STUDIO SCIENTIFICO SUI PROCESSI EVOLUTIVI CHE SI VERIFICANO DOPO L'ABBANDONO DELLE PRATICHE AGRICOLE NELL'AREA DEL MONTE CONERO PER VERIFICARE LE POTENZIALITÀ DELL'HABITAT 6210 IN TALI CONDIZIONI

UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali – D3A
Autori: Simona Casavecchia, Giacomo Quattrini e Simone Pesaresi

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Studio scientifico sui processi evolutivi che si verificano dopo l'abbandono delle pratiche agricole nell'area del Monte Conero per verificare le potenzialità dell'habitat 6210 in tali condizioni

Autori: Simona Casavecchia, Giacomo Quattrini e Simone Pesaresi

1 Introduzione

Le praterie secondarie a dominanza di *Bromus erectus* rappresentano uno degli ecosistemi più ricchi di biodiversità diffusi nelle aree appenniniche e subappenniniche dell'Italia centrale. Ai sensi della Direttiva 92/43/CEE, vengono inquadrati nell'habitat 6210 "Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (Festuco-Brometalia)" che ottiene lo status di priorità qualora siano presenti popolazioni di orchidee (*stupenda fioritura di orchidee) di specie poco comuni, oppure rare o ancora di diverse specie.

Nelle aree costiere o subcostiere, tali praterie sono più rare sia per motivi ecologici sia soprattutto per usi antropici non compatibili con il loro sviluppo, quali lo sfruttamento agricolo o urbanistico/infrastrutturale. Nell'area del Parco del Conero, i brometi sono attualmente poco diffusi nonostante le condizioni ecologico-ambientali siano potenzialmente idonee per il loro sviluppo. Infatti, per il massiccio calcareo del Monte Conero e per i rilievi collinari di Monte Larciano e Monte Colombo è stata descritta l'associazione endemica *Convolvulo elegantissimi-Brometum erecti* Biondi 1986 (Biondi, 1986). L'associazione si riferisce a praterie xeriche a dominanza di emicriptofite tra le quali sono particolarmente abbondanti *Helichrysum italicum*, *Brachypodium rupestre*, *Bromus erectus*, *Convolvulus elegantissimus*. Le specie caratteristiche e differenziali di questa associazione sono, oltre a *Convolvulus elegantissimus*, *Linum tenuifolium*, *Linum strictum*, *Aster linosyris* e *Bartsia trixago*. Queste praterie sono inoltre caratterizzate dalla presenza di una consistente componente mediterranea. Poiché si tratta di cenosi secondarie, se non adeguatamente gestite, tendono a evolvere verso formazioni arbustive a dominanza di *Juniperus oxycedrus* o verso formazioni di gariga dovute a specie dell'ordine *Cisto-Ericetalia*.

In condizioni di substrati diversi, su suoli più profondi e più umidi, in seguito all'abbandono dei terreni agricoli possono formarsi brometi appartenenti a una tipologia vegetazionale diveresa dalla precedente e denominata *Centaureo bracteatae-Brometum erecti* Biondi, Ballelli, Allegrezza, Guitian & Taffetani 1986. Le specie dominanti sono in questo caso *Brachypodium rupestre* e *Bromus erectus* alle quali si aggiungono *Centaurea bracteata*, *Galium album*, *Centaurea scabiosa*, *Carex flacca* e, spesso, specie arbustive quali *Juniperus oxycedrus* e *Spartium junceum*. Nell'area del Monte Conero, l'unico nucleo di dimensioni rilevanti dell'associazione *Centaureo bracteatae-Brometum* è localizzato sul Monte Conero a Pian dei Raggetti.

Le due associazioni di brometo presenti nel territorio del Parco del Conero sono divenute attualmente rare ed estremamente frammentate a causa della gestione inadeguata che è stata adottata negli ultimi decenni, consistita per lo più dall'abbandono più completo ai processi dinamici naturali. Va infatti ricordato che si tratta di formazioni "secondarie" o "semi--naturali" create cioè dall'uomo attraverso il taglio del bosco e, seppure costituite da specie vegetali spontanee, necessitano di un continuo utilizzo da parte dell'uomo stesso con il pascolamento o lo sfalcio. L'abbandono di ogni tipo di gestione ne determina quindi, inesorabilmente, la scomparsa o meglio la trasformazione in altri tipi di cenosi.

La genesi dei brometi di entrambe le associazioni può essere quindi dovuta, come si è detto, al taglio del bosco e al successivo utilizzo per il pascolamento come è avvenuto nelle epoche passate. E' tuttavia possibile una seconda modalità con cui i brometi possono originarsi, rappresentata dalla evoluzione in prateria dei terreni abbandonati dalle colture agricole. Questa seconda potenziale modalità è possibile se, dopo l'abbandono, la formazione erbacea di emicriptofite post-coltura che piuttosto rapidamente sostituisce la cenosi pioniera annuale, costituita per lo più dalle commensali delle piante coltivate, viene costantemente e attivamente gestita tramite lo sfalcio per impedire l'ingresso, e la rapida invasione, di specie di orlo e da arbusti. Per ipotizzare la potenzialità di un territorio verso la genesi di praterie secondarie del tipo dei brometi

è inoltre indispensabile tenere conto di altri tipi di fattori oltre a quello antropico quali la natura del substrato, la geomorfologia, l'esposizione e le condizioni climatiche.

Lo studio che verrà di seguito presentato, è rivolto a dare una risposta ragionata, supportata da dati sperimentali, ai seguenti quesiti:

1) Le variazioni spettrali stagionali rilevabili dalle immagini satellitari sono sufficienti per distinguere e separare i brometi dalle praterie post-coltura? In caso affermativo, è possibile utilizzare questo modello matematico per applicarlo alle variazioni spettrali stagionali ottenute da immagini satellitari dei primi anni 2000 al fine di identificare la presenza o l'assenza di brometi nel campo del contadino di quell'epoca?

2) È possibile, utilizzando dati satellitari a lungo termine (dal 1984 al 2023), descrivere le dinamiche di successione vegetazionale dopo la cessazione delle attività agricole?

Area di studio

Il sito in cui si focalizza lo studio è l'area conosciuta con il toponimo "campo del Contadino" situata lungo il versante della propaggine settentrionale del Monte Conero, a nord di Portonovo.

La prateria oggetto dello studio era coltivata a frumento fino agli anni '70. Nel 1977, la proprietà è stata acquistata da un gruppo di imprenditori intenzionati a realizzare un nuovo campeggio in sostituzione del vecchio camping presente più in basso, a Portonovo, a sinistra del Lago Grande. Al momento dell'acquisto, il terreno era incolto già da qualche anno (circa 5-6 anni) e pertanto era invaso da rovi, canna del Reno e molte altre specie. I proprietari hanno provveduto a far eseguire lavori di trinciatura e due sfalci l'anno per gli anni successivi, fino al 2007, anno in cui sono stati realizzati tre terrazzamenti con riporto di terreno, per l'allestimento delle aree camping. Successivamente, dal 2007 fino ad oggi, sono stati eseguiti trinciature e sfalci ripetuti che hanno portato alla formazione di una prateria nitrofila con *Inula viscosa*, *Psoralea bituminosa*, *Scabiosa maritima*, *Arundo plinii*, *Hedysarum coronarium*, *Pallenis spinosa*, *Foeniculum vulgare*, *Avena sterilis*, *Plantago lanceolata*, *Bellardia trixago*, *Brachypodium rupestre* ecc. (è possibile esaminare i rilievi fitosociologici nello Studio di Incidenza realizzato dalla Dott.ssa Paola Galli e dal Dott. Luigi Paradisi).

