



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente

Tesi di laurea in Scienze forestali e ambientali

Relazione tra fenologia del pascolo e indici vegetazionali da immagini satellitari in malghe dell'Altopiano di Asiago

Relatore:
Prof. **Michele Scotton**

Laureando:
Andrea Canali
Matricola: 2062960

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Sommario

RIASSUNTO	4
ABSTRACT	6
1. INTRODUZIONE	8
1.1 Clima e paesaggio dell'Altopiano di Asiago	8
1.2 La fenologia delle specie erbacee	11
1.2.1 Definizione di fenologia	11
1.2.2 Effetti di stazione, meteorologia e clima sulla fitofenologia	12
1.2.3 Effetti ecologici ed evolutivi sulla fitofenologia	18
1.2.4 Fenologia e periodo vegetativo	19
1.2.5 Stadi fenologici delle specie erbacee	22
1.3 Fenologia e qualità del foraggio	25
1.4 Il telerilevamento e suo utilizzo per l'analisi della vegetazione	29
1.4.1 Luce e radiazione elettromagnetica	29
1.4.2 L'immagine digitale	30
1.4.3 Gli indici vegetazionali	31
1.4.4 L'indice NDMI	33
1.4.5 L'indice NDVI e l'indice EVI	36
1.5 Obiettivi dello studio	38
2. MATERIALI E METODI	40
2.1 Introduzione alle analisi	40
2.2 Analisi di campo	40
2.3 Analisi digitali: utilizzo del telerilevamento e di dati meteorologici per analisi fenologiche	45
2.3.1 Indici vegetazionali e crescita dell'erba	46
2.3.2 Tecniche per l'individuazione dell'inizio e della fine della stagione vegetativa	47
2.4 Analisi della relazione tra fenologia e giorno giuliano e tra fenologia e somma termica	51
2.5 Analisi della relazione tra somma termica, date e NDMI	51
3. RISULTATI E DISCUSSIONE	52
3.1 Relazione tra stadio fenologico e giorno giuliano	52
3.2 Correlazione tra fenologia e temperatura	57
3.3 Andamenti dell'indice NDMI	64
3.4 Correlazione tra fenologia e indice NDMI	67
3.5 Altezza dell'erba	71
3.6 Analisi dei metodi di stima dell'inizio, della fine e della lunghezza della stagione vegetativa	76
3.7 Calcolo del corretto periodo di monticazione	79
4. CONCLUSIONI	82
5. BIBLIOGRAFIA	88

RIASSUNTO

Individuare il corretto periodo di monticazione delle vacche in malga è un problema tecnico importante in quanto l'epoca di inizio alpeggio può influenzare il livello di utilizzazione, la qualità e l'appetibilità dell'erba ingerita dagli animali, nonché il loro benessere. Caricare una malga nel periodo corretto permette un utilizzo maggiore e più omogeneo del pascolo, ma anche un equilibrato apporto alimentare tra parti energetiche (fibra e carboidrati di riserva) e proteiche. Il corretto periodo può essere definito in base allo stadio fenologico della vegetazione, in particolare esso si colloca nell'epoca della primavera in cui le graminacee si trovano nello stadio di "levata", ovvero quando cominciano ad allungare i fusti sui cui porteranno gli apparati riproduttivi. L'andamento fenologico è però strettamente correlato con le condizioni stagionali e meteorologiche (temperatura, precipitazioni e quota) e lo stadio di levata può presentarsi in momenti diversi a seconda dell'influenza di questi fattori. Lo studio ha l'obiettivo di mettere in relazione la fenologia dei pascoli dell'Altopiano di Asiago, e in particolare lo stadio di levata delle graminacee principali, rilevate tramite analisi di campo, con i valori di somma termica, ricavati da elaborazioni di misure fatte da stazioni meteo, e con i valori dell'indice vegetazionale NDMI, ricavati dalle immagini satellitari "Sentinel - 2". I dati utilizzati per lo studio sono quindi suddivisi in due categorie: dati di campo, raccolti tramite analisi della fenologia e dell'altezza delle specie erbacee, e dati satellitari, raccolti tramite tecniche di telerilevamento da immagini satellitari. Nello studio sono stati analizzati in primo luogo gli andamenti temporali di somme termiche e NDMI. Tali andamenti sono stati poi messi in relazione con le fasi fenologiche secondo la scala BBCH. I risultati hanno mostrato un andamento temporale dell'NDMI con il picco collocato tra la levata e la fine della spigatura (fasi 3, 4 e 5 della scala BBCH), mentre per la somma termica si è registrato un andamento lineare di crescita nel tempo. Nella fase di levata, sono stati individuati valori di NDMI compresi tra 0,369 e 0,42 per quanto concerne i pascoli pingui, mentre per le aree magre i valori sono compresi tra 0,27 e 0,341. Relativamente ai valori di somma termica registrati nella fase di levata si è trovata una certa variabilità, tanto che si è ritenuto necessario ripetere le analisi in anni successivi, attività del resto già in corso nel 2024. Utilizzando le stesse immagini satellitari impiegate per il calcolo dell'indice vegetazionale, è stata analizzata l'efficacia di due metodi che prevedono l'utilizzo di dati telerilevati per il calcolo dell'inizio, della fine e della durata della stagione vegetativa. Questi metodi (metodo Orusa e MODIS Land Cover Dynamics) sono stati paragonati al "ETCCDI Climate index", metodo affidabile in grado di calcolare gli stessi parametri a partire dalla temperatura registrata in stazioni meteo tradizionali. Questa analisi ha mostrato che i metodi satellitari, in particolar modo il metodo

Orusa, tendono a essere precisi nel calcolo dell'inizio del periodo vegetativo, mentre mostrano delle problematiche nel calcolo della fine della stagione vegetativa. I metodi da telerilevamento tendono infatti ad anticipare di decine di giorni la data di conclusione della stagione vegetativa, essendo essi basati solo sull'utilizzo di indici vegetazionali che rispondono alla quantità di verde e di clorofilla presente nella pianta. Il metodo Orusa può essere però corretto empiricamente con osservazioni di campo che consentono di tararlo modificando il valore di un apposito coefficiente ϕ . I risultati dello studio, opportunamente verificati con le ripetizioni dei rilievi di campo già in corso nel 2024, possono essere utilizzati dai tecnici addetti alla programmazione della gestione delle malghe per dare indicazioni in tempo reale sul periodo ottimale di inizio pascolamento e sulla durata dello stesso.

ABSTRACT

Identifying the correct period for summer transhumance is an important technical problem that can affect the level of the use, the quality and palatability of the grass ingested by the animals, as well as their welfare. Beginning the grazing in the correct time allows a greater and homogeneous use of the pasture, but also a balanced dietary intake between energy parts (fibre and reserve carbohydrates) and proteins. The correct period can be defined using the phenological stages of the vegetation and it is placed in springer time when the grasses are in the stage of "stem elongation", that is when they begin to lengthen the stems on which they bring the reproductive apparatus. However, the phenological trend is closely correlated with the stationary and meteorological conditions (temperature, precipitation and altitude) and the stem elongation stage can occur at different times depending on the influence of these factors. The study has the goal to relate the phenology of the pastures of the Asiago Plateau (VI, Italy), and in particular the stem elongation phase of the main gramineous plants, detected with field analysis, with the thermal sum values, derived from calculations of measurements made by weather stations, and with the vegetation index NDMI, derived from satellite images "Sentinel - 2". The data used for the study are then divided into two categories: field data, collected through analysis of the phenology and height of grass species, and satellite data, collected through remote sensing techniques from satellite images. In the study the temporal trends of thermal sums and NDMI were first analysed. These trends were then related to the phenological phases using the BBCH scale. The results showed a temporal trend of the NDMI with a peak placed between the stem elongation phase and the end of the inflorescence emergence phase (phases 3,4 and 5 of the BBCH scale), while for the thermal sum there was a linear trend of growth over time. In the stem elongation phase the NDMI values are identified between 0.369 and 0.42 for the fertilize areas, while for the poor in nutrient areas the values are between 0.27 and 0.341. A certain volatility was found in the values of the thermal sum during the stem elongation phase and it was considered necessary to repeat the analysis in subsequent years, which were already underway in 2024. Using the same satellite images used for the calculation of the vegetational index, it was analysed the effectiveness of two methods that use remote-sensing data for the calculation of the beginning, the end and the duration of the growing season. These methods (Orusa method and MODIS Land Cover Dynamics) have been compared to the "ETCCDI Climate index", a reliable method able to calculate the same parameters using the temperature recorded in traditional weather stations. This analysis showed that satellite methods, especially the Orusa method, tend to be precise in calculating the beginning of the vegetative period, while they show

problems in calculating the end of the vegetative season. Remote sensing methods tend to anticipate by tens of days the date of the vegetative season's end, being them based only on the use of vegetational indices that respond to the amount of green and chlorophyll present in the plant. However, the Orusa method can be corrected empirically with field observations that allow to calibrate it by modifying the value of a specific coefficient ϕ . The results of the study, duly verified with the repetition of the field analysis (already in progress in 2024), can be used by the technicians involved in the management of the pastures to give live indications on the correct period for the beginning and the duration of the grazing period.

