione di melata appiccicosa che viene prontamente ricoperta da uno strato di fumaggine.

Negli individui di pino infestati l'insetto provoca un progressivo ingiallimento della chioma, seccumi, perdita di gran parte degli aghi e forti deperimenti che, nei pini maggiormente suscettibili, può portare anche alla morte della pianta nell'arco di pochi anni.

La tempistica e la durata di queste tappe possono variare poiché sono influenzate dalle condizioni microclimatiche locali. L'insetto nocivo, altamente adattabile, può avere un numero di generazioni variabile in base alle condizioni climatiche. In Italia l'ospite privilegiato è il comune pino domestico con enormi infestazioni e alto tasso di mortalità, che interessano soprattutto pini già indeboliti da avversi fattori ambientali e antropici (Somma et al. 2023). Il pino marittimo e il pino d'Aleppo, spesso associati al pino domestico nello stesso areale, sembra subiscano danni trascurabili. In contemporanea, altri parassiti agiscono sulle piante ormai malate, tra cui si possono citare gli attacchi del blastofago del pino *Tomicus destruens* (Saracino et al. 2019) e di Cerambicidi (Fig. 3). Come per altri Scolitidi, *T. destruens* è ritenuto vettore di funghi che possono peggiorare le condizioni sanitarie degli alberi, quali *Fusarium circinatum* (Muñoz-Adalia et al. 2017) e *Leptographium wingfieldii* (Sabbatini Peverieri et al. 2006, Dori-Bachash et al. 2015).

#### Le potenzialità dell'analisi con immagini satellitari

Lo studio del territorio e delle dinamiche ambientali si può avvalere di tecnologie innovative in grado di ottenere informazioni, sia qualitative che quantitative, su oggetti posti ad una determinata distanza. Attraverso l'impiego di satelliti in orbita equipaggiati con specifici sensori multispettrali, il telerilevamento rappresenta uno strumento che analizza gli oggetti rilevati sfruttando il modo differente che hanno di riflettere la luce.

La caratteristica dei sensori per il telerilevamento è di registrare lunghezze d'onda che non sono percepite dall'occhio umano, che restano comprese nell'intervallo di lunghezze d'onda tra i 400 nm e gli 800 nm. Possiamo,

per esempio, identificare la vegetazione grazie alla sua caratteristica di riflettere l'energia elettromagnetica (EEM) che corrisponde al colore verde, mentre assorbe l'energia elettromagnetica delle altre lunghezze d'onda che corrispondono ad altri colori.

Nelle prime fasi di insediamento di un parassita, sebbene i sintomi non siano ancora visibili, le piante reagiscono attraverso una varietà di meccanismi fisiologici, quale la riduzione dell'attività di fotosintesi, che porta ad un aumento della fluorescenza e dell'emissione di calore (Zhang et al. 2019). Questo comportamento delle piante stressate viene registrato dai sensori satellitari e tradotto in una firma spettrale diversa da quella prodotta dalle piante sane. Attraverso l'interpretazione visiva delle immagini aeree e satellitari, è possibile identificare le aree forestali danneggiate dall'azione di parassiti. Il telerilevamento gioca un ruolo cruciale nel monitoraggio delle foreste perché le mappe dei disturbi possono essere previste utilizzando procedure automatiche e immagini di sensori ottici (D'Amico et al. 2023).

#### Monitoraggio della diffusione della cocciniglia

A partire dal 2015 il servizio fitosanitario della Regione Campania ha decretato i piani di azione per il controllo della cocciniglia (Decreto regionale n. 52 del 29 luglio 2015), procedendo alla raccolta degli avvistamenti e realizzando la mappa della diffusione (Fig. 4). Le immagini mettono in evidenza la notevole capacità della specie di diffondersi rapidamente e come l'espansione territoriale può avvenire con velocità preoccupante, sia per contatto chioma-chioma sia per diffusione passiva ad opera del vento, come già evidenziato in altri territori invasi (Malumphy et al. 2016). La crescita esponenziale è stata favorita dalla mancanza di fattori di controllo naturale, sia climatici che biologici.