Per stabilire le potenzialità vegetazionali dell'area e poter realizzare il modello previsionale che verrà di seguito illustrato, sono state analizzate le curve fenologiche della prateria attualmente esistente dell'area "ex campo del contadino" e delle aree prative limitrofe appartenenti alle seguenti categorie:

1. Brometi (praterie a dominanza di *Bromus erectus*) dell'associazione endemica *Convolvulo elegantissimi-Brometum erecti* presenti con piccole superfici sui substrati della Scaglia bianca e della Scaglia rossa distribuite prevalentemente nel settore occidentale del Monte Conero e nei rilievi di Monte Colombo e Monte Larciano, in situazioni stazionali simili a quelle dell'area dell'ex campo del contadino;
2. Brometi (praterie a dominanza di *Bromus erectus*) dell'associazione *Centaureo bracteatae-Brometum erecti,* presente unicamente nella località Pian dei Raggetti, situata nel versante occidentale del Monte Conero;
3. Praterie post-coltura a dominanza di *Dittrichia viscosa*, *Bituminaria bituminosa*, *Pallenis spinosa* ecc. riferibili all'associazione *Senecio erucifolii-Inuletum viscosae* distribuite in vari settori del Parco del Conero, prevalentemente in quello occidentale e in quello settentrionale.

Nelle stesse aree sono stati realizzati rilievi fitosociologici che descrivono la composizione floristica di tali praterie e i rapporti di abbondanza/dominanza tra le specie stesse (Tabella A1, Foto 1).Foto



Foto 1. A sinistra, immagine del 15/06/2023 di un brometo nella località di Monte Colombo (vedi rilievo 10 in Tabella A1). A destra, immagine del 16/06/2023 di una prateria post-coltura (vedi rilievo 7 in Tabella A1).

I rilievi eseguiti in praterie post-coltura sono i primi tre della tabella, contrassegnati con la sigla Ar vu. Sono cenosi miste a dominanza di *Bituminaria bituminosa*, *Dittrichia viscosa* e di specie annuali a distribuzione Mediterranea quali *Pallenis spinosa*, *Avena barbata* e *Bellardia trixago*. Nella compagine floristica rientrano numerose specie della classe *Artemisietea vulgaris,* classe che riunisce cenosi di origine sinantropica. L'abbondanza di specie annuali evidenzia il carattere pioniere di tali formazioni, vale a dire la loro origine recente in seguito all'abbandono delle coltivazioni produttive. Allo stesso tempo, l'abbondanza di specie annuali testimonia il carattere di mediterraneità di queste cenosi che, se adeguatamente gestite con sfalci annuali costanti, evolvono in brometi dell'associazione *Convolvulo elegantissimi-Brometum erecti.* Infatti, nell'ultimo dei tre rilievi, sono evidenti i primi segnali di evoluzione della cenosi verso il brometo.

I rilevi contrassegnati con la sigla Fe-Br si riferiscono invece a praterie dominate dal *Bromus erectus* riferibili all'associazione *Convolvulo elegantissimi-Brometum erecti* anche se, nella compagine floristica sono abbondanti le specie nitrofile della classe *Artemisietea vulgaris*. Ciò si può spiegare considerando che tali praterie sono state più volte rimaneggiate nel corso degli ultimi quarant'anni per combattere i processi di incespugliamento. Secondo la nostra ricostruzione storica attraverso le cartografie e le fotografie aeree, queste praterie derivano da terreni abbandonati più di 50 anni fa e nel tempo ripetutamente sfalciate e trinciate. Quando gli interventi di decespugliamento vengono eseguiti in aree fortemente cespugliate, il taglio

degli arbusti comporta l'esposizione del terreno quasi nudo in quanto la copertura erbacea al di sotto dell'arbusteto è molto rarefatta. Su questi terreni, le specie nitrofile hanno la possibilità di svilupparsi molto rapidamente e possono quindi competere con il *Bromus erectus* nei rapporti di abbondanza e dominanza. Con una gestione attenta e costante, tali praterie possono evolvere verso formazioni più mature tipicamente rappresentate dall'associazione *Convolvulo-Brometum*, ricco di specie perenni, anche suffruticose.

2 Materiali e metodi

Per affrontare queste questioni di ricerca, abbiamo impiegato algoritmi di apprendimento automatico, accuratamente addestrati. In particolare, questi modelli sono stati istruiti per identificare le varie comunità vegetali presenti nel territorio, basandosi sui cambiamenti visivi (fenologici) che tali comunità manifestano nel corso delle stagioni. Queste modifiche possono essere registrate numericamente e digitalmente attraverso immagini satellitari, successivamente rappresentate sotto forma di curve temporali che descrivono le variazioni. Queste variazioni sono denominate variazioni stagionali spettrali, in quanto sono registrate nelle diverse bande dello spettro luminoso (Pasquarella et al., 2016).

Questa metodologia sfrutta modelli di apprendimento automatico, combinati con le efficaci tecniche di Analisi dei Dati Funzionali (Ramsay, J.O.; Silverman, 2005), specializzate nell'analisi delle curve temporali spettrali. Questo approccio è stato sviluppato e applicato con successo per distinguere diverse tipologie di vegetazione in varie aree, tra cui il Monte Conero, e le zone dell'Appennino nella Riserva Statale Gola del Furlo e nella Gola di Frasassi (Pesaresi et al., 2022, 2020b, 2020a).

Le variazioni spettrali stagionali rilevabili dalle immagini satellitari sono sufficienti per distinguere e separare i brometi dalle praterie post-coltura? In caso affermativo, è possibile utilizzare questo modello matematico per applicarlo alle variazioni spettrali stagionali ottenute da immagini satellitari dei primi anni 2000 al fine di identificare la presenza o l'assenza di brometi nel campo del contadino di quell'epoca?

Per rispondere alla prima domanda analitica, abbiamo acquisito dati multispettrali da un sensore satellitare presente sia nel periodo attuale (2016-2022) che durante il periodo compreso tra il 2000 e il 2006 e applicato la metodologia sopra menzionata (Pesaresi et al.,). È fondamentale notare che, al fine di applicare il modello matematico attuale alle variazioni risalenti a quel periodo, è essenziale mantenere la coerenza nell'uso del sensore satellitare. Pertanto, abbiamo scelto di utilizzare i dati provenienti dalle immagini di Landsat 7 (Landsat Collection 2 Level-2 Science Products; disponibili su https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products), accessibili attraverso la piattaforma Google Earth Engine (https://code.earthengine.google.com/).

I dati satellitari sono stati raccolti da 96 punti situati nell'area del Monte Conero. Questi punti sono stati selezionati attraverso ispezioni dirette e l'ausilio di un drone, suddividendoli in 48 punti appartenenti alla categoria dei brometi e 48 a praterie post-coltura identificabili come 'non-brometi', rientranti nelle classi di vegetazione *Artemisietea* e *Stellarietea* (Figura 1).

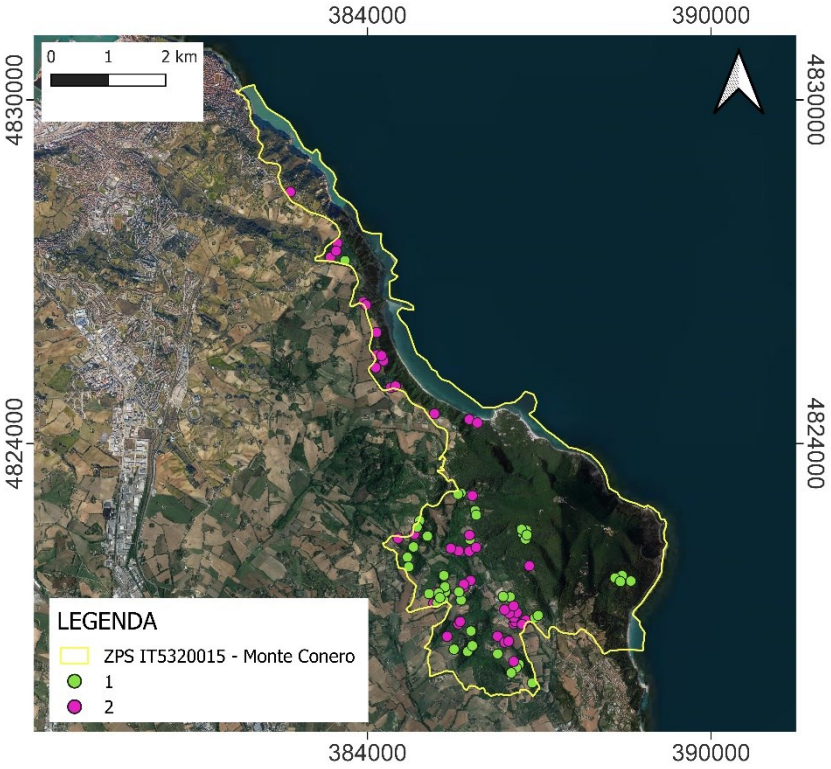


Figura 1. Distribuzione dei 96 punti verificati a terra nel 2023. 1 – Brometi delle associazioni *Centaureo bracteate-Brometum erecti* e *Convolvulo elegantissimi-Brometum erecti*; 2 – Praterie post coltura.