1. INTRODUZIONE

1.1 Clima e paesaggio dell'Altopiano di Asiago

L'Altopiano di Asiago si estende su una superficie di circa 467 km² ad un'altezza media pari a 1302 m s.l.m.. Esso occupa una posizione centrale nell'ambito della fascia delle Prealpi Venete ed è delimitato a nord da una linea di cresta le cui cime arrivano a superare i 2300 m, mentre verso sud è chiuso da una dorsale con quote comprese tra i 1000 e 1400 m (Barbi et al., 2013). Al centro si trova la fascia depressa (1000 m s.l.m.), allungata in senso est-ovest, che ospita i maggiori centri abitati, tra cui Asiago, Gallio e Foza. L'altopiano nel complesso appare isolato dagli altri elementi orografici alpini, in quanto separato da profonde incisioni vallive: a nord la Valsugana; ad est il Canal del Brenta; a ovest il tratto meridionale della Val d'Astico e la Val Torra; a sud una scarpata che lo collega alle colline pedemontane. L'80% del territorio è compreso tra i 900 e i 1800 m di quota, il 2,8% della superficie si colloca ad altitudini superiori o uguali a 2000 m, mentre il 19% della superficie si trova ad altitudine inferiore ai 1000 m (figura 1) (Barbi et al., 2013). Da un punto di vista geologico, l'Altopiano è costituito per la maggior parte da rocce carbonatiche mesozoiche (calcari e dolomie), su cui poggiano coperture discontinue di depositi morenici, fluvioglaciali, periglaciali e colluviali. Dato il suo carattere carsico, l'Altopiano di Asiago è caratterizzato dalla quasi totale mancanza di un'idrografia superficiale, a cui l'uomo ha fatto fronte cercando di ottimizzare le poche fonti disponibili incanalando l'acqua in serbatoi e pozze di abbeveraggio.

Il clima dell'area indagata ricade nella fascia temperata fresca sino a 1700 m e nella temperata fredda tra i 1700 e i 1900 m. Al di sopra di tale quota si colloca la fascia fredda. Dal punto di vista fitoclimatico ci troviamo invece nella fascia esalpica, caratterizzata da temperature miti e grande piovosità. Le temperature medie annuali variano dai 2 ai 10 °C (figura 2 e 3) e le precipitazioni oscillano intorno a 1500 mm all'anno, con una presenza costante durante tutto il periodo vegetativo ma con un picco nei mesi estivi. Il minimo assoluto avviene durante l'inverno, a conferma di una certa continentalità del clima (figura 4). (Barbi et al., 2013).

Superficie km ²		467
QUOTA MEDIA	m s.l.m.	1302
QUOTA MEDIANA	m s.l.m.	1275
QUOTA MASSIMA	m s.l.m.	2183
QUOTA MINIMA	m s.l.m.	265

I COMUNI	
ASIAGO	1
CONCO	2
ENEGO	3
FOZA	4
GALLIO	5
LUSIANA	6
ROANA	7
ROTZO	8

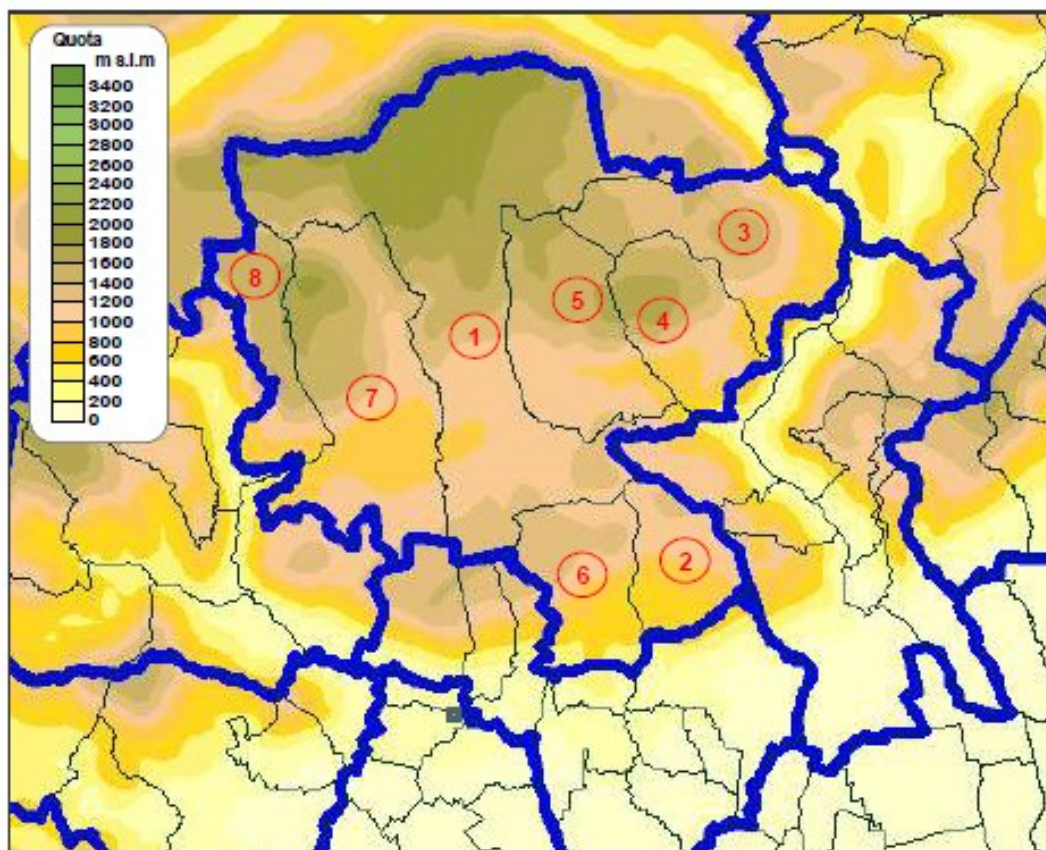


Figura 1: cartografia altimetrica e inquadramento dei comuni dell'Altopiano di Asiago con informazioni ricavate dal DTM del Veneto con passo di 500x500 m (Barbi et al., 2013).

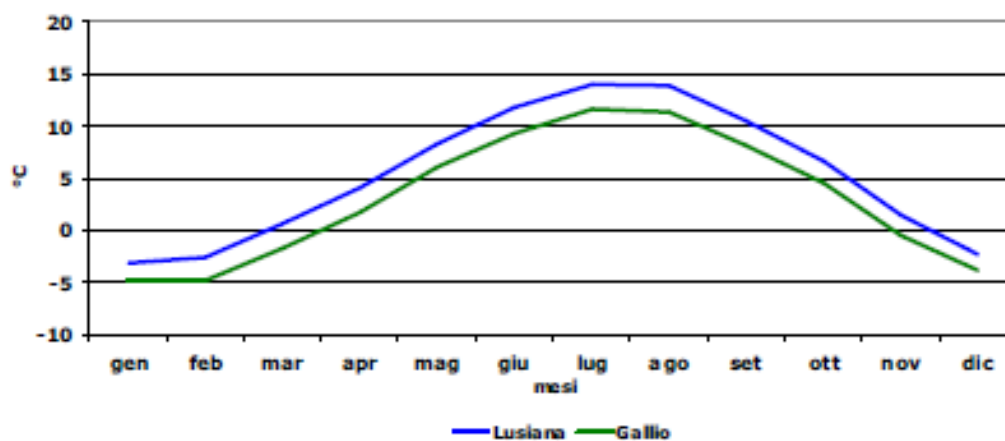


Figura 2: Media mensile delle temperature minime presenti nel comune con quota media maggiore (Gallio) e con quota media minore (Lusiana) (Barbi et al., 2013).