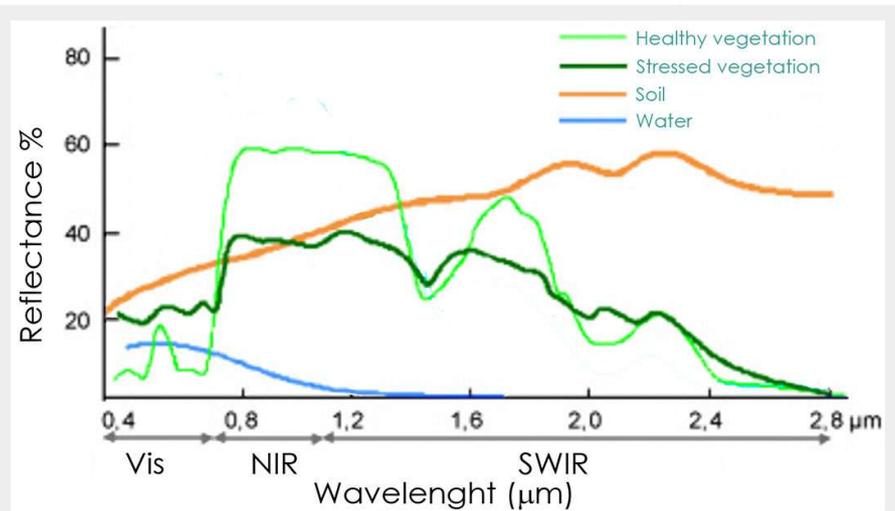
#### Materiali e metodi

Il degrado della pineta costiera di Castel Volturno è stato analizzato attraverso 3 passaggi successivi che hanno riguardato:

- la selezione e l'analisi di immagini satellitari Sentinel-2, dell'agosto 2016 e del giugno 2022, dell'area di studio del Litorale Domitio;
- la classificazione delle firme spettrali della vegetazione (Fig. 5) e il calcolo degli indici NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDRE (*Normalized Difference Red Edge*);
- i rilievi di campo.

#### Analisi immagini satellitari

Come già specificato, sono state utilizzate immagini satellitari Sentinel-2A dell'ESA (Agenzia Spaziale Europea), in proiezione UTM/WGS84, di estensione areale di 110×110 km. Le immagini sono rilasciate con riflettanze di superficie corrette atmosfericamente nella geometria cartografica e quindi immediatamente utilizzabili in ambiente GIS.



**Fig. 5** - Firme spettrali delle 4 categorie di copertura del suolo, classificate nell'area studio della Pineta di Castel Volturno. La vegetazione è stata classificata solo in due categorie in relazione all'efficienza fotosintetica. Vis=bande del visibile; NIR=bande dell'infrarosso vicino; SWIR=bande dell'infrarosso ad onde corte (Schema modificato da Boschetti).

**Calcolo indici di vegetazione**

Le immagini sono state importate in ambiente QGIS e mediante gli strumenti di analisi d'immagine sono stati calcolati due indici di vegetazione spettrale: (i) l'indice NDVI ottenuto dalla combinazione delle bande (NIR-RED) / (NIR+RED) = (B8-B4) / (B8+B4), è utile per la stima della produzione primaria; (ii) l'indice NDRE ricavato combinando le bande (NIR-RE) / (NIR+RE) = (B8-B5) / (B8+B5) è utilizzato per la determinazione del contenuto di clorofilla nella chioma delle piante. In questo modo è stato possibile avere un riferimento per individuare le comunità vegetali in buono stato e quelle attualmente in fase di degrado.

Gli indici spettrali sono ampiamente utilizzati per monitorare, analizzare e mappare le variazioni temporali e spaziali nella struttura della vegetazione (Rani et al. 2018), nonché alcuni parametri biofisici (come ad esempio la funzionalità di produzione primaria legata alla presenza della clorofilla). Sono combinazioni algebriche dei valori di riflettanza acquisiti dai sensori satellitari a diversi intervalli di lunghezza d'onda, calcolati pixel per pixel sull'intera immagine.

Sentinel-2 è una missione europea di *imaging* multispettrale ad alta risoluzione e contestualmente ad ampio raggio. Il sistema campiona 13 bande spettrali a varia risoluzione spaziale (10, 20, 60 m). Le 3 bande del visibile (Bande 2, 3, 4) e la banda 8 dell'infrarosso vicino hanno risoluzione spaziale di 10 m e sono quelle da noi utilizzate.

