

## **Nuove frontiere nella gestione delle praterie seminaturali: il telerilevamento per la stima della fitomassa e la caratterizzazione vegetazionale.**

S. Macolino, C. Pornaro, E. Basso, F. Marinello, D. Pinna

I sistemi zootecnici basati su prati e pascoli continuano a rivestire un ruolo fondamentale in molte regioni del mondo, tra cui i Paesi dell'area mediterranea europea, dove tali sistemi contribuiscono in maniera significativa alla gestione e alla conservazione di aree agricole ad elevato valore ambientale (Corner et al., 2019).

Negli ultimi decenni, le tecnologie di telerilevamento applicate all'agricoltura hanno registrato una crescita continua, e la stessa tendenza è osservabile anche nel campo della gestione dei prati e dei pascoli. L'analisi bibliografica, effettuata attraverso il database Scopus, evidenzia, nel periodo 2020-2022, oltre 500 pubblicazioni, tra articoli scientifici e atti di convegno, che riportano nel titolo i termini *grassland* e/o *pasture* e che sono incentrate sulle applicazioni del telerilevamento. Una parte di questi studi prevede l'utilizzo di droni, ma la maggioranza delle ricerche attuali sono rivolte allo sfruttamento dei dati satellitari, provenienti soprattutto dai satelliti Landsat, Sentinel e Worldview. L'obiettivo principale del telerilevamento è quello di monitorare costantemente la vegetazione, con particolare attenzione alla caratterizzazione e previsione della crescita e della produttività della biomassa, nonché alla rilevazione di vari parametri e indici che possano informare l'operatore sulle decisioni da prendere rispetto a irrigazione, nutrizione, sfalcio e gestione del pascolamento.

In effetti, l'accurata stima della biomassa epigea, e sue dinamiche di sviluppo, rappresenta un aspetto centrale della ricerca sui prati (Wang et al., 2022). Disporre di dati sulla biomassa facili da rilevare, su ampie superfici, continui nel tempo e affidabili è essenziale per migliorare l'efficienza di utilizzazione dei prati, aumentando la produttività e la durata delle coperture vegetali. La gestione a breve e lungo termine dei prati permanenti e dei pascoli determina la quantità di foraggio presente, la cui disponibilità varia notevolmente nello spazio e nel tempo (Kleinebecker et al., 2011; Neuenkamp et al., 2013). Al tempo stesso, le dinamiche evolutive della vegetazione e i livelli di biomassa sono influenzati dalle pratiche agronomiche, come l'epoca di sfalcio, la concimazione oppure il carico animale.

Tradizionalmente, la stima della biomassa avviene tramite rilievi in campo, che risultano tuttavia lunghi, onerosi e applicabili solo su superfici limitate (Wang et al., 2022). Le metodologie più moderne e avanzate si basano invece su dati acquisiti tramite sensori ottici e/o radar montati su piattaforme diverse, tra cui aeromobili, elicotteri, satelliti o derivanti da immagini satellitari (Li et al., 2017; Wang et al., 2022). Grazie a specifiche bande spettrali, sono stati sviluppati diversi indici di vegetazione, tra cui il più utilizzato è l'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), noto per la sua elevata correlazione con la biomassa (Karimi et al., 2018; Cunliffe et al., 2020).

Per valutare l'affidabilità delle tecniche di telerilevamento nella stima della biomassa, è comunque necessario integrare i dati satellitari con rilievi diretti in campo, che però richiedono molto tempo e spesso comportano la scelta casuale di aree di campionamento o l'installazione di numerosi appezzamenti di prova, per rappresentare correttamente l'intera superficie. In alternativa alla misurazione diretta della biomassa, si possono impiegare parametri indiretti come l'altezza dell'erba, l'NDVI misurato con sensori prossimali portatili o la densità della copertura vegetale, che tuttavia necessitano anch'essi di rilievi ripetuti. La possibilità di utilizzare il telerilevamento per la stima della fitomassa epigea e per la caratterizzazione della vegetazione nei prati stabili e nei pascoli presenta tuttavia difficoltà nell'interpretazione dei dati, in quanto queste colture sono caratterizzate da un'elevata variabilità spazio-temporale, dovuta a fattori quali le fluttuazioni stagionali, le diverse risposte ecologiche delle specie vegetali, le condizioni pedoclimatiche variabili e le pratiche di gestione agronomica.