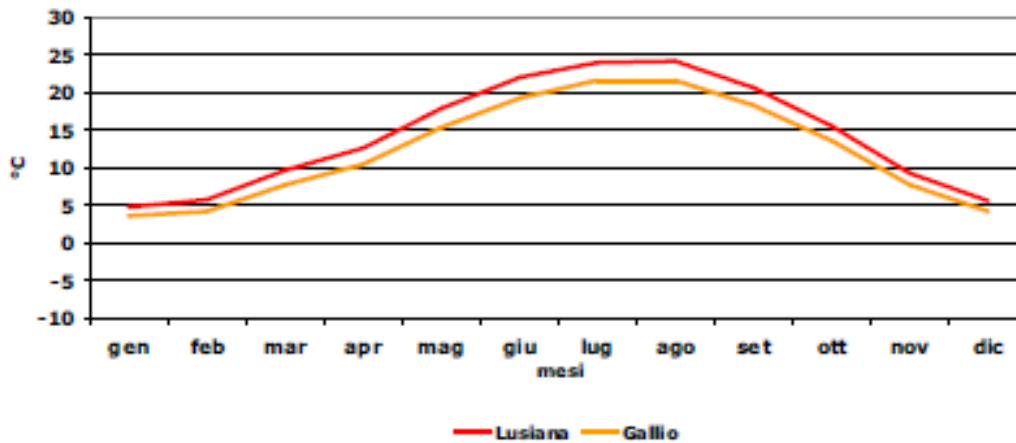


Figura 3: Media mensile delle temperature massime presenti nel comune con quota media maggiore (Gallio) e con quota media minore (Lusiana) (Barbi et al., 2013).

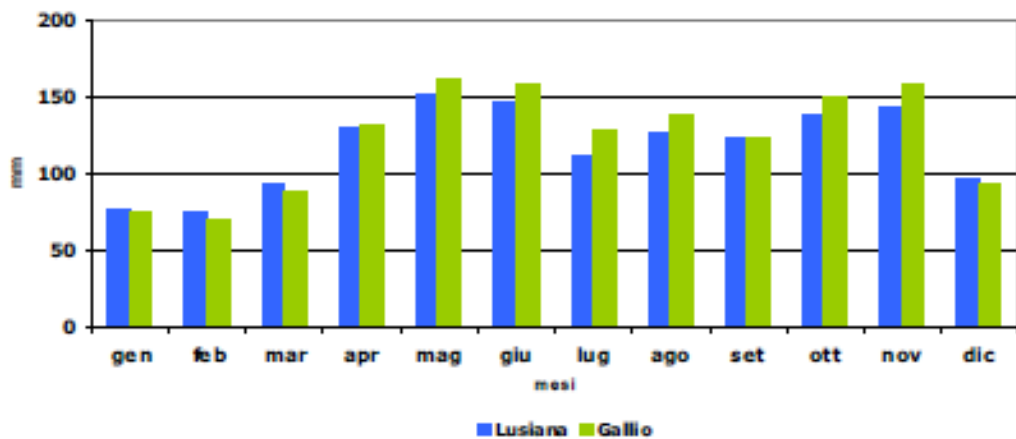


Figura 4: Media mensile della distribuzione delle precipitazioni annuali presenti nei comuni di Gallio e Lusiana (Barbi et al., 2013).

Il paesaggio dell'altopiano mostra una varietà di elementi naturali strettamente correlati alle fasce climatiche e altimetriche, caratterizzato in tutta la sua estensione dall'abbondante presenza di prati e pascoli. Le fasce presenti sono:

- Una fascia collinare pedemontana, caratterizzata da boschi misti (in prevalenza orno-ostrieti), praterie aride, seminativi di collina;
- Un settore meridionale caratterizzato da rilievi (1300-1400 m) con presenza di prati e malghe intervallati da ampie aree a bosco ceduo costituito prevalentemente da faggio (Comune di Lusiana - Conco);
- Una zona centrale definita "Conca dell'Altopiano", caratterizzata da un utilizzo intensivo dei terreni a prato e pascolo per la produzione di foraggio;

- Una zona settentrionale con quote superiori ai 1700 m, che si sviluppa dalla dorsale del Portule fino alla Cima della Caldiera, caratterizzata da boschi di abete rosso (peccete pure o miste a Larice e Abete bianco) intervallati da aree a bosco ceduo (Faggio) e ad arbusteto (Pino mugo).

1.2 La fenologia delle specie erbacee

1.2.1 Definizione di fenologia

L'etimologia della parola fenologia deriva dal greco "phainein" (mostrarsi, apparire) e "logos" (dottrina), ovvero lo studio delle apparenze (Fenner, 1998). Nel corso degli anni sono state date molteplici definizioni a questo termine attribuibili sia al mondo vegetale che al mondo animale, tra cui:

1. "Fenologia: Scienza delle manifestazioni stagionali negli animali e nelle piante"(Müller et al., 1982, traduzione mia);
2. "Fenologia: la scienza delle relazioni tra l'andamento delle condizioni atmosferiche e lo sviluppo o il comportamento degli organismi nel corso dell'anno" (Brockhaus, 1972, traduzione mia);
3. "Fenologia vegetale: Fenomeni periodici di crescita e sviluppo delle piante nel corso dell'anno"(Schnelle, 1955, pag. 11, traduzione mia);
4. "Fitofenologia: reazioni periodicamente ricorrenti del mondo vegetale in funzione delle condizioni ambientali precedenti" (Mahrer, 1985, traduzione mia).

In tutte queste definizioni sono presenti i termini "periodici, annuali, manifestazioni, forme di crescita e sviluppo", le quali possono essere considerati le parole chiave per descrivere la fenologia. Spesso le definizioni sono accompagnate da esempi di fenomeni osservati in fenologia, come la piena fioritura, lo sviluppo delle foglie, la maturazione dei frutti, lo scolorimento delle foglie e la caduta delle foglie. Questi fenomeni sono chiamati fasi fenologiche (o fenofasi) ma anche il termine "stadi fenologici" è comunemente usato (Defila, 1991). La definizione 4 risulta essere la più corretta per descrivere il lavoro svolto in questa tesi, dove si sono analizzate le successioni delle fasi fenologiche in relazione alle condizioni ambientali. Essa è l'unica che al suo interno inserisce le "condizioni ambientali precedenti", ovvero le condizioni meteorologiche, climatiche e stagionali che hanno un impatto sulla fenologia. In questi casi si parla di fenoecologia, la quale è definita come l'influenza del sito e dell'ambiente sulle fasi di sviluppo della crescita delle diverse specie e comunità

vegetali. Essa distingue i seguenti gruppi di fattori: fattori climatici, fattori edafici, esposizione e altitudine, fattori fitobiotici, zoobiotici e antropobiotici (Defila, 1991). La fenologia appartiene infine al campo della biometeorologia, ovvero lo studio delle interazioni dirette e indirette tra l'ambiente geofisico e geochimico, l'atmosfera e gli organismi viventi come piante, animali ed esseri umani (Faust, 1976).

1.2.2 Effetti di stagione, meteorologia e clima sulla fitofenologia

Nelle regioni temperate lo sviluppo biologico di una specie durante la stagione è principalmente dipendente dalla temperatura (Wielgolaski, 1999). La fenologia delle piante è tuttavia dipendente anche da altri fattori come la radiazione solare e la durata del giorno, l'umidità dell'aria e del suolo (Friedel et al., 1993) e altri fattori ambientali presenti ancora nel suolo (Schnelle, 1955; Wielgolaski, 1974). L'effetto di questi differisce molto tra loro e può avere un impatto diverso a seconda delle specie coinvolte. Sono tuttavia individuabili degli effetti generali che coinvolgono tutta la comunità:

Temperatura

È il fattore più influente e più correlato alla fenologia e al ciclo biologico di una specie (Defila, 1991; Wielgolaski, 1999). Più studi hanno infatti documentato l'effetto dell'incremento della temperatura sulle tempistiche e la durata degli eventi fenologici (Cleland et al., 2007; Menzel, 2003; Nordli et al., 2008). Le piante necessitano infatti di uno specifico ammontare di calore per svilupparsi da uno stadio fenologico al successivo (Miller et al., 2001). Tutti gli studi fenologici devono infatti fondarsi su parametri che analizzino la quantità di calore che una pianta riceve durante la stagione, il quale viene calcolato tramite l'utilizzo del concetto di gradi utili di temperatura e della somma termica (De Reaumur, 1735). Rispetto a tutti gli altri elementi abiotici che possono influire sulla fenologia delle specie, la temperatura assume un ruolo prioritario e imprescindibile.