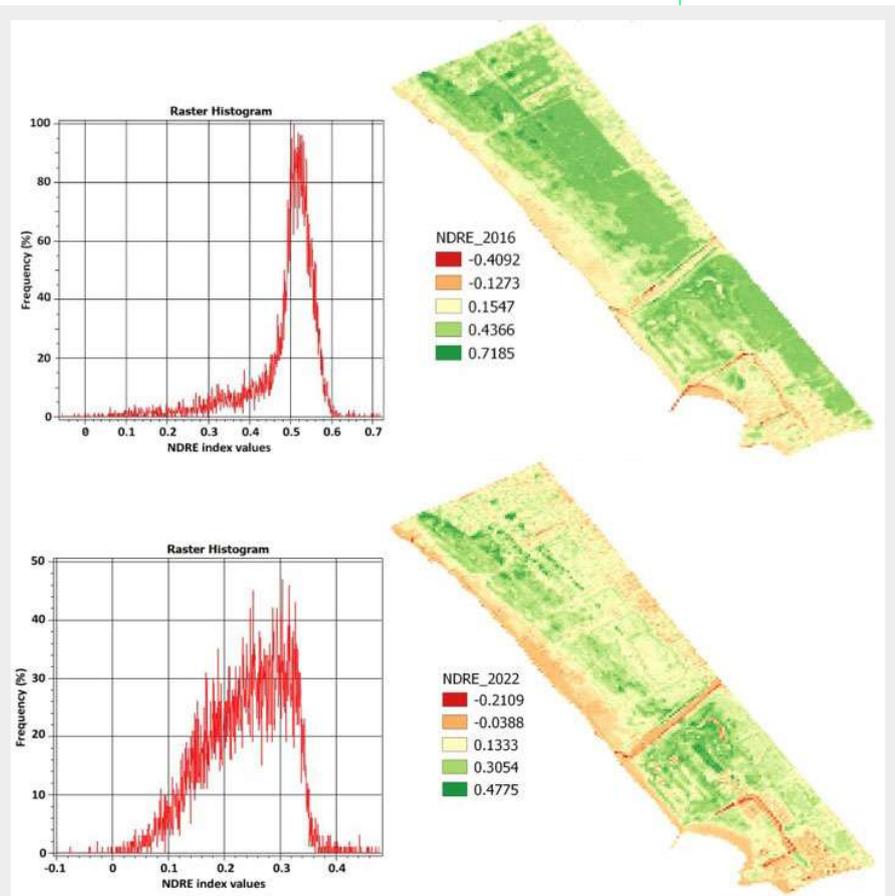
**Attività di campo**

L'attività di campo è stata svolta in un'area campione di circa 463 ettari (4200x1100 m, tra il Golf Club Volturno e Baia Verde), esemplificativa delle dinamiche di degrado della pineta costiera a dominanza di *P. pinea*. Le analisi dendrometriche sono riassunte in tre schede distinte numerate da 1 a 3 da Nord verso Sud. Un esempio riassuntivo delle verifiche è riportato in Fig. S1 (materiale supplementare).

**Risultati**

Le analisi degli indici spettrali riferite alle immagini satellitari del 2016 e 2022 evidenziano un sostanziale cambiamento della capacità fotosintetica messa in evidenza dall'indice NDRE riportato in Fig. 6. In particolare gli istogrammi ad essi associati mostrano una diminuzione dei valori massimi e, allo stesso tempo, uno scostamento della frequenza dei pixel verso valori più bassi che indicano una diminuita presenza di clorofilla. Questo dato viene confermato dall'andamento dell'indice NDVI che per gli stessi anni subisce un analogo trend, come indicato dagli istogrammi associati alle immagini della Fig. 7, in cui dal 2016 al 2022 vi è una notevole contrazione del valore massimo dell'indice che passa da 0.91 a 0.61. Inoltre gli istogrammi mostrano la frequenza distribuita prevalentemente nei valori compresi tra 0.2 e 0.4.