Questi punti rappresentano i dati di riferimento utilizzati per addestrare gli algoritmi precedentemente menzionati (Machine Learning combinati alla FDA), affinché possano apprendere a riconoscere le due categorie oggetto di studio, ossia 'Brometi' e 'praterie post-coltura', tramite una procedura di cross-validation per valutare l'accuratezza e la affidabilità di tale distinzione. L'efficacia del nostro modello nel riconoscere e classificare correttamente i tipi di vegetazione, basandosi sulle variazioni spettrali stagionali ottenute da immagini satellitari Landsat, viene valutata utilizzando tre metriche chiave: Overall Accuracy, Producer Accuracy e User Accuracy. Di seguito, forniamo una breve descrizione di queste metriche con degli esempi.

- Overall Accuracy (Accuratezza Globale): Questa metrica misura quanto il nostro modello di classificazione sia corretto complessivamente. Ad esempio, se abbiamo 100 punti di vegetazione da classificare e il modello ne identifica correttamente 90, avremo un'accuratezza globale del 90%.
- Producer Accuracy (Accuratezza del Produttore): Questa metrica riflette quanto bene il modello identifica una particolare categoria di vegetazione. Ad esempio, se ci sono 50 punti di brometi nella zona e il modello ne identifica correttamente 45, avremo un'accuratezza del produttore del 90% per la categoria "brometi".
- User Accuracy (Accuratezza dell'Utente): Questa metrica misura quanto bene un utente può fare affidamento sul modello quando cerca una categoria specifica di vegetazione. Ad esempio, se l'utente cerca i "brometi" e il modello identifica correttamente 45 punti su 50, avremo un'accuratezza dell'utente del 90% per la categoria "brometi".

Nel caso in cui otteniamo un modello accurato ed affidabile con un'accuratezza superiore all'80% (come indicato in Vanden Borre et al., 2011), lo stesso modello verrà utilizzato per classificare e predire le variazioni spettrali stagionali delle immagini Landsat 7 relative al periodo 2000-2006 per il campo del contadino e alcuni punti di brometo, che saranno utilizzati come punti di convalida (Figura 2).

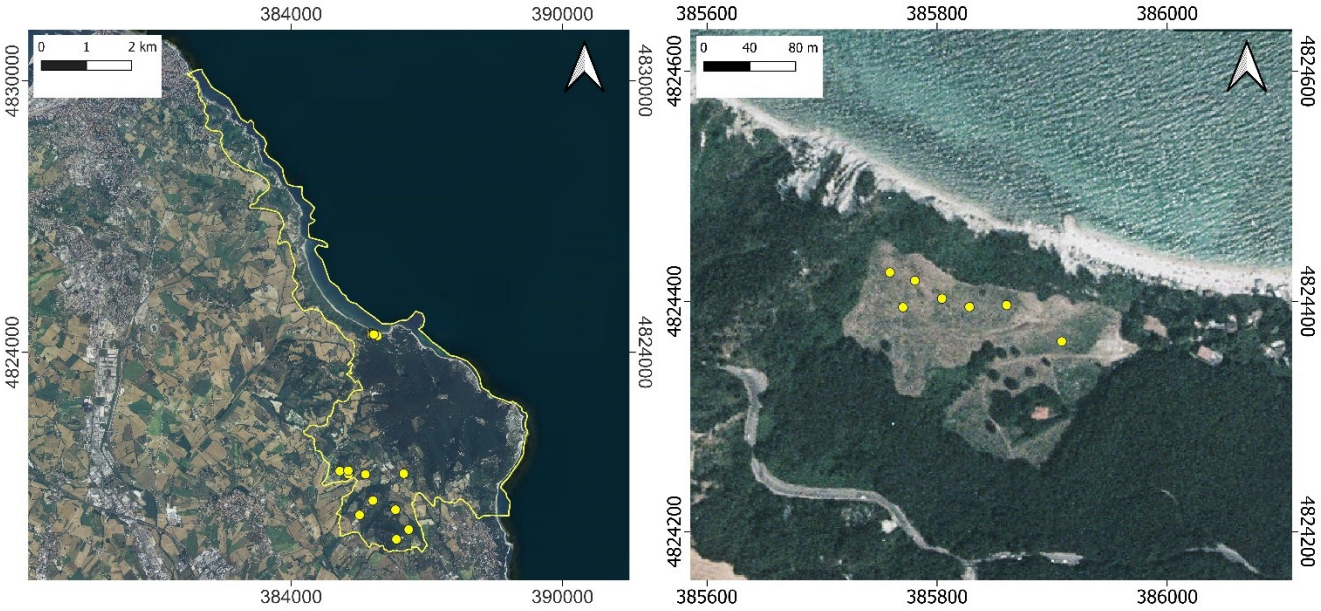


Figura 2. Distribuzione dei punti in cui sono state costruite le variazioni stagionali spettrali landsat 7 per il periodo 2000-2006.

È possibile, utilizzando dati satellitari a lungo termine (dal 1984 al 2023), descrivere le dinamiche di successione vegetazionale dopo la cessazione delle attività agricole?

Per rispondere a questa domanda, abbiamo creato serie temporali di 40 anni utilizzando l'indice di Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dal 1984 a oggi, facendo uso di tutti i sensori Landsat disponibili su Google Earth Engine. In aggiunta, abbiamo utilizzato ortofoto storiche e immagini satellitari a colori ad alta risoluzione provenienti dai portali cartografici regionali, nazionali e dai servizi di mappe online come Google Earth e Bing, datate dal 1978 a oggi. Questo ci ha permesso di esaminare e comprendere la storia e l'origine dei brometi (identificando se provengono da seminativi abbandonati), la loro evoluzione in caso di cessazione dell'uso (come lo sfalcio o il pascolo), nonché l'origine e lo sviluppo delle praterie post-coltura risultanti dall'abbandono dei seminativi.

Risultati

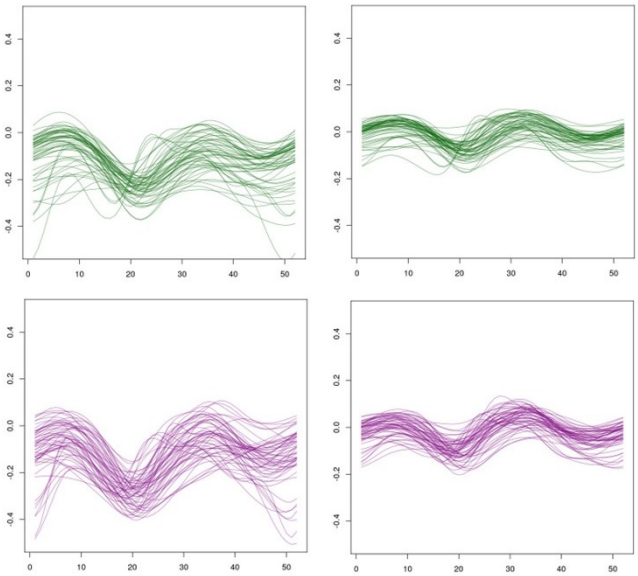


Figura 3. Variazioni stagionali Landsat 7 (formula normalizzata delle bande SWIR, NIR nella colonna di sinistra; RED e GREEN nella colonna di destra), relative ai 48 punti dei brometi (nella riga superiore) e ai 48 punti delle praterie post-coltura (nella riga inferiore).