Presenza e durata del manto nevoso

In regioni di alta quota la fenologia è fortemente influenzata dallo scioglimento della neve oltre che dalla temperatura dell'aria (Bliss, 1971; Hülber et al., 2010; Inouye, 2008; Wipf, 2010). La copertura nevosa influenza la temperatura del terreno abbassandola e ritardando la fenologia primaverile delle specie vegetali (Pellerin et al., 2012). Inoltre, nelle vegetazioni di prateria la neve crea uno strato isolante che non permette alla luce di arrivare al suolo e mantiene la vegetazione in uno stato di

dormienza. Lo strato nevoso ha però delle capacità protettive sulla vegetazione durante l'inverno nei primi mesi primaverili, andando a mantenere le temperature vicino allo 0 e impendendo danni da gelate (Pellerin et al., 2012). Lo scioglimento anticipato dello strato nevoso aumenta il rischio di danni da gelo a specie con fioritura precoce (Inouye, 2008). Questo fattore è dunque influente sulle fasi fenologiche iniziali ma non ha un effetto significativo sulle fasi fenologiche riproduttive come la fioritura (Cornelius et al., 2013). La neve ha dunque una notevole influenza nelle regioni alpine, per questo la data di inizio del calcolo della somma termica e dell'inizio della stagione vegetativa viene fatta corrispondere alla data di scioglimento del manto nevoso (Defila, 1991).

La fertilità e la disponibilità di nutrienti

Questi due parametri sono molto variabili e le specie mostrano dei comportamenti e delle risposte diverse tra loro a seconda dell'elemento chimico considerato e degli adattamenti evolutivi della specie stessa. Molti studi concordano però nell'affermare che l'influenza del suolo sulla fenologia delle piante è di solito minore dell'influenza climatica (Caprio, 1966). Questo anche perché l'influenza dei nutrienti nel suolo può essere in parte correlata all'influenza dei fattori climatici (Conrad, 1959). Gli effetti principali della fertilità del suolo sulla fenologia sono due: l'aumento della massa vegetativa e il cambiamento dei ritmi fenologici. Wilson (Wilson, 1959) ha dimostrato il primo effetto utilizzando un esperimento estremamente semplice ma efficace. Ha infatti ricreato due ambienti edafici identici tra loro, utilizzando due comuni vasi da fiore, i quali differiscono solo per la disponibilità di azoto presente. Nel secondo vaso è stata inserita una quantità di azoto sei volte maggiore rispetto al primo. Inserendo due cloni della stessa specie in questi due ambienti, Wilson ha osservato che sul suolo più fertile la pianta ha uno sviluppo vegetativo maggiore e di maggiore durata rispetto al sito meno fertile (figura 5). Wielgolaski (Wielgolaski, 2001) ha invece mostrato una correlazione negativa tra la presenza di ioni fosforo, potassio, magnesio e calcio con il tasso di sviluppo della pianta. Le fasi fenologiche iniziali di molte piante native e coltivate hanno mostrato un ritardo nello sviluppo in condizione di alte concentrazioni di questi nutrienti.

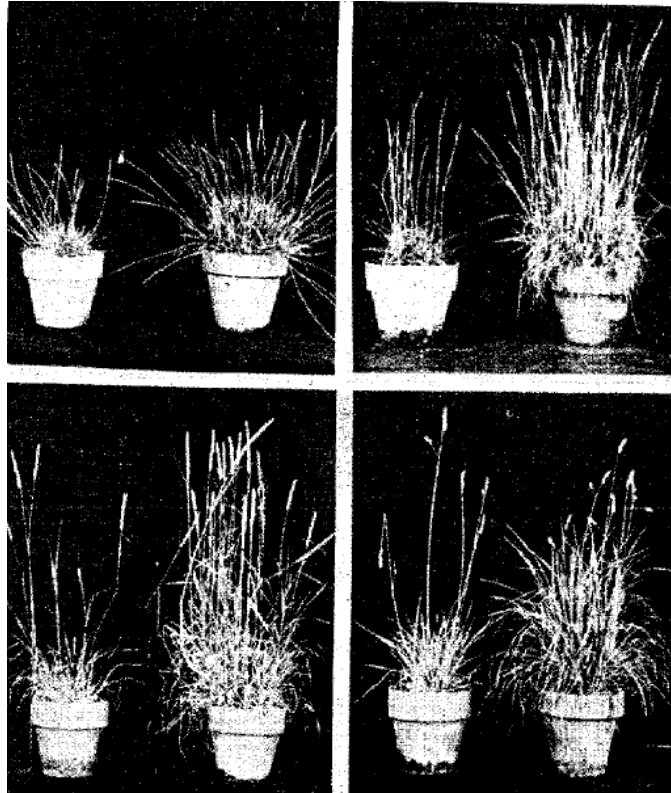


Figura 5: Massa vegetativa a confronto tra cloni della stessa pianta piantati su due suoli differenziati unicamente per livello di fertilità. (Wilson, 1959).

Per quanto riguarda l'influenza nel cambiamento dei ritmi fenologici, gli effetti non sono ancora del tutto chiari e variano in funzione della specie e dell'ambiente di analisi. Molti studi concordano però con quello mostrato da Wilson (Wilson, 1959), il quale ha evidenziato che in aree con elevata quantità di azoto la data di inizio delle fasi fenologiche risulta anticipata (figura 6) e la durata delle stesse viene prolungata. Il numero di giorni di anticipo della data di inizio si diversifica a seconda delle fasi fenologiche, ma generalmente è presumibile che l'effetto sia più accentuato nelle prime fasi di sviluppo della pianta per poi andare a diminuire con l'avvento delle fasi riproduttive del ciclo biologico. Xi (Xi et al., 2015), il quale ha analizzato l'effetto di quattro quantità diverse di concimazione di azoto su fioritura e fruttificazione, non evidenzia particolari effetti né di anticipo né di prolungamento di queste fasi in nessuna delle specie analizzate (figura 7). Nello stesso lavoro precedente, Wilson (Wilson, 1959) mostra che nel germogliamento l'anticipo ammonta da 8 a 23 giorni, mentre nella fioritura l'anticipo consiste in un periodo di massimo 7 o 8 giorni. In regioni alpine, l'effetto della fertilità del suolo nelle prime fasi fenologiche è ancora più incisivo, tanto che esso risulta maggiore di quello della temperatura dell'aria (Pellerin et al., 2012).