I rilievi di campo hanno permesso di definire la struttura della pineta che si presenta con sestri di impianto molto appressati tra loro (2x3 m, 2x4 m), con fusti con diametro molto differenziato,



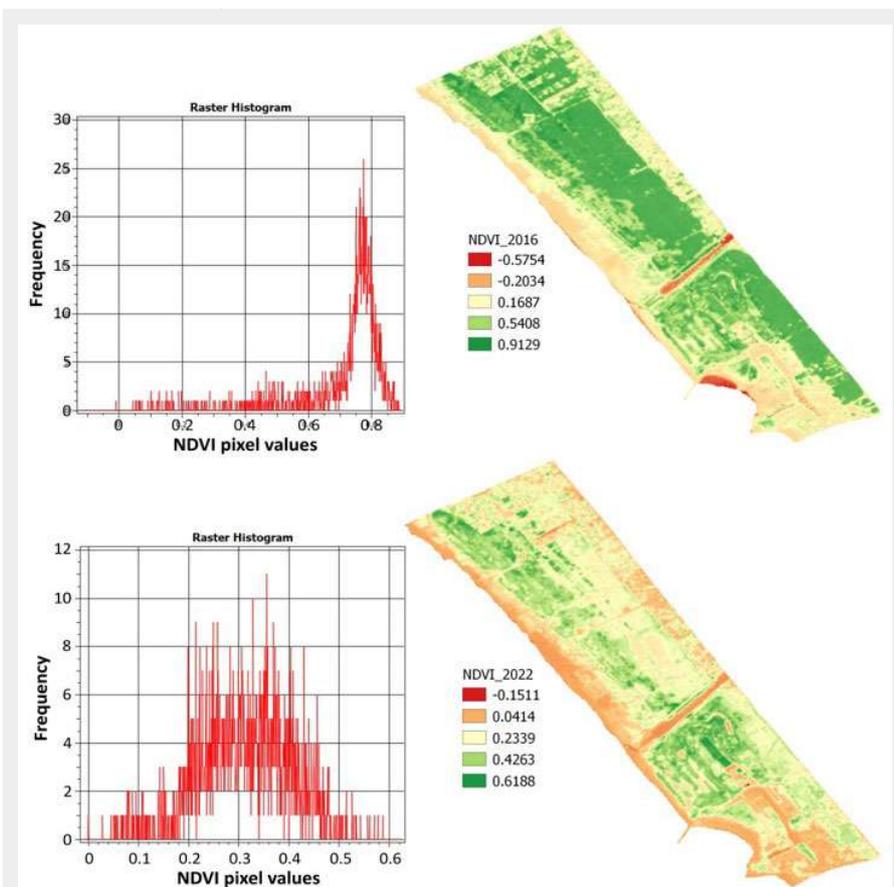
**Fig. 6** - Valori dell'indice NDRE per gli anni 2016 (in alto) e 2022 (in basso) con i relativi istogrammi. L'indice evidenzia la presenza di clorofilla che appare in notevole contrazione nel periodo considerato.

ceppaie con due o tre fusti che in molti casi risultano contorti ed inclinati. Tali strutture sono evidentemente condizionate dall'eccessiva densità e dalla mancanza di interventi selvicolturali (diradamento, spaccatura). Spesso all'interno di queste comunità di pino domestico si riscontra la presenza del leccio e del pino d'Aleppo. La rinnovazione, quando presente, è data dal leccio mentre appare assente quella di pino domestico.

L'effetto di tale dinamica è evidenziato in modo fenomenologico in Fig. 8 dove l'immagine pancromatica enfatizza il degrado.

### Discussione

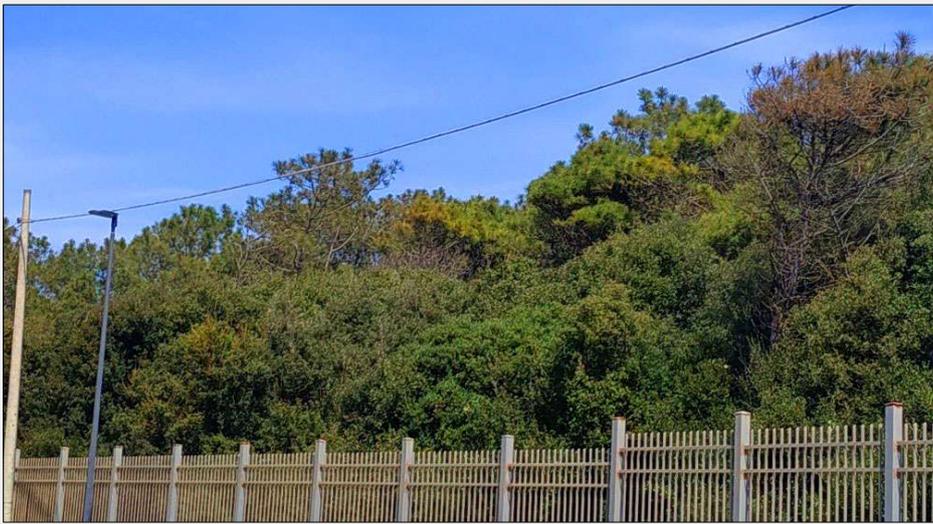
Nell'originaria pineta naturalizzata i pini erano consociati al leccio, con una notevole presenza di macchia bassa di sclerofille sempreverdi. Ne derivava una formazione forestale mista, stratificata, irregolare, che aveva trovato un proprio equilibrio, originando un ambiente multiforme apprezzato per il valore paesaggistico. Tutto questo è andato perduto ad opera di interventi selvicolturali errati e di politiche forestali di lenta attuazione o assenti in questo territorio. Con il passaggio dei parassiti parte della pineta è stata distrutta in pochi anni. Degli originari 400 ha di pineta, distribuiti lungo il litorale per circa 13 km, oltre la metà oggi si presenta completamente degradata. La man-