In figura 3 sono illustrate le variazioni stagionali ottenute da immagini Landsat 7 utilizzando formule normalizzate applicate alle bande SWIR, NIR (nella colonna di sinistra), RED e GREEN (nella colonna di destra), relative ai 48 punti dei brometi (nella riga superiore) e ai 48 punti delle praterie post-coltura (nella riga inferiore). Mediante l'uso della Functional Data Analysis (FDA) combinata con il machine learning Linear Discriminant Analysis (LDA), abbiamo ottenuto una classificazione/discriminazione in termini spettrali, tral le due tipologie vegetazionali con un'accuratezza complessiva pari all'84.17%. Nella matrice degli errori riportata di seguito (Tabella 1), sono inclusi anche i valori di Producer Accuracy (PA) e User Accuracy (UA). In particolare, l'UA per le praterie post-coltura è del 87,0%, il che significa che in circa il 13% dei casi le praterie post-coltura possono contenere brometi. Analogamente, per i brometi, l'UA è dell'81,8%, indicando che in circa il 18,2% dei casi i brometi possono contenere praterie post-coltura.

Tabella 1. Matrice di errore con cross-validation (10-fold, ripetuta 5 volte) tra le praterie oggetto di indagine. Sono fornite in % le accuratezze del produttore (PA) e dell'utente (UA) e l'accuratezza globale (OA). BE – brometi; PC – praterie post coltura.

		Reference Data		
	Prateria	**BE**	**PC**	UA
Classificazione	**BE**	44.0	9.8	81.8
	PC	6.0	40.2	87.0
	PA	88.0	80.4	
		OA 84.17		

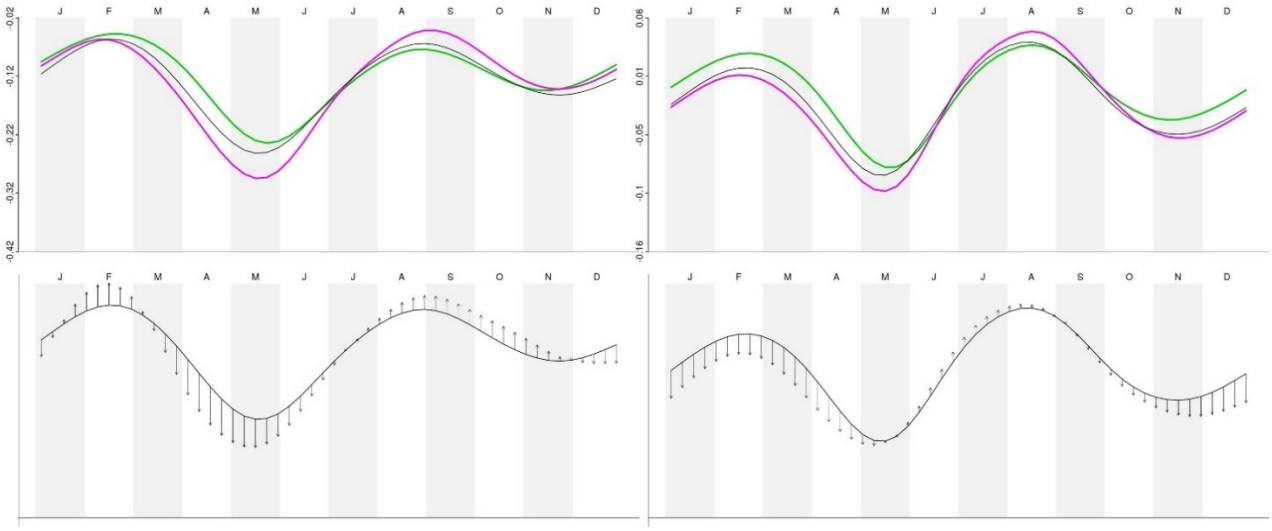


Figura 4. Variazioni stagionali spettrali medie dei brometi e delle praterie post-coltura ottenute dalle immagini satellitari Landsat 7, relative a due indici di vegetazione (SWIR e NIR a sinistra) e (RED e GREEN a destra). La linea nera rappresenta la curva media complessiva, mentre le frecce, proporzionali alla loro lunghezza, indicano i momenti della stagione in cui la discriminazione tra le due praterie è più evidente.

Il modello utilizzato ci fornisce informazioni sui momenti della stagione in cui le due tipologie di vegetazione si distinguono maggiormente, evidenziati dalla lunghezza delle frecce che rappresentano l'intensità della

discriminazione. In figura 4, nella riga superiore, sono rappresentate le curve medie delle due tipologie: in verde troviamo le curve dei brometi, mentre in viola quelle delle praterie post-coltura, relative a due indici di vegetazione (SWIR e NIR a sinistra) e (RED e GREEN a destra). La linea nera rappresenta la curva media complessiva. Dall'analisi dei grafici emerge che, nelle bande SWIR e NIR, il periodo in cui si osserva la maggiore separazione tra le due tipologie di vegetazione va da aprile a metà maggio, come indicato dalle frecce che mostrano che le praterie post-coltura hanno valori inferiori rispetto alla media dei brometi in questo periodo. Nelle bande RED e GREEN, invece, le due tipologie differiscono maggiormente durante i mesi invernali, con le praterie post-coltura che presentano valori inferiori rispetto alla media, a differenza dei brometi. In sintesi, queste analisi suggeriscono che le praterie post-coltura manifestano un'attività vegetativa anticipata in primavera, soprattutto nel mese di aprile, rispetto ai brometi. Inoltre, questa differenziazione è evidente anche nei mesi di gennaio e dicembre.

Dato l'efficace rendimento del modello ottenuto, abbiamo applicato il modello per identificare le due tipologie di vegetazione in modo predittivo, basandoci sulle variazioni stagionali nel periodo 2000-2006. In figura 5, vengono presentate le variazioni stagionali dei 7 punti situati nel campo del contadino e dei 10 punti di brometo nel 2006. Questi ultimi sono stati utilizzati come ulteriore set di validazione per valutare la capacità predittiva del modello. La figura illustra le variazioni stagionali dei 17 punti menzionati, ottenute da immagini di Landsat 7 relative al periodo 2000-2006. Queste variazioni sono basate su formule normalizzate applicate alle bande SWIR, NIR (nella colonna di sinistra), RED e GREEN (nella colonna di destra). La riga superiore rappresenta i 10 punti dei brometi, mentre la riga inferiore mostra i 7 punti situati nel campo del contadino.

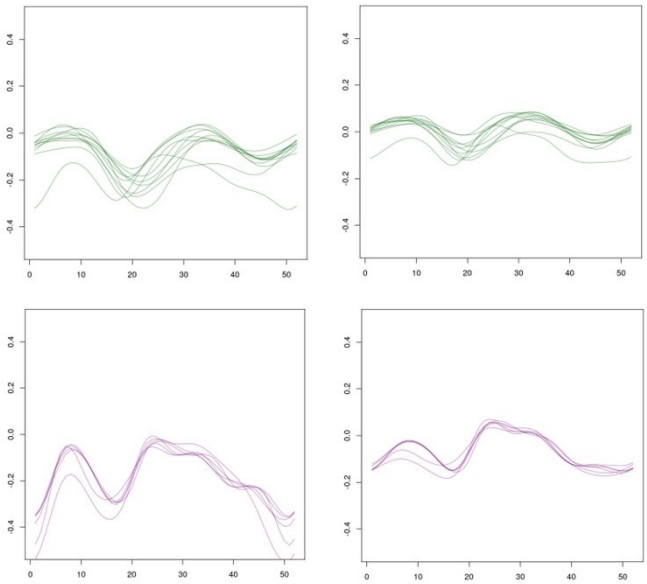


Figura 5. Variazioni spettrali stagionali Landsat 7 basate su formule normalizzate delle bande SWIR e NIR nella colonna di sinistra; RED e GREEN nella colonna di destra. La riga superiore rappresenta i 10 punti dei brometi, mentre la riga inferiore mostra i 7 punti situati nel campo del contadino.

L'applicazione del modello ha identificato correttamente 9 dei 10 punti del validation set, assegnandoli alla categoria dei brometi. Inoltre, i sette punti situati nel campo del contadino durante il periodo 2000-2006 sono stati tutti classificati come praterie post-coltura (Figura 6).