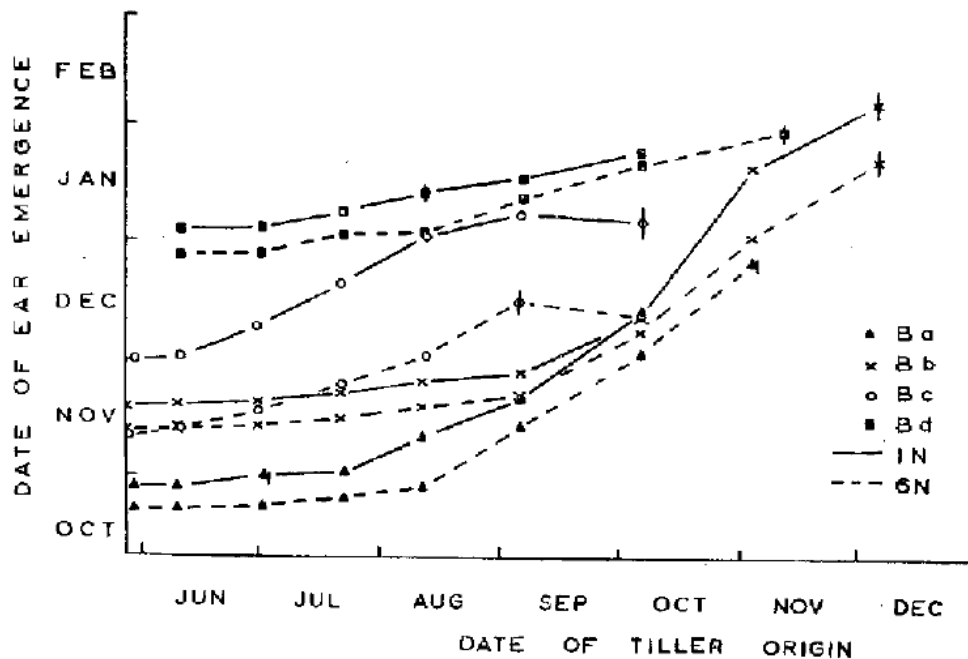


Figura 6: Relazione tra la data di germogliamento e spigatura a differenti livelli di fertilità di terreno. Ba= *Lolium perenne*, Bb = *Lolium multiflorum*, Bc = *Dactylis glomerata* e Bd = *Phleum pratense*. Le linee continue indicano una concimazione di 1N mentre le linee tratteggiate una concimazione di 6N (Wilson, 1959).

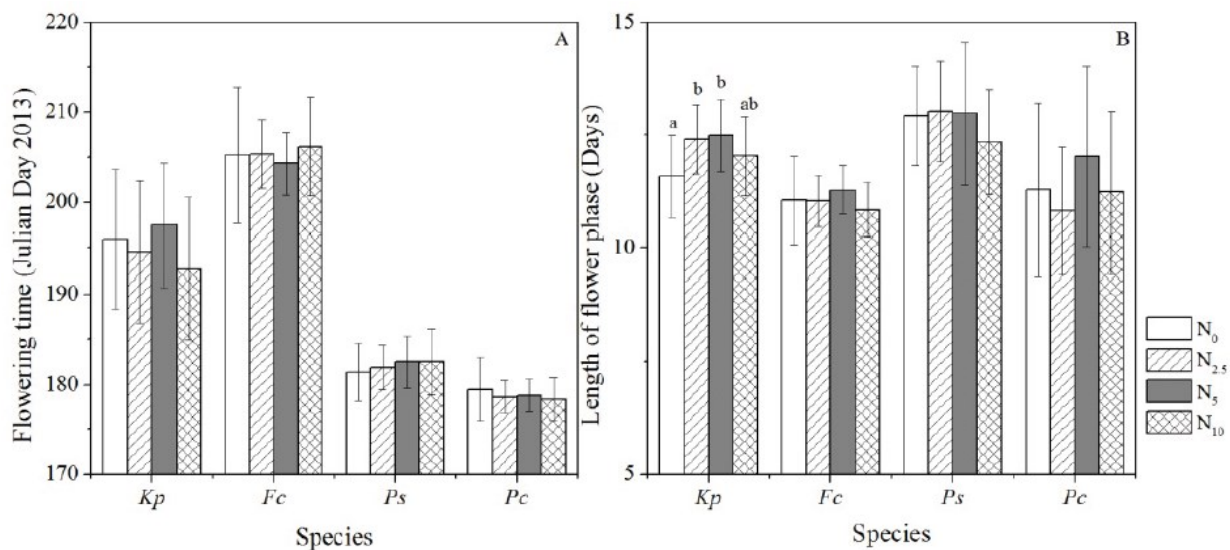


Figura 7: Data di inizio e numero di giorni di durata della fioritura nelle seguenti specie:
 Kp: *Kobresia pygmaea*, Fe: *Festuca coelestis*
 Ps: *Potentilla saundersiana*, Pc: *Potentilla cuneata* (Xi et al., 2015).

Tipologia e umidità del suolo

Poiché ogni specie ha caratteristiche ed esigenze in termini di fattori edafici, per prevedere la risposta di una vegetazione alle condizioni edafiche è importante combinare i risultati di una serie di studi realizzati su tante specie. Sono stati individuati però dei fattori generici in grado di modificare il ciclo biologico della vegetazione in modo analogo per tutte le specie. Questi fattori sono tutti dipendenti

o intrinseci alle caratteristiche fisiche del terreno, ovvero tessitura e porosità. Schnelle e Nuttonson (Nuttonson, 1957; Schnelle, 1955) concordano sul fatto che sia l'umidità del suolo a correlare questi due fattori con la fitofenologia. Essi ritengono infatti che differenti contenuti di acqua nel terreno possano influenzare la temperatura del suolo e quindi anche lo sviluppo della pianta. Anche Wielgolaski (Wielgolaski, 2001) afferma che l'acqua nel suolo ha un effetto significativo sulla fenologia, ma l'effetto sarebbe da ricondurre alla regimazione delle acque e alla capacità del suolo di renderla disponibile alle piante. Non entrerebbe in gioco quindi la temperatura. Lo stesso Wielgolaski (Wielgolaski, 2001) ha dimostrato che la presenza di ghiaia nei primi 10 cm di suolo e una densità relativa maggiore (ovvero terreni meno porosi) tra 35 - 40 cm, garantiscono una migliore regimazione idrica e uno sviluppo fenologico più rapido (figura 8 e 9).

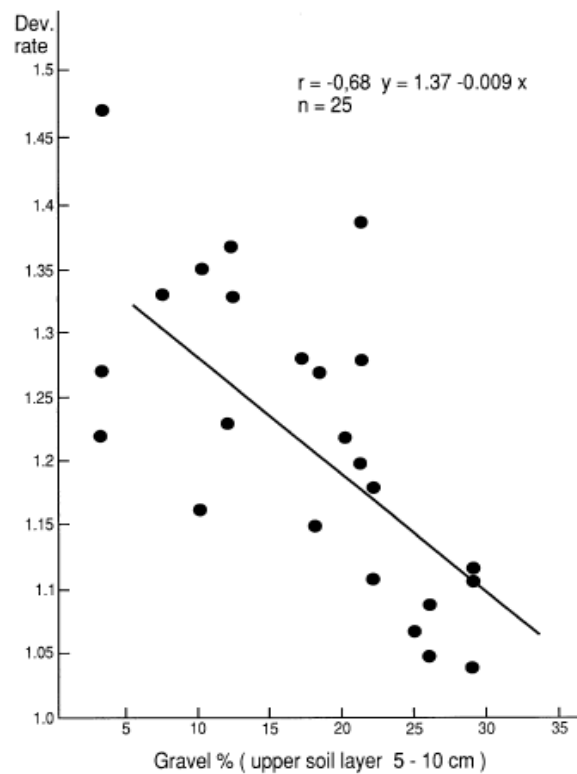


Figura 8: regressione tra il tasso di sviluppo di *Salix caprea* e la percentuale di ghiaia nel suolo nei primi 5 - 10 cm (Wielgolaski, 2001).

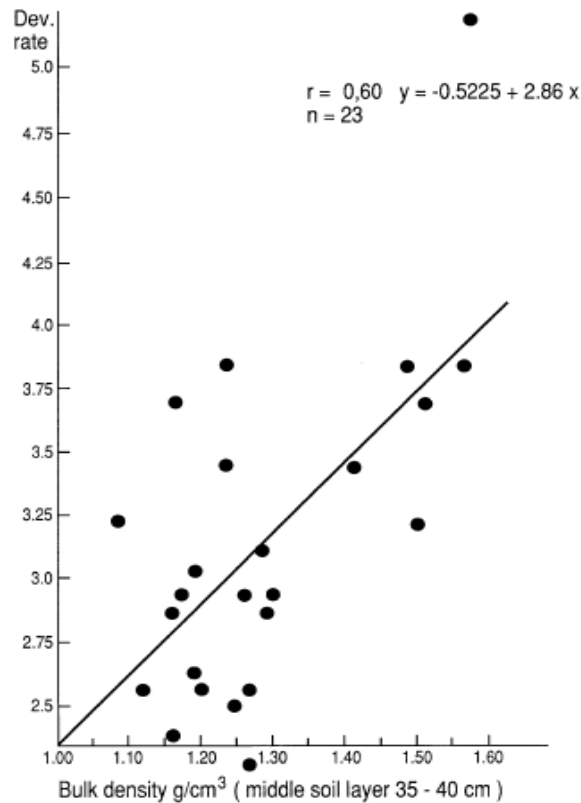


Figura 9: regressione tra il tasso di sviluppo di *Prunus padus* e la densità relative del suolo a profondità di 35 - 40 cm (Wielgolaski, 2001).