**Fig. 7** - Valori dell'indice NDVI per gli anni 2016 (in alto) e 2022 (in basso) con relativi istogrammi. L'indice identifica la capacità di produzione primaria di comunità vegetali ed evidenzia con gli indici più alti le comunità boschive.

**Fig. 8** - Immagini satellitari dell'area di studio. Sono messe a confronto le immagini riprese nel 2016 (a sinistra) e del 2023 (a destra); esse permettono di fare un rapido confronto sullo stato di declino della pineta (Immagini elaborate da A. Migliozzi).





**Fig. 9** - Tratto di pineta della Riserva naturale di Castel Volturmo (Foto: M.M. Calandrelli).



**Fig. 10** - *Toumeyella parvicornis* (Cockerell). A sinistra, esemplari adulti di femmina su ramoscello di pino; a destra, femmina adulta con tipico aspetto a guscio di tartaruga (da: Garonna et al. 2015, modificato).

canza di un tempestivo intervento di eradicazione e del monitoraggio dell'espansione ha causato il disseccamento dei pini nel settore settentrionale del litorale. Nella parte meridionale, in prossimità del complesso turistico "Villaggio Coppola", resistono ancora tratti di pineta (Fig. 9), anche se alcuni alberi già mostrano i segni dell'attacco della *T. parvicornis* (Fig. 10).

Sono in corso lavori di rigenerazione ambientale con l'obiettivo di restituire un organismo boschivo sano, resiliente e fruibile da parte dei cittadini e dei turisti, che avrà riflessi anche sul profilo economico e sociale. Gli interventi consistono nel taglio delle piante morte e nel reimpianto di nuovi esemplari, utilizzando le stesse specie vegetali che caratterizzano l'ambiente litoraneo dal punto di vista paesaggistico (Fig. 11).

Oltre a preservare gli esemplari di leccio, cresciuti spontaneamente nel sottobosco, sono stati piantati pini della



**Fig. 11** - (A) Visione d'insieme dei nuovi impianti (B) di pino e (C) di querce (Foto: M.M. Calandrelli).

specie *P. pinea*, *P. pinaster* e querce. Anche se è fortemente sconsigliato il reimpianto di pino domestico nelle aree infestate da parassiti quali la *Toumeyella* e il *Tomicus*, in quanto gli stessi possono attaccare le piante giovani entro i due/tre anni dall'intervento, diverse correnti di pensiero (NOVA.news 2022) suggeriscono di preservare quelle aree a pino domestico in cui alcuni individui hanno evidenziato una resistenza all'attacco dei parassiti come la *Toumeyella*. In questa ottica l'idea è quella di salvaguardare il più possibile i paesaggi costieri mediterranei a dominanza di pino domestico, che rappresentano ancora un capitale naturale di inestimabile valore storico-culturale per il territorio.