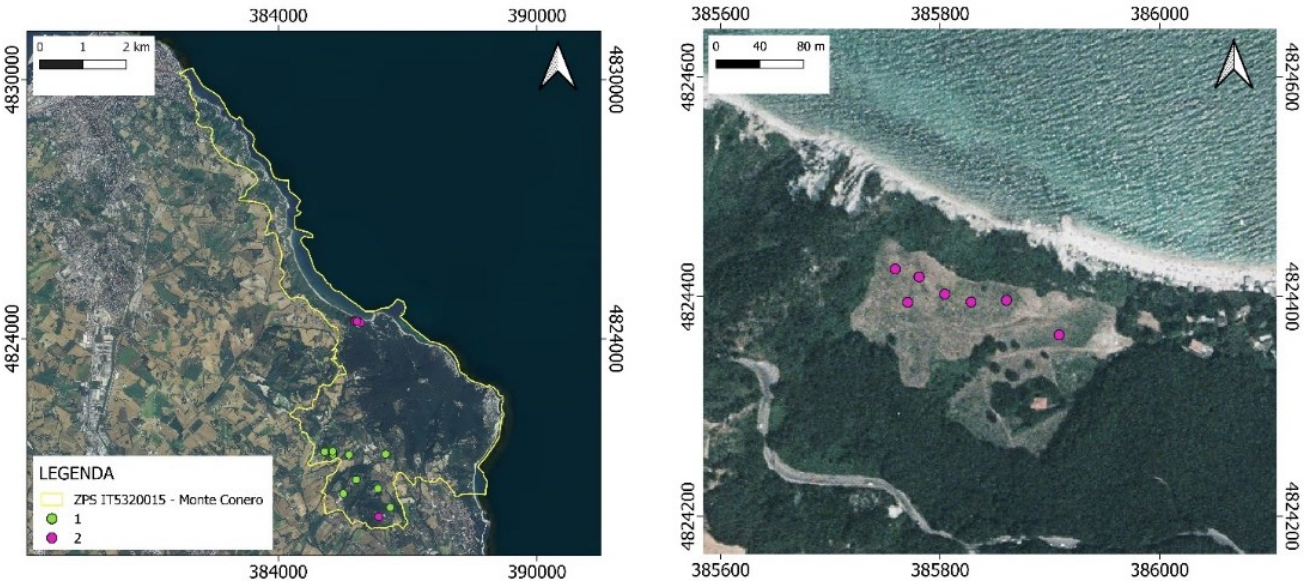


Figura 6. Classificazione delle variazioni stagionali landsat relative al periodo 2000-2006. 1 – luoghi attribuiti ai brometi; 2 – luoghi attribuiti a praterie post-coltura.

È possibile, utilizzando dati satellitari a lungo termine (dal 1984 al 2023), descrivere le dinamiche di successione vegetazionale dopo la cessazione delle attività agricole?

Le serie temporali a lungo termine del NDVI satellitare Landsat, relative al periodo dal 1984 al 2023, hanno consentito, in combinazione con ortofoto e immagini satellitari ad alta risoluzione, di comprendere le dinamiche di successione vegetazionale e di valutare i tempi di successione.

Brometi

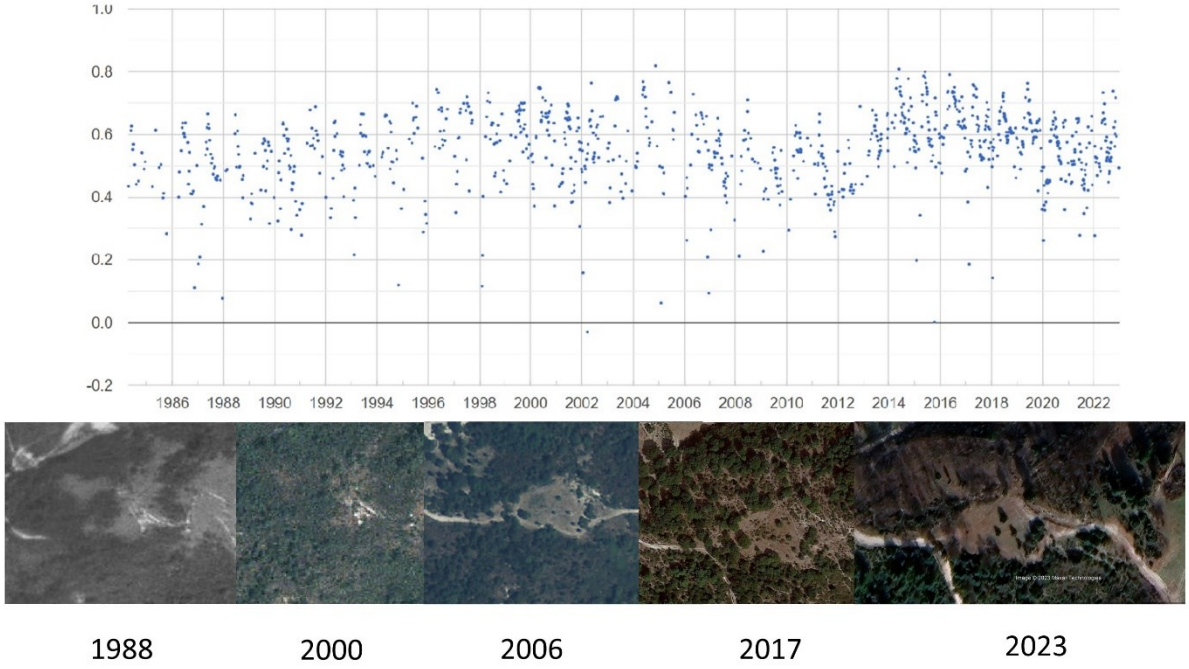


Figura 7. Analisi diacronica con traiettorie NDVI (1984-2023) e ortofoto di un brometo, soggetto a ripetute invasioni di arbusti e altrettante volte conservato tramite operazioni di decespugliamento.

Nella figura sono illustrate le variazioni annuali del NDVI causate dal ciclo di crescita e rimozione degli arbusti nei brometi. Nel 1988, erano presenti brometi che gradualmente sparirono in circa 10-12 anni a causa della

crescita degli arbusti, probabilmente ginestre. Questo si riflette in un aumento dei valori NDVI. Nel 2007, gli arbusti furono rimossi, determinando un calo evidente dei valori NDVI fino al 2013. Tuttavia, negli anni successivi, gli arbusti tendono a ricrescere nella prateria, richiedendo ulteriori operazioni di taglio come evidenziato nella foto del 2023.