Con l'obiettivo di esplorare le potenzialità del telerilevamento nella gestione delle praterie seminaturali, il gruppo di foraggicoltura del Dipartimento DAFNAE dell'Università di Padova, in collaborazione con il Dipartimento TESAF, nell'ambito del progetto Agritech del PNRR, ha avviato, a partire dalla primavera del 2023, uno studio mirato a valutare l'efficacia delle tecniche di telerilevamento per stimare la variabilità spaziale e temporale della vegetazione e della biomassa epigea in pascoli e prati permanenti, sia in pianura che in zone montane del Veneto.

Il principale prodotto derivante dall'analisi dei dati telerilevati sono le mappe tematiche, che rappresentano i modelli distributivi delle caratteristiche vegetazionali analizzate (*Fuller et al., 1994; Dongmei et al., 2011*). Queste mappe possono diventare uno strumento operativo utile per le decisioni gestionali da parte degli agricoltori (*Wachendorf et al., 2018*). I dati raccolti tramite rilievi a terra sono confrontati con le mappe satellitari per verificarne l'attendibilità. Numerosi studi hanno documentato la possibilità di stimare la biomassa dei prati mediante dati derivanti da telerilevamento, sia da satellite sia da droni (*Hanna et al., 1999; Ali et al., 2016; Chen et al., 2021*), ma la maggior parte di questi è stata condotta in contesti aridi o semi-aridi, mentre le praterie presenti nelle zone a clima temperato risultano ancora poco studiate. È quindi necessaria una valutazione specifica su scala locale, vista la tipicità della vegetazione di prati e pascoli.

La nostra ricerca si è concentrata su due tipologie di praterie (prati stabili e pascoli), selezionate in base alle differenze vegetazionali e nella modalità di gestione. Due prati stabili di pianura si trovano a Schio (VI, 45.6889 N, 11.3607 E), uno caratterizzato dalla presenza abbondante di *Lolium multiflorum* (concimato con liquame) e l'altro da *Shedonorus arundinaceum* (= *Festuca arundinacea*), *Lolium perenne* e altre specie (concimato con letame). I pascoli presi in esame comprendevano un pascolo di pianura, nel comune di Schio (VI), utilizzato da marzo a novembre da bovini da carne e gestito con pascolamento

turnato a rotazione, e un pascolo alpino, nel comune di Caltrano (VI) a 1240 m s.l.m., gestito durante i mesi estivi con pascolamento libero.

Nelle cenosi erbacee oggetto di studio sono stati condotti rilievi floristici secondo il metodo Braun-Blanquet (1932) e rilievi per la stima della fitomassa epigea in situ, tramite misurazioni manuali e strumentali dell'altezza dell'erba (Grasshopper) nonché rilevazioni dell'indice NDVI (RapidScan CS-45, Holland Scientific). Le misurazioni sono state effettuate in modo puntuale su aree di  $1 \times 1$  m georeferenziate e rappresentative dell'intero appezzamento. Nei prati stabili e nel pascolo di pianura, tali aree sono state selezionate in modo da formare una griglia con distanza di interpunto di 20 metri, per un totale di 78 punti nel pascolo e 75 nei prati. Nel pascolo di monte, invece, è stata adottata una distribuzione casuale, con 130 punti rilevati. I rilievi e le misurazioni sono state svolte per due successive stagioni vegetative nei periodi di maggior crescita dell'erba, ovvero in primavera e autunno 2023 e 2024, nei prati stabili e nel pascolo di pianura, e nell'estate 2023 e 2024 nel pascolo di monte. Nell'autunno 2024 sono stati inoltre raccolti dati stazionali relativi a pendenza, quota e caratteristiche del suolo (spessore utile e presenza di roccia affiorante). I dati raccolti in campo sono stati confrontati con quelli acquisiti tramite telerilevamento prossimale (droni) e satellitare (Sentinel-2), al fine di valutare l'accuratezza delle tecniche basate su indici multispettrali nella stima della fitomassa epigea e nella classificazione dei tipi vegetazionali. Contestualmente, sono state condotte analisi specifiche per verificare l'affidabilità delle stime di fitomassa derivate dall'NDVI (Indice di Vegetazione a Differenza Normalizzata) rilevato in situ e dalle misurazioni dell'altezza della vegetazione, con l'obiettivo di ottimizzare le procedure di raccolta dati.