Precipitazione ed esposizione

Precipitazione ed esposizione sono due fattori che possono indirettamente condizionare il ciclo biologico di una specie. Essi agiscono infatti sul calore che la pianta riceve durante la stagione vegetativa. L'effetto della variazione dell'esposizione sugli stadi fenologici sembra essere associato con fattori microclimatici, come l'ammontare di radiazioni e la temperatura (Camargo et al., 2011). Vegetazioni esposte a sud ricevono un ammontare di temperatura e di radiazione solare incidente nettamente maggiore rispetto alle specie esposte a nord, andando a influenzare la loro fenologia. Rojo e Pérez-Badia (Rojo e Pérez-Badia, 2014) hanno quantificato questo effetto sull'olivo (*Olea europaea L.*) e hanno visto che nei rami esposti a sud vi è un'anticipazione da 3 a 6 giorni e un prolungamento da 0 a 3 giorni della fase di fioritura rispetto ai rami esposti a nord.

L'effetto della precipitazione è associato anch'esso al calo delle temperature che avviene normalmente nei giorni di pioggia. Oltre a questo, bisogna aggiungere anche l'effetto che questa può avere sulla siccità e la disponibilità di acqua per le piante. Defila (Defila, 1991) sostiene infatti che in ambienti alpini l'effetto idrico della pioggia sia irrilevante in primavera, vista la disponibilità di acqua

non meteorica presente in quel periodo, mentre un periodo di siccità in estate o in autunno può causare un anticipo della fine del ciclo stagionale della vegetazione, quando la fonte principale di approvvigionamento idrico sono le precipitazioni stesse.

1.2.3 Effetti ecologici ed evolutivi sulla fitofenologia

Oltre ai parametri visti nel capitolo precedente esistono altri meccanismi che regolano le tempistiche con cui le piante raggiungono i diversi stadi fenologici. È infatti stato rilevato in ogni studio fenologico che le diverse specie non seguono tutte gli stessi ritmi vegetazionali. Esistono infatti implicazioni legate al genotipo e alle caratteristiche genetiche della specie sviluppatasi con la selezione naturale. La pressione che l'ecosistema esercita sulle specie porta alla selezione di individui che presentano adattamenti specifici per sopravvivere all'ambiente in cui si trovano, i quali possono influire sulla fenologia e determinare modifiche in fatto di tempi e durata dei diversi stadi fenologici (Fenner, 1998). Molti studi trattano di questi adattamenti che sono visibili durante tutto il ciclo vegetativo, in particolare si possono trovare numerosi esempi con riferimento alle fasi di:

Fogliazione. Le epoche in cui si verifica questa fase sono un compromesso tra i vantaggi ottenuti sfruttando condizioni ambientali migliori per la crescita (fogliazione più tardiva) ed evitando i danni da erbivoria, soprattutto operata dagli insetti. Murali e Sukumar (Murali e Sukumar, 1993) hanno mostrato che gli individui che iniziano il loro ciclo vegetativo a stagione inoltrata mostrano danni da erbivori nettamente più significativi degli individui della stessa specie che germinano e fogliano più precocemente. Una seconda strategia sviluppata per ridurre questi problemi è quella di sincronizzare la produzione fogliare con le altre specie della comunità. In questo modo l'impatto degli erbivori sul singolo individuo o sulla singola specie è nettamente ridotto (Aide, 1991).

Fioritura. Più studi hanno mostrato che alcune specie che condividono gli stessi impollinatori hanno adottato delle particolari tecniche per non entrare in competizione tra di loro. Nei luoghi dove queste sono simpatriche la fioritura avviene sequenzialmente l'una dopo l'altra, mentre nei luoghi dove queste non entrano in competizione tra di loro il periodo di fioritura risulta sovrapposto (Carpenter, 1976; Waser, 1983).

Fruttificazione. Molte specie a frutti carnosì fanno coincidere la fruttificazione con il periodo di massima presenza di animali appetiti dei loro frutti. Essendo il seme indigeribile, esso verrà successivamente scartato sotto forma di feci garantendone una sua efficace propagazione. In questo

modo i predatori fungono da vettori per il trasporto e la disseminazione di queste specie. In ambienti temperati i principali vettori sono gli uccelli frugivori che raggiungono il massimo della densità e presenza in autunno, prima della migrazione. Per massimizzare la loro propagazione, alcune specie hanno modificato i loro ritmi fenologici per fruttificare nei mesi di settembre e ottobre, quando la presenza dei loro “predatori” è massima (Herrera, 1984; Snow, 1971; Stiles, 1980; Thompson e Willson, 1979).

Le date e la durata dei diversi stadi fenologici sono quindi, in particolar modo il risultato degli effetti dei parametri abiotici (temperatura dell’aria, umidità del suolo, presenza di neve...) ma, meno incisivamente, anche degli adattamenti evolutivi ed ecologici determinatisi per resistere alla selezione naturale.

1.2.4 Fenologia e periodo vegetativo

Il periodo vegetativo è quel lasso di tempo in cui la pianta compie il suo ciclo vegetativo, il quale inizia con la germinazione del seme e la formazione delle prime foglie e termina con l’inizio della dormienza invernale. Tuttavia, individuare le date appropriate in cui accadono questi eventi non è affatto banale e attualmente esistono tre approcci con cui possiamo definirle: l’approccio fenologico, l’approccio climatologico e l’approccio satellitare.

Approccio fenologico

L’inizio e la fine della stagione vegetativa vengono individuati nelle date in cui avvengono dei cambiamenti fenologici associabili a modificazione nella morfologia delle specie (es: scolorimento delle foglie di *Fagus sylvatica*, piena fioritura dell’*Anemone nemorosa*). Defila (Defila, 1991) lo definisce però un metodo non idoneo allo scopo perché non adatto ad essere applicato a lungo termine. I parametri fenologici sono infatti dipendenti da più fattori meteorologici che possono presentarsi ed incidere in modo diverso anno per anno. Ad esempio, lo scolorimento delle foglie può dipendere sia dai limiti di temperatura, ma anche da stress da siccità e fotoperiodo. È quindi impossibile inserire la natura in uno schema così semplice ed è impossibile definire le variabili stagionali osservando solamente una o poche specie.

Approccio climatologico

In generale, le definizioni climatologiche prendono in considerazione solamente la temperatura dell'aria (Defila, 1991). Le metodologie presenti si classificano in due grandi gruppi: quelle che utilizzano dei valori di temperatura giornaliera soglia che deve protrarsi per più giorni e quelli in cui è necessario raggiungere uno specifico ammontare di calore complessivo. Nel primo gruppo di metodi l'inizio o il termine della stagione vegetativa avviene nel momento in cui viene registrata una temperatura che superi la soglia prevista per un numero di giorni ben definito. Come afferma Defila (Defila, 1991), i diversi metodi differiscono tra loro in funzione del territorio di analisi per cui sono stati elaborati. Le variabili modificabili si possono quindi distinguere in:

- Tipo di temperatura di analisi (minima, media o massima);
- Valore della soglia di temperatura;
- Numero di giorni continui in cui la soglia deve essere superata;
- Data di inizio delle analisi, oltre la quale si inizia l'individuazione della sequenza giornaliera corretta.

Primault (Primault, 1972) definisce l'inizio della stagione vegetativa con 7 giorni consecutivi di temperature medie giornaliere di 5 °C, mentre la fine avviene con 5 giorni consecutivi di temperature medie giornaliere inferiori a 5 °C, oppure 3 giorni consecutivi con temperature minime giornaliere inferiori a 0 °C, o un giorno con temperatura minima giornaliera inferiore a -2 °C. Secondo la "World meteorological organization", l'inizio della stagione vegetativa avviene nel primo arco della stagione, quando per 6 giorni contigui la temperatura media giornaliera è superiore a 5 gradi centigradi, mentre la fine della stagione vegetativa si ha nel primo arco successivo al primo luglio, quando per 6 giorni contigui la temperatura media giornaliera è inferiore a 5 gradi centigradi (Karl et al., 1999). Il secondo gruppo di metodi fa corrispondere una certa somma termica all'inizio e alla fine del periodo vegetativo, basandosi sul concetto di gradi utili di temperatura. Esso prevede di calcolare quanto calore è richiesto per lo sviluppo di un organismo da uno stadio fenologico al successivo, stabilendo delle temperature limite massime o minime al di sopra o al di sotto delle quali lo sviluppo della pianta è rallentato o si arresta (figura 10) (UC IPM, 2016). Esistono anche in questo caso molte metodologie di calcolo della somma termica, quella usata in questa tesi è spiegata in dettaglio al capitolo 2.2.