## Conclusioni

Il cambiamento climatico globale e l'aumento delle attività umane inducono cambiamenti negli habitat di vari organismi, comprese piante e animali, con conseguente riduzione della stabilità dell'ecosistema e aumento delle epidemie di insetti e patogeni. Per minimizzare gli impatti e controllarli efficacemente, sono essenziali sistemi adeguati per il monitoraggio della salute delle foreste, in cui gli strumenti di telerilevamento svolgono un ruolo sempre più importante anche per supportare le analisi di campo. L'approccio presentato conferma l'affidabilità e l'efficacia del telerilevamento nel fornire informazioni utili e tempestive che dovrebbero essere meglio sfruttate per monitorare lo stato di salute della pineta. I dati Sentinel-2 si sono rivelati una fonte di informazioni cruciale, anche se sono necessari ulteriori studi per identificare l'origine del danno forestale. Secondo i nostri risultati, si registra negli anni un evidente trend di crescita delle aree disturbate con un brusco aumento nel 2022, come evidenziato in altri studi (D'Amico et al. 2023), da cui emerge una situazione critica per le pinete mediterranee a dominanza di pino domestico.

Partendo dalle numerose osservazioni effettuate nel mondo (IPCC 2023) i risultati dei modelli climatici globali e le attuali conoscenze sulle interazioni ecologiche suggeriscono che ci sarà un aumento delle infestazioni da parassiti in futuro; ciò porterà presto a una riduzione della distribuzione geografica di *P. pinea*, a livello locale e globale (Akyol & Orucu 2019). Queste valutazioni rappresentano una sfida per la ricerca forestale nei prossimi anni. Lo studio raccomanda il monitoraggio continuo dei cambiamenti utilizzando immagini satellitari ad alta risoluzione per identificare le criticità e per intraprendere azioni tempestive volte a garantire la conservazione delle foreste.

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Col. A. Zumbolo, comandante della Scuola Forestale Carabinieri, Centro Addestramento di Castel Volturno, per aver reso disponibili le foto storiche dell'impianto della pineta; il Dott. For. F. Cona, funzionario della Città Metropolitana di Napoli, per il sostanziale supporto nei rilievi di campo e nell'elaborazione delle tavole dendrometriche; la Dott.ssa D. Carella, Dirigente STAFF - Funzioni di supporto tecnico-operativo della Regione Campania - Italy e il Dott. R. Griffo, P.O. Responsible for phytosanitary activities Plant Protection Service, per aver fornito i dati relativi alla diffusione della *Toumeyella parvicornis* nella Regione Campania.

## Bibliografia

Akyol A, Orucu OK (2019). Investigation and evaluation of stone pine (*Pinus pinea* L.) current and future potential distribution under climate change in Turkey. *Cerne* 25: 415-423. - doi: [10.1590/01047760201925042643](https://doi.org/10.1590/01047760201925042643)  
Calandrelli MM, Calandrelli R, Pagnozzi S (2012). Il distretto turistico dei laghi costieri di Castelvolturno: un caso-studio di riqualificazione territoriale di cave dismesse. In: Atti del "IV Simposio