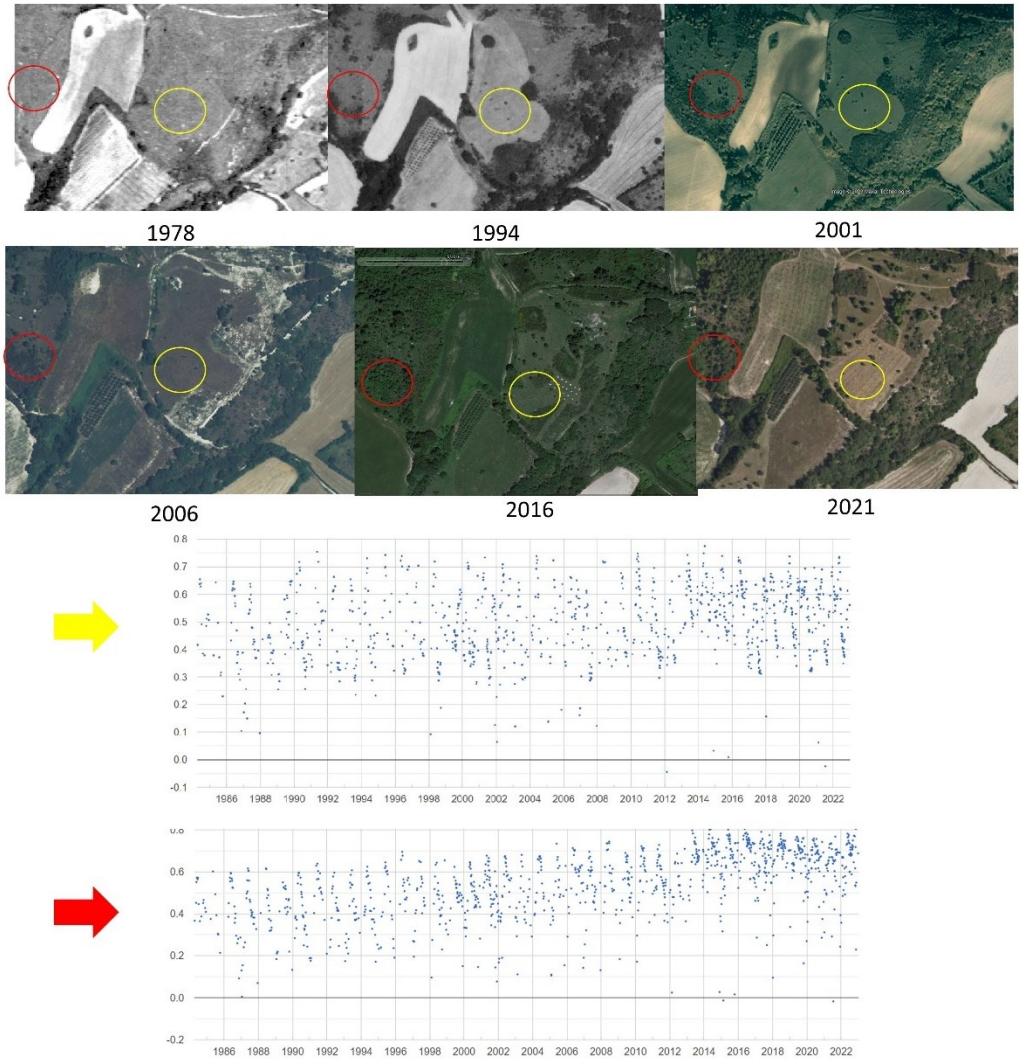


Figura 8. Analisi diacronica con traiettorie temporali del NDVI Landsat e ortofoto ad alta risoluzione di due brometi. In rosso, il brometo sostituito da copertura arboreo-arbustiva. In giallo, il brometo che è stato conservato nel tempo grazie all'incessante operazione di sfalcio.

Nella figura qui sopra (figura 8), sono presentate le analisi nel corso del tempo di due tipi di brometi. Il primo tipo è rimasto intatto per 40 anni grazie alle operazioni di sfalcio (indicato con un cerchio giallo nelle immagini), mentre il secondo tipo è stato sostituito da arbusti di ginestra e alberi di pino d'Aleppo (indicato con un cerchio rosso nelle immagini). Nel primo caso, le operazioni di taglio hanno impedito la crescita degli arbusti e degli alberi che, invece, hanno preso il posto dei brometi nelle aree circostanti. La curva NDVI (relativa all'area del cerchio giallo, indicata dalla freccia gialla) mostra un andamento relativamente stabile, grazie all'effetto conservativo delle operazioni di sfalcio. Nel secondo caso, la traiettoria NDVI relativa all'area abbandonata mostra un aumento progressivo dei valori NDVI.

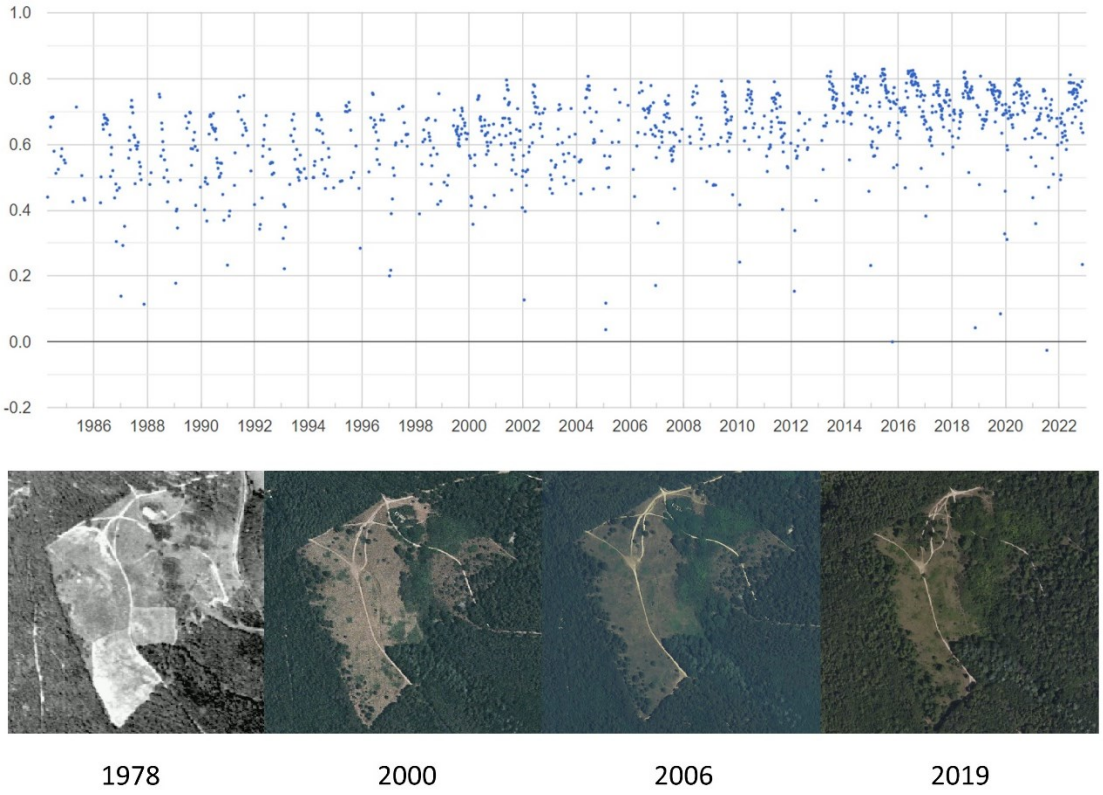


Figura 9. Analisi diacronica del brometo a Pian dei Raggetti. La traiettoria NDVI (1984-2023) e le immagini ad alta risoluzione mostrano la continua contrazione della prateria a vantaggio degli arbusti e degli alberi, spesso pino d'Aleppo.

Nella figura sopra, è evidente il lento ma costante avanzamento degli arbusti e degli alberi che colonizzano e rimpiazzano i brometi nella prateria, simbolo del Monte Conero chiamata 'Pian dei Raggetti'. Questo cambiamento è evidenziato dal trend positivo e lineare dei valori del NDVI.

Praterie Post-Coltura



Figura 10. Analisi diacronica di un'area coltivata ora in stato di abbandono. La traiettoria del NDVI e le immagini ad alta risoluzione indicano che l'abbandono è avvenuto nel 2012. Undici anni dopo l'abbandono, è presente una prateria post-coltura.

In figura 10, è chiaramente visibile l'abbandono di un campo coltivato nel 2012. A distanza di undici anni dall'abbandono, si è sviluppata una prateria tipica delle aree post-coltura. La traiettoria NDVI indica chiaramente l'abbandono del seminativo nel 2012.