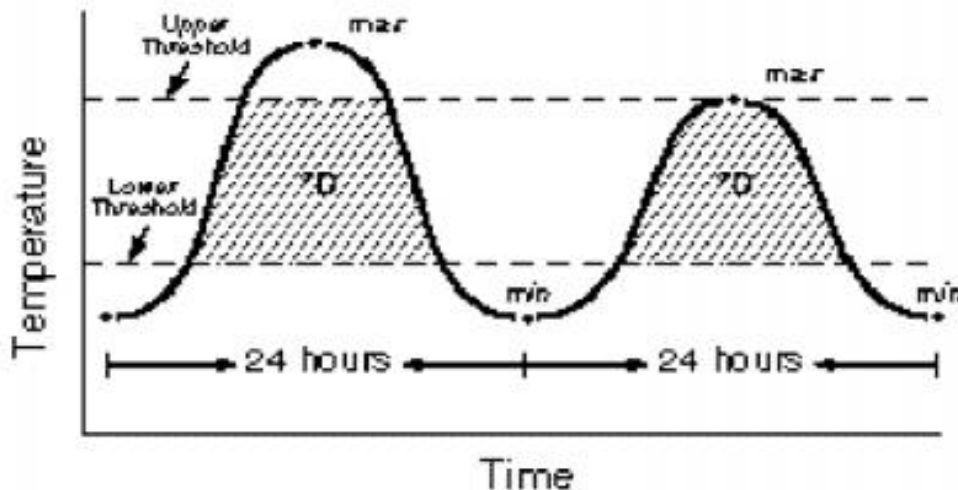


Figura 10: raffigurazione del concetto di gradi utili di temperatura (UC IPM, 2016).

Per entrambi i metodi la data di inizio delle analisi può essere assoluta, e venire definita direttamente da chi elabora il metodo, oppure può essere in funzione delle condizioni climatiche dell'area. In molti casi, soprattutto in aree di media-alta montagna, l'inizio delle analisi viene fatto corrispondere alla data successiva allo scioglimento del manto nevoso (Defila, 1991).

Approccio satellitare

Questo ultimo gruppo di metodi utilizza le tecniche del telerilevamento per analizzare ed elaborare i dati delle immagini provenienti dai satelliti Sentinel, Modis e Landsat. Essi analizzano i valori e gli andamenti degli indici vegetazionali calcolati all'interno di ogni singolo pixel e stabiliscono un valore soglia al di sotto o al di sopra del quale inizia e finisce la stagione vegetativa. La teoria sul telerilevamento e i processi di funzionamento e di calcolo degli indici vegetazionali sono spiegati nel capitolo 1.4. Con questo approccio esiste una moltitudine di metodologie che possono cambiare in funzione del territorio al quale essi siano stati adattati. I fattori variabili sono:

- Indice satellitare utilizzato. Ogni indice ha delle proprietà e delle caratteristiche che lo possono rendere più o meno idoneo all'area di analisi;
- Data di inizio delle analisi. Stabilita a priori dal produttore o modificabile dall'utente;
- Valore soglia dell'indice. Esso può essere definito a priori o variare di un certo valore percentuale a seconda della decisione dell'utente utilizzatore.

Tutti i metodi prevedono comunque di affiancare i risultati ottenuti con delle analisi di campo che permettono di consolidarli o smentirli ed in caso modificare i dati di input per correggerli. I metodi utilizzati nella tesi sono descritti al capitolo 2.3.2.

Nell'applicazione di tutti e tre gli approcci bisogna essere consapevoli che tutte le definizioni sono approssimazioni, modelli che non rendono mai pienamente giustizia alle condizioni ecologiche reali di un ambiente, le quali risultano essere molto più complesse e articolate del modello da noi definito (Defila, 1991).

1.2.5 Stadi fenologici delle specie erbacee

In passato più volte i ricercatori hanno tentato di redigere un sistema uniforme in grado di descrivere gli stadi di crescita delle specie e delle colture erbacee, ma spesso con scarsi risultati. Le metodologie proposte sono risultate frequentemente di difficile applicazione, sia per la complessità delle osservazioni da effettuare che per la scarsa applicabilità su differenti specie. Questi metodi non risultavano pratici sia per la grande quantità di stadi fenologici in cui suddividevano il ciclo della pianta (Eggers e Heidler, 1985, 1986), che per i caratteri morfologici di riconoscimento che questi indicavano per distinguere le diverse fenofasi, validi solamente per una cerchia ristretta di specie. Un esempio è la scala di Lutman (Lutman et al., 1987), la quale definisce alcuni stadi solo in termini di altezza dell'erba. All'inizio degli anni '90 del secolo scorso, Bleiholder e Lancashire (Bleiholder et al., 1990; Lancashire et al., 1991) proposero un metodo che poteva essere usato per tutte le piante erbacee, sia spontanee che coltivate: la scala BBCH. Essa è un sistema di classificazione che codifica in modo uniforme gli stadi di crescita fenologicamente simili di tutte le specie vegetali, sia per le monocotiledoni che per le dicotiledoni (Hess et al., 1997), ed è basata sul codice di classificazione fenologica dei cereali di Zadoks (Zadoks et al., 1974). Questa scala, al contrario di quelle realizzate in precedenza, è utilizzabile per tutte le specie erbacee. Essa utilizza parametri di identificazione degli stadi fenologici idonei per tutte le specie erbacee, è pratica per tutti i campi scientifici riguardanti la fenologia, semplifica il lavoro degli utenti e dei ricercatori e facilita lo scambio di dati scientifici in materia a livello nazionale e internazionale (Hess et al., 1997). L'abbreviazione BBCH deriva dalle istituzioni che hanno partecipato allo sviluppo di questa scala (Hess et al., 1997):

- **BBA**, "Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft" (Centro federale tedesco per la ricerca in ambito agricolo e forestale);
- **BSA**, Bundessortenamt (Autorità federale tedesca per la conservazione delle specie);
- **CH**emical industry, Industrieverband Agrar. IVA (Associazione tedesca degli imprenditori di prodotti agrochimici).

La scala BBCH è composta da 10 stadi di crescita principali, i quali presentano ognuno dei sotto-stadi secondari (tabella 1). Essa inizia con la pianta in dormienza (fase 0) e termina con la senescenza della pianta (fase 9) attraversando un gruppo di fasi vegetative e riproduttive. Per questo risulta uno strumento molto generico e utile per definire le fasi fenologiche sia delle specie da reddito, che delle specie di prateria (Hess et al., 1997). I caratteri morfologici di riconoscimento sono, per alcuni stadi identici per tutte le specie, mentre per altri si differenziano tra le graminacee e tutte le altre specie. Esse si suddividono in:

- 0 – pianta in dormienza. Questa fase inizia dalla presenza del seme secco e termina con la fase di emergenza del cotiledone;
- 1 – inizio della vegetazione con la formazione delle prime foglie. Ha inizio con l'emersione completa del cotiledone e termina con il dispiegamento di nove o più vere foglie, coppie di foglie o verticilli;
- 2 - formazione di getti laterali o inizio accestimenti. Questa fase si estende dalla formazione dei primi germogli laterali alla formazione di nove o più accestimenti;
- 3 - fusto in allungamento, rosetta in formazione o levata. Inizia con l'allungamento del fusto (levata in graminacee) e termina con la formazione di nove o più nodi;
- 4 – sviluppo delle parti vegetative della pianta. Il primo stadio di questa fase vede lo sviluppo di organi di propagazione vegetativa (come rizomi, stoloni, tuberi, bulbi...) e l'ultima vede terminare lo sviluppo vegetativo della pianta (dove sono visibili le prime reste delle graminacee).