Tra i vari indici vegetazionali esaminati, quello che presentava una migliore correlazione con la fitomassa aerea è stato l'NDVI. Tuttavia, il grado di affidabilità di questo indice è influenzato dalle caratteristiche della vegetazione, come il tipo di specie e lo stadio di maturazione. Inoltre, le condizioni stazionali, in particolare la presenza di roccia affiorante, hanno un impatto significativo sulla stima della fitomassa: infatti, nelle aree con roccia affiorante i valori di NDVI risultano inferiori, compromettendo la precisione della valutazione della produttività della copertura erbacea circostante. In generale, gli indici vegetazionali derivanti dal telerilevamento consentono di stimare la fitomassa aerea con un buon grado di precisione, in aree con alta densità vegetale e copertura continua. Dove invece la variabilità spaziale è ampia in termini di tipi vegetazionali, affioramento roccioso, pendenza e profondità del terreno, il calcolo di altri indici vegetazionali può supportare l'indice NDVI nella descrizione della variabilità spaziale della produttività di un pascolo. Huete (1988), ad esempio, ha proposto di utilizzare un fattore di aggiustamento per ridurre l'influenza del suolo sugli spettri della copertura vegetale (Soil Adjusted Vegetation Index) (Jiang et al., 2008; Qi et al., 1994; Somvanshi, S. S., & Kumari, M., 2020; Tong, X., Duan, L., Liu, T., & Singh, V. P. 2019). In ambito agricolo, grazie alla traspirazione, la vegetazione presenta una temperatura superficiale inferiore rispetto ad altre superfici come il terreno

nudo o le rocce. Pertanto, l'indice, oltre a fornire indicazioni sulla presenza o assenza di terreno nudo (o roccioso), fornisce anche indicazioni sulla copertura vegetale e sulla biomassa vegetale.

Un altro indice che tiene conto delle differenze di calore delle diverse superfici è il Normalized Difference Thermal Index (NDTI) che utilizza le bande dell'infrarosso termico (TIR). Questo indice è utilizzato principalmente in ambienti urbani per lo studio delle isole di calore (McInerney, M. e Lozar, R. 2008). Nel caso delle praterie, è utile per identificare aree con elevate differenze termiche, come rocce e vegetazione (Tong, X., Duan, L., Liu, T. e Singh, V. P. 2019). L'andamento nel tempo e la variabilità spaziale della produttività sono ben rappresentati dagli indici, e possono aiutare a gestire la biomassa definendo aree omogenee in termini di morfologia del terreno, vegetazione e produzione di fitomassa.

Inaspettatamente, l'NDVI misurato in situ non ha mostrato una correlazione soddisfacente con la fitomassa, che invece ha evidenziato una forte correlazione con l'altezza della vegetazione. Questo scarto può essere attribuito a fattori di disturbo, come lo stadio di maturazione delle piante e la presenza di fiori e infiorescenze, che influenzano la riflettanza della vegetazione e alterano i valori di NDVI. I dati satellitari provenienti da missioni come Sentinel-2 hanno dimostrato vantaggi notevoli rispetto ai sistemi di telerilevamento prossimale, come i droni, poiché consentono di acquisire informazioni dettagliate su aree vaste e difficilmente accessibili, migliorando la capacità di monitoraggio e caratterizzazione delle praterie e dei pascoli. Al fine di approfondire il ruolo dello stadio vegetativo nella risposta degli indici vegetazionali, l'impiego di camere iperspettrali, ad integrazione dei dati satellitari e da drone, potrebbe rappresentare un valido aiuto. Questo approccio mira a chiarire le criticità associate ai dati telerilevati, in particolare in colture caratterizzate da una marcata variabilità floristica, contribuendo così a migliorare l'accuratezza delle stime e ad approfondire la comprensione delle dinamiche vegetazionali. L'impiego della camera iperspettrale implica analisi in laboratorio su campioni di foraggio con diverse composizioni floristiche e stadi di maturazione.

Sebbene il telerilevamento offra indubbi vantaggi nell'acquisizione di informazioni continue e nella stima della vegetazione e della sua fitomassa, è altrettanto vero che, nelle cenosi vegetali caratterizzate da un elevato grado di diversificazione floristica, i dati ottenuti risultano ancora di difficile interpretazione senza un monitoraggio diretto sul campo. In questo contesto, l'uso delle immagini satellitari risulta comunque preferibile rispetto ai droni, sia per l'affidabilità delle stime, sia per la maggiore facilità di impiego, poiché consente una copertura territoriale più ampia e una gestione più efficiente delle risorse. Pertanto, in futuro, le immagini satellitari sono destinate a rivestire un ruolo sempre più centrale nella caratterizzazione della vegetazione e nel monitoraggio della produzione di fitomassa delle praterie seminaturali.