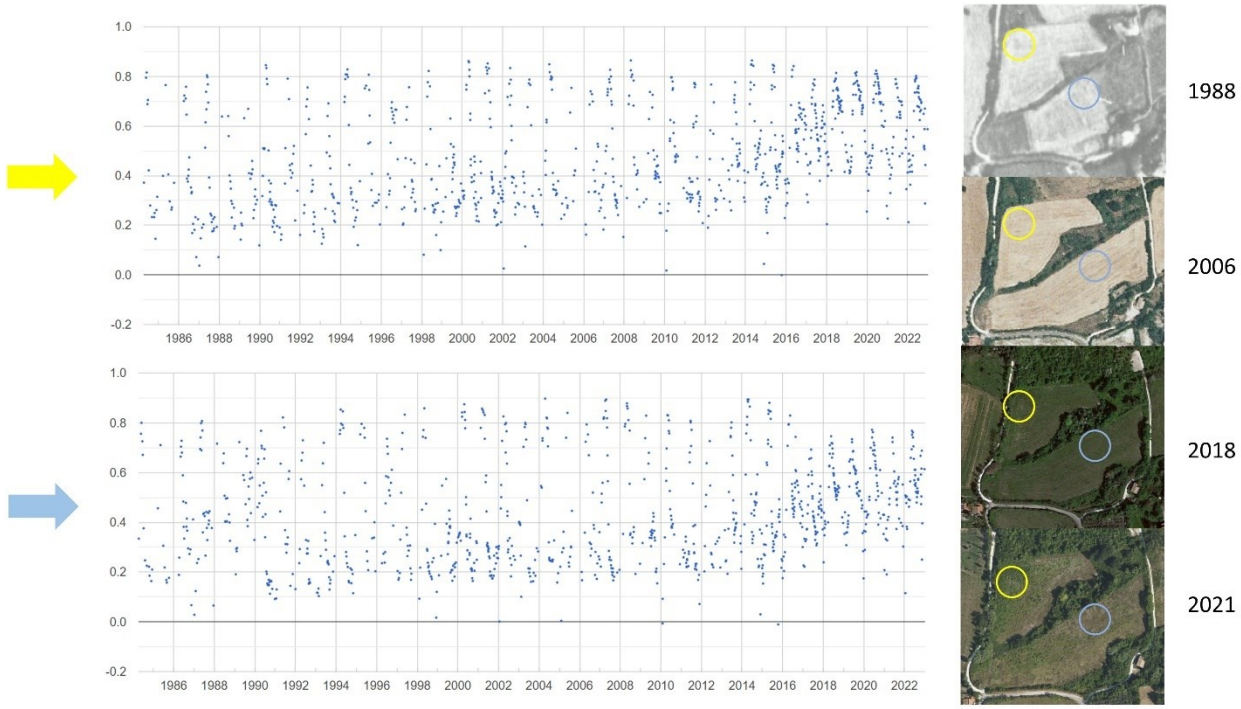


Figura 11. Analisi diacronica con traiettorie temporali NDVI e immagini ad alta risoluzione di due aree coltivate ora in stato di abbandono. L'abbandono è avvenuto nel 2015. Otto anni dopo, nell'area in blu, è presente una tipica prateria post-coltura, mentre nell'area in giallo, in soli otto anni, la coltura agraria è stata sostituita da arbusti.

Nella figura qui sopra, sono rappresentate le traiettorie del NDVI che mostrano un evidente cambio di tendenza nel 2016. Sette anni dopo l'abbandono delle attività agricole, questo periodo è stato sufficiente per sviluppare un arbusteto nell'area indicata con il cerchio giallo e una prateria post-coltura nell'area indicata con il cerchio azzurro.

Conclusioni

L'analisi delle variazioni spettrali stagionali rilevate dalle immagini satellitari Landsat, condotta attraverso l'uso della Functional Data Analysis (FDA) e la classificazione tramite il machine learning Linear Discriminant Analysis (LDA), ci consente di distinguere e riconoscere con precisione i brometi dalle praterie post-coltura. Questo modello, costruito su un campione di 48 punti di brometo e 48 punti di prateria post-coltura, che sono stati verificati direttamente sul campo, quando applicato alle variazioni spettrali stagionali relative al periodo 2000-2006, indica la presenza di prateria post-coltura non attribuibili a brometi nel campo del contadino prima dei lavori effettuati nell'ottobre del 2006.

È altresì rilevante evidenziare che se l'area del campo del contadino fosse stata lasciata all'evoluzione naturale, essa sarebbe stata rapidamente invasa da arbusti (e forse, nel caso specifico, dalla canna *Arundo pliniana*) che, come abbiamo visto dalle traiettorie temporali sopra mostrate, sono in grado di colonizzare le praterie in un lasso di tempo compreso tra 5 e 10 anni. Successivamente, si sarebbero sviluppate formazioni arboree in un periodo di 20-30 anni, rendendo impossibile la persistenza di qualsiasi formazione erbacea, inclusi i brometi.

Bibliografia

Biondi, E., 1986. La vegetazione del Monte Conero (con carta della vegetazione alla scala 1:10000). Tecnostampa, Ostra vetere, Italy.

Pasquarella, V.J., Holden, C.E., Kaufman, L., Woodcock, C.E., 2016. From imagery to ecology: leveraging time series of all available Landsat observations to map and monitor ecosystem state and dynamics. Remote Sens. Ecol. Conserv. 2, 152–170. https://doi.org/10.1002/rse2.24

Pesaresi, S., Mancini, A., Casavecchia, S., 2020a. Recognition and Characterization of Forest Plant Communities through Remote-Sensing NDVI Time Series. Diversity 12, 313. https://doi.org/10.3390/d12080313

Pesaresi, S., Mancini, A., Quattrini, G., Casavecchia, S., 2022. Functional Analysis for Habitat Mapping in a Special Area of Conservation Using Sentinel-2 Time-Series Data. Remote Sens. 14, 1179. https://doi.org/10.3390/rs14051179

Pesaresi, S., Mancini, A., Quattrini, G., Casavecchia, S., 2020b. Mapping mediterranean forest plant associations and habitats with functional principal component analysis using Landsat 8 NDVI time series. Remote Sens. 12, 1132. https://doi.org/10.3390/rs12071132

Ramsay, J.O.; Silverman, B.W., 2005. Funtional Data Analysis.

Vanden Borre, J., Paelinckx, D., Mücher, C.A., Kooistra, L., Haest, B., De Blust, G., Schmidt, A.M., 2011. Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward. J. Nat. Conserv. 19, 116–125. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2010.07.003

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Tabella A1. Ar vu - *Artemisietea vulgaris*: Fe Br - *Festuco-Brometea*

	Ril. N.	2 Ar vu	3 Ar vu	10 Ar vu	1 Fe-Br	4 Fe-Br	5 Fe-Br	6 Fe-Br	7 Fe-Br	8 Fe-Br	9 Fe-Br	
	Superficie	200	150	150	300	200	300	150	150	200	200	
	Ricoprimento	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
T scap	Pallenis spinosa (L.) Cass. subsp. spinosa	4.4	4.4	3.3	.	1.2	2.2	.	.	+	1.1	7
T scap	Bellardia trixago (L.) All.	2.3	3.3	2.3	+	+	+.2	.	.	.	.	6
T scap	Avena barbata Pott ex Link	3.3	4.5	2.2	+	1.1	+	+	.	2.3	.	8
H caesp	Bromus erectus Hudson	.	.	+.2	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	8
H caesp	Brachypodium rupestre (Host) Roemer & Schultes	+.2	.	.	2.3	2.3	3.4	2.3	2.3	2.3	.	7
	Specie della classe Artemisietea											
H scap	Bituminaria bituminosa (L.) Stirton	4.5	3.4	4.4	3.3	4.4	3.4	4.4	.	3.3	4.4	9
H scap	Dittrichia viscosa (L.) W. Greuter subsp. viscosa	2.2	2.2	3.3	2.2	2.2	1.1	+	.	2.2	1.1	9
H scap	Hypericum perforatum L. s.l.-	+	1.2	1.1	+	1.1	1.1	+	+	.	1.2	9
H bienne	Sixalix atropurpurea (L.) Greuter & Burdet subsp. maritima (L.) Greuter & Burdet	.	1.1	2.2	1.1	1.1	1.1	1.1	.	+.2	+	8
H scap	Origanum vulgare L. subsp. vulgare	.	.	2.3	1.1	.	2.2	3.3	2.2	3.3	2.3	7
H scap	Hedysarum coronarium L.	3.4	.	.	3.3	1.2	.	1.1	.	+	1.2	6
H bienne	Anthemis tinctoria L. subsp. australis R. Fernandes	.	2.3	1.2	.	.	+.2	1.1	2.2	.	.	5
H scap	Carlina corymbosa L.	.	.	.	2.2	.	+.2	.	+	1.1	2.2	5
T scap	Echium plantagineum L.	.	.	.	+	+.2	.	+.2	+.2	.	2.2	5
Ch suffr	Dorycnium hirsutum (L.) Ser.	.	+.2	.	.	1.1	1.2	1.1	.	.	.	4
H ros	Plantago lanceolata L.	.	3.3	1.1	+.2	.	1.2	.	.	.	.	4
H scap	Pulicaria odora (L.) Reichenb.	.	.	.	+	.	2.2	+	.	.	3.3	4
H scap	Satureja calamintha (L.) Scheele	1.2	1.2	.	.	.	+	+	.	.	.	4
H scap	Silene vulgaris (Moench) Garcke subsp. vulgaris	.	.	.	.	+.2	.	+	+	+	.	4
G bulb	Allium roseum L.	.	.	.	+	.	.	+	+	.	.	3
H scap	Foeniculum vulgare Miller subsp. piperitum (Ucria) Coutinho	.	.	.	+	.	.	+	+	.	.	3
H scap	Linaria vulgaris Miller	.	.	+	.	.	.	+.2	+	.	.	3
H scap	Agrimonia eupatoria L. subsp. eupatoria	.	.	.	.	.	.	.	+	1.2	.	2
H bienne	Centaurium erythraea Rafn	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+.2	2
H bienne	Daucus carota L. s.l.	1.1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	2
H scap	Eryngium campestre L.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	2
H Scand	Lathyrus sylvestris L. subsp. sylvestris	.	.	.	+.2	.	.	+	.	.	.	2
	Odontites sp.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	2
H scap	Picris hieracioides L. subsp. hieracioides	.	.	+.2	.	.	.	.	+	.	.	2
H scap	Urospermum dalechampii (L.) Scop. ex F.W. Schmidt	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	2
G bulb	Allium ampeloprasum L. subsp ampeloprasum	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
H bienne	Carduus pycnocephalus L. subsp. pycnocephalus	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1
G rhiz	Convolvulus arvensis L. subsp. arvensis	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
Ch suffr	Genista tinctoria L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	1
H bienne	Inula conyza DC.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1
G bulb	Orchis purpurea Hudson	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
H scap	Prunella laciniata (L.) L.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	1
H scap	Prunella vulgaris L. subsp. vulgaris	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	1
H scap/T scap	Reseda luteola L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+.2	1
	Specie Festuco Brometea											
H caesp	Dactylis glomerata L. subsp. glomerata	2.3	1.1	3.3	2.2	2.2	1.1	2.3	2.2	2.2 +-	2.2	10
H scap	Lotus corniculatus L.	.	1.1	1.1	1.2	1.1	.	.	+	2	.	6
G rhiz	Carex flacca Schreber subsp. flacca	.	.	.	+	.	.	+	+	1.1	.	4
H scap	Centaurea jacea L. subsp. gaudinii (Boiss. & Reut.) Gremli	.	.	.	+	+	.	+	.	.	+	4
Ch suffr	Helichrysum italicum (Roth) G. Don fil. subsp. italicum	.	.	.	+.2	.	.	+.2	.	+.2	+.2	4
Ch suffr	Ononis spinosa L. s.l.	.	.	.	+.2	.	.	+	.	2.2	.	3
H scap	Polygala nicaeensis Risso ex Koch subsp. mediterranea Chodat	.	.	.	+.2	.	.	+.2	.	.	+.2	3
Ch suffr	Teucrium chamaedrys L. subsp. chamaedrys	.	.	.	+.2	.	.	+.2	+.2	.	.	3
H Scand	Convolvulus elegantissimus Miller	.	.	.	.	.	.	.	.	1.2	+.2	2