Internazionale Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: Problematice e Tecniche di Misura". Livorno 12-14 giugno 2012.  
Cocco E, Iacono Y, Iuliano S, Lista MR (2002). Lineamenti morfodinamici e sedimentari del litorale dei Campi Flegrei (Campania, Italia meridionale). *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences* 15 (2): 209-220.  
D'Amico G, Francini S, Parisi F, Vangi E, De Santis E, Travaglini D, Chirici G (2023). Multitemporal optical remote sensing to support forest health condition assessment of Mediterranean pine forests in Italy. In: "Global Challenges for a Sustainable Society" (Benítez-Andrades JA, García-Llamas P, Taboada Á, Estévez-Mauriz L, Baelo R eds). EURECA-PRO 2022 - Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, Springer, Cham, Switzerland.  
De Magistris MA, Iuliano S, Musella F (2004). Caratteri storici, geoambientali ed evolutivi dell'area costiera dei Regi Lagni (Campania). In: Atti dell'Associazione Italiana Oceanologia Limnologia, vol. 17, pp. 35-46.  
Dori-Bachash M, Avrahami-Moyal L, Protasov A, Mendel Z, Freeman S (2015). The occurrence and pathogenicity of *Geosmithia* spp. and common blue-stain fungi associated with pine bark beetles in planted forests in Israel. *European Journal of Plant Pathology* 143 (4): 627-639. - doi: [10.1007/s10658-015-0713-9](https://doi.org/10.1007/s10658-015-0713-9)  
Garonna AP, Scarpato S, Vicinanza F, Espinosa B (2015). First report of *Toumeyella parvicornis* (Cockerell) in Europe (Hemiptera, Coccidae). *Zootaxa* 3949: 142-146. - doi: [10.11646/zootaxa.3949.1.9](https://doi.org/10.11646/zootaxa.3949.1.9)  
IPCC (2023). Sixth assessment report cycle. Intergovernmental Panel on Climate Change, Web site. [online] URL: <http://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>  
Malumphy C, Hamilton MA, Sanchez MD, Green Trapping PWC (2016). Trapping confirms aerial recruitment of pine tortoise scale (*Toumeyella parvicornis* Cockerell) (Hemiptera: Coccidae) in the Turks and Caicos Islands. *Entomologist's Monthly Magazine* 152: 193-200.  
Migliozzi A, Stinca A (2012). La Piana Campana: trasformazioni del paesaggio. In: "Dal Degrado alla Bellezza" (Simeone MM ed), Edizioni Scientifiche Italiane, pp. 89-100. [ISBN 978-88-495-2515-1]  
Muñoz-Adalia EJ, Sanz-Ros AV, Flores-Pacheco JA, Hantula J, Diez JJ, Vainio EJ, Fernández M (2017). *Sydowia polyspora* dominates fungal communities carried by two *Tomicus* species in pine plantations threatened by *Fusarium circinatum*. *Forests* 8: 127.  
NOVA.news (2022). Roma: l'85 per cento dei pini è infestato dalla cocciniglia. Web site [online] URL: <http://www.agenzianova.com/en/news/roma-185-per-cento-dei-pini-e-infestato-dalla-cocciniglia/>  
Rani M, Kumar P, Pandey PC, Srivastava PK, Chaudhary BS, Tomar V, Mandal VP (2018). Multi-temporal NDVI and surface temperature analysis for urban heat Island inbuilt surrounding of sub-humid region: a case study of two geographical regions. *Remote Sensing Applic. Soc. Environ.* 10: 163-172.  
Regione Campania (2015). *Toumeyella parvicornis* (Cockerell). Cocciniglia tartaruga del pino. Web site. [online] URL: <http://www.agricoltura.regione.campania.it/difesa/toumeyella.html>  
Rispo V, Digilio AF, Calandrelli MM (2022). Tutelare il capitale naturale con il remote sensing. In: Atti del convegno "Urbanistica Informazioni" (INU ed). Napoli (Italy) 18 Dic 2022, pp. 400-402.  
Rispo M, Calandrelli R, Calandrelli MM (2015). L'uso delle tecnologie digitali per il monitoraggio forestale: la pineta del litorale domitio. In: Atti del "X Congresso Nazionale SISEF". Firenze 15-18 Set 2015, pp. 101.  
Sabbatini Peverieri G, Capretti P, Tiberi R (2006). Associations between *Tomicus destruens* and *Leptographium* spp. in *Pinus pinea* and *P. pinaster* stands in Tuscany, central Italy. *Forest Pathology* 36 (1): 14-20. - doi: [10.1111/j.1439-0329.2006.00427.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2006.00427.x)  
Saracino A, Allevato E, Cardillo G, Conti P, Saulino L, Garonna AP (2019). Il pino domestico nel paesaggio campano e la recente minaccia di una cocciniglia aliena. *Natura e Montagna*

66 (2): 41-50.

Somma S, Notaro L, Russo E, Jesu G, De Leva G, Griffo R, Garonna AP (2023). Distribution of *Toumeyella parvicornis* (Cockerell) nine year after its introduction in Campania Region, Italy. In: Atti del "XXVII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia 2023". Palermo 12-16 Giugno 2023.

Stier-Jarmer M, Throner V, Kirschneck M, Immich G, Frisch D, Schuh A (2021). The psychological and physical effects of forests on human health: a systematic review of systematic reviews and meta-analyses. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (4): 1770. - doi: [10.3390/ijerph18041770](https://doi.org/10.3390/ijerph18041770)

White MP, Alcock I, Grellier G, Wheeler BW, Hartig T, Warber SL, Bone A, Depledge MH, Fleming LE (2019). Spending at least 120

minutes a week in nature is associated with good health and wellbeing. *Scientific Reports* 9 (1): 938. - doi: [10.1038/s41598-019-44097-3](https://doi.org/10.1038/s41598-019-44097-3)

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.

### Materiale Supplementare

**Fig. S1** – Esempio di scheda di rilevamento di un'area di saggio per le verifiche a terra.

**Link:** [Calandrelli\\_4386@suppl001.pdf](#)