H scap	Dorycnium herbaceum Vill. subsp. herbaceum	.	.	.	.	.	.	.	.	2.3	1.2	2
H scap	Hieracium piloselloides Vill. s.l.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	2
G bulb	Orchis coriophora L. subsp. fragrans (Pollini) Sudre	.	.	.	1.1	.	.	.	.	.	+.2	2
H scap	Sanguisorba minor Scop. s.l.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	2
H bienne	Linum bienne Miller	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
	Specie annuali delle classi Stellarietea e											
T scap	Blackstonia perfoliata (L.) Hudson subsp. perfoliata	.	+	1.1	+	.	+	1.1	1.1	+	+	8
T scap	Linum tryginum L.	+	+	1.1	+	.	+	.	1.1	1.1	1.1	8
T scap	Vicia sativa L. s.l.	+.2	.	+.2	+	.	.	.	+	+	.	5
T scap	Hypochoeris achyrophorus L.	.	1.2	.	+.2	.	+	.	.	+	.	4
T scap	Securigera securidaca (L.) Degen & Doerfler	3.3	1.1	+.2	1.1	.	.	.	.	.	.	4
T scap	Trifolium campestre Schreber subsp. campestre	.	+.2	+.2	.	.	.	+.2	1.2	.	.	4
T scap	Melilotus sulcatus Desf.	+	1.2	+	.	.	.	.	.	.	.	3
T scap	Scorpiurus muricatus L.	+	.	.	.	.	.	+	+.2	.	.	3
T scap	Trifolium angustifolium L.	.	.	.	.	.	.	1.1	2.3	+	.	3
T scap	Ononis reclinata L.	.	.	.	.	.	.	+.2	+.2	.	.	2
T scap	Trifolium nigrescens Viv. subsp. nigrescens	.	.	.	+.2	.	.	+.2	.	.	.	2
T scap	Urospermum picroides (L.) Scop. ex F.W. Schmidt	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	1.1	2
T scap	Ajuga chamaepitys (L.) Schreber subsp. chamaepitys	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	1
T scap	Coronilla scorpioides (L.) Koch	.	.	1.2	.	.	.	.	.	.	.	1
T scap	Filago pyramidata L.	.	.	.	.	.	.	+.2	.	.	.	1
T scap	Hippocrepis biflora Sprengel	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
T scap	Linum corymbulosum Reichenb.	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	1
T scap	Lotus ornithopodioides L.	+.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
T scap	Ononis viscosa L. subsp. breviflora (DC.) Nyman	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	1
T scap	Picris echioides L.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
T scap	Rapistrum rugosum (L.) All. s.l.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
T scap/H scap	Reseda alba L.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1
	Specie della classe Rhamno-Prunetea											
P caesp	Spartium junceum L.	.	.	.	+.2	+	.	3.3	1.1	1.1	1.1	6
P lian (H scap)	Clematis flammula L.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	+	3
P scap	Ailanthus altissima (Miller) Swingle pl.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	2
P lian	Clematis vitalba L.	.	.	.	.	.	1.2	2.3	.	.	.	2
P scap	Fraxinus ornus L. subsp. ornus	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	2
P lian	Lonicera etrusca G. Santi	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1
P caesp/P scap	Quercus pubescens Willd. subsp. pubescens	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	1
NP	Rubus canescens DC.	.	.	.	.	.	.	1.1	.	.	.	1
NP	Rubus ulmifolius Schott	.	.	.	.	.	.	1.2	.	.	.	1
	Specie compagne di altre classi											
H caesp	Ampelodesmos mauritanica (Poiret) T. Durand & Schinz	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	2
Ch suffr	Micromeria graeca (L.) Bentham ex Reichenb.	.	.	.	+.2	.	.	.	.	.	.	1

Ril. 1: 31,05,2023. Brometo (era chiamato brometo anche da Biondi nella carta del 1986) dell'associazione Convolvulo-Brometum. Stanno entrando gli arbusti e gli alberi (Paliurus spina-christi, Lonicera etrusca, Clematis vitalba, Robinia pseudoacacia Ailanthus altissima Cratagus monogyna).

Ril. 2: 09.06.2023. Vicino al brometo della gradina del Poggio. Prateria mista dell'Artemisietea.

Ril. 3: 09.06.2023. Anello della Pecorara, strada che porta all'azienda oleicola Mazzantini. Prtateria a sinistra della strada, salendo.

Ril. 4: 09.06.2023. Brometo. Prateria sfalciata a contatto con arbusteto misto di ginestra, rovo, alaterno .

Ril. 5: 09.06.2023. Brometocon tante specie di Origanetalia con orchidea (1 esemplare secco). Al margine mantello di Cornus sanguinea e Lonicera etrusca. Il mantello è del bosco di roverella. L'orlo è a Dorycnium hirsutum

Ril. 6: 15-09.2023: Cima di Monte Colombo. prateria molto arbustata (> del 50%), non viene più né sfalciata né pascolata. Il Convolvolus elegantissimus sta al margine del sentiero che attraversa la prateria.

Ril. 7: 15.09.2023: Monte Colombo. Prateria a sinistradella strada.

Ril. . 8: 15.06.2023. Cima vera di Monte Colombo (dove c'è il cartello). Prateria pianeggiante con pochi arbusti (< del 5%)

Ril. 9: 16.06.2023. Vicino all'azienda L'Asino che ride. Brometo ben gestito con piccole ginestre ma grandi pini. Situazione quasi pianeggiante.

Ril. 10: 16.06.2023. Nella zona dell'oliveto di recente impianto. Prateria gestita (sfalciata) che sta andando verso il brometo ma ancora non lo è. E' un ex coltivo non nitrificato, a contatto con un ex brometo (quasi completamente arbustato) per cui al margine della prateria rilevata sta entrando il Bromus.