Da questo punto inizia la fase riproduttiva della pianta e le fasi fenologiche verranno identificate utilizzando solamente i caratteri sessuali delle specie:

- 5 – presenza del bottone florale o spigatura. Questa fase inizia con l'emergenza del fiore o dell'infiorescenza e si prolunga fino al suo completo sviluppo;
- 6 – fioritura. Inizia con l'apertura del fiore o di parte dei fiori dell'infiorescenza e termina con l'allegagione.

Le ultime tre fasi sono intrinsecamente per definizione molto più specifiche e puntuali, lasciando poco spazio agli stadi secondari che risultano solo due per ogni stadio principale:

- 7 – frutto in sviluppo. Comprende quel lasso di tempo in cui il frutto si sviluppa, partendo dalla sua formazione e terminando prima della completa maturazione. Per le graminacee in

questa fase il frutto attraversa le fasi di maturazione lattea e cerosa, dove prima il frutto ha consistenza liquida e poi cerosa. Per quanto riguarda le dicotiledoni si osserva l'ingrossamento della dimensione del frutto;

- **8 – frutto maturo.** In questa fase il frutto raggiunge la piena maturazione e, per quanto concerne le graminacee la sua consistenza è dura e rigida, mentre per le dicotiledoni il frutto raggiunge la sua massima dimensione;
- **9 – caduta del frutto e fine della vegetazione.** Alla caduta del frutto si entra nell'ultimo stadio fenologico della scala BBCH. A seconda della specie e di quando questo avviene durante la stagione vegetativa la pianta può iniziare nuovamente un altro ciclo fenologico oppure può entrare in dormienza.

Tabella 1: stadi di crescita principali del metodo BBCH (Meier, 2018, pag. 11). La scala BBCH completa di tutti i sottostadi è riportata in allegato 1.

Stage	Description
0	Germination / sprouting / bud development
1	Leaf development (main shoot)
2	Formation of side shoots / tillering
3	Stem elongation or rosette growth / shoot development (main shoot)
4	Development of harvestable vegetative plant parts or vegetatively propagated organs / booting (main shoot)
5	Inflorescence emergence (main shoot) / heading
6	Flowering (main shoot)
7	Development of fruit
8	Ripening or maturity of fruit and seed
9	Senescence, beginning of dormancy

1.3 Fenologia e qualità del foraggio

Durante il ciclo biologico delle specie erbacee avvengono dei sostanziali cambiamenti che vanno a modificare l'aspetto morfologico e la composizione chimica della vegetazione. L'accrescimento in biomassa e altezza e la necessità della pianta di sostenersi autonomamente, la inducono a sintetizzare sostanze strutturali a discapito di proteine e nutrienti utili nella dieta animale (Rayburn, 1993). Con l'avanzare della stagione vegetativa e lo sviluppo delle fasi fenologiche diminuiscono il contenuto di acqua, di energia e di proteina grezza ed aumentano la biomassa, la percentuale di fibre (NDF) e di lignina (Tabella 3 e figura 11).

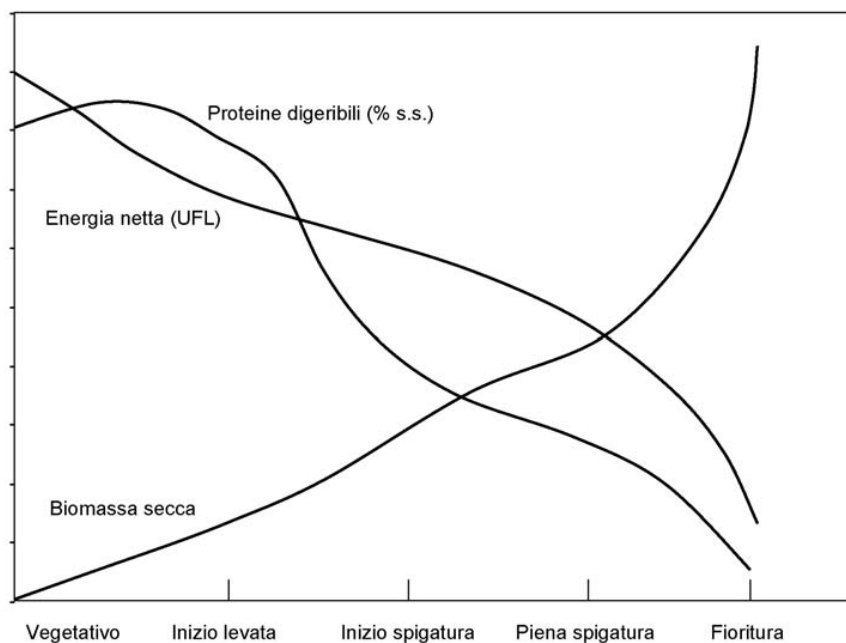


Figura 11: andamento della produzione e della qualità nutritiva delle graminacee in funzione dello sviluppo fenologico (Gusmeroli et al., 2005).

Ad un aumento di produzione corrisponde quindi un peggioramento della qualità dell'erba (Gusmeroli et al., 2005). Tra i fattori ambientali che influenzano questi parametri, quelli in cui si riconosce maggiore incidenza sono la temperatura dell'aria (inevitabilmente correlata alla altitudine, figura 12), la fertilità del suolo (figura 13) e il suo stato idrico (Cereti et al., 1987; Grignani et al., 1989; Orlandi e Clementel, 1991), anche se quest'ultimo parametro risulta rilevante solo in stazioni pendenti, con esposizione a sud e caratterizzate da una scarsità di precipitazioni estive (Bassignana e Bornard, 2001). Tra questi però occupano un ruolo preminente la composizione floristica e lo stadio di sviluppo della cenosi. Il potenziale foraggero varia infatti da specie a specie, come esemplificato in tabella 2, e la sua espressione muta rapidamente con lo sviluppo fenologico delle piante, come delineato in figura 11. Ne consegue una spiccata variabilità spaziale e temporale, l'una subordinata

al complesso di relazioni che legano le comunità vegetali ai fattori climatici ed edafici, l'altra alla successione e sovrapposizione dei cicli biologici delle specie componenti il popolamento (Gusmeroli et al., 2005).

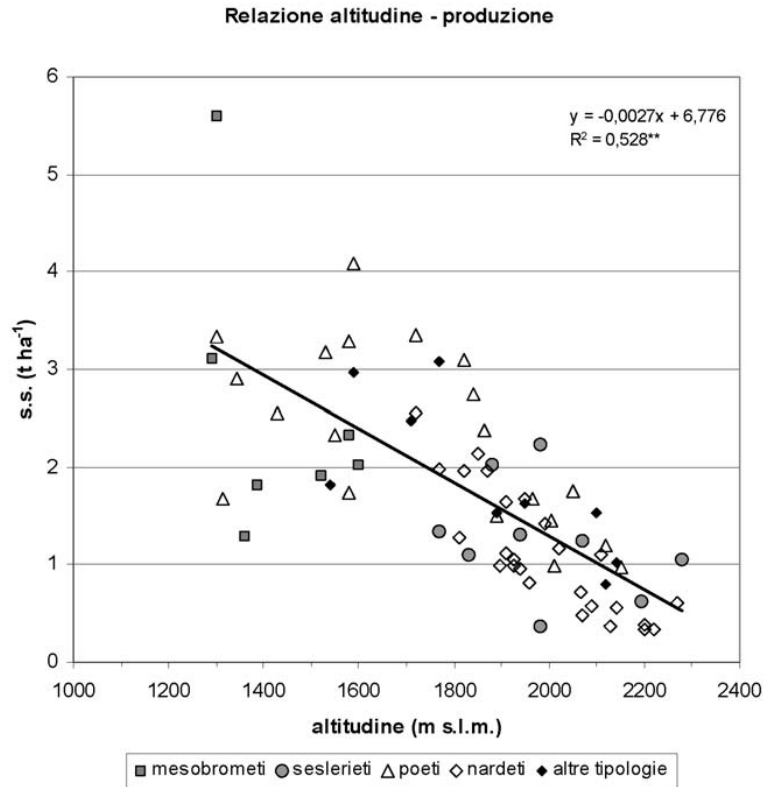


Figura 12: correlazione tra altitudine e produzione dei pascoli alpini (Gusmeroli et al., 2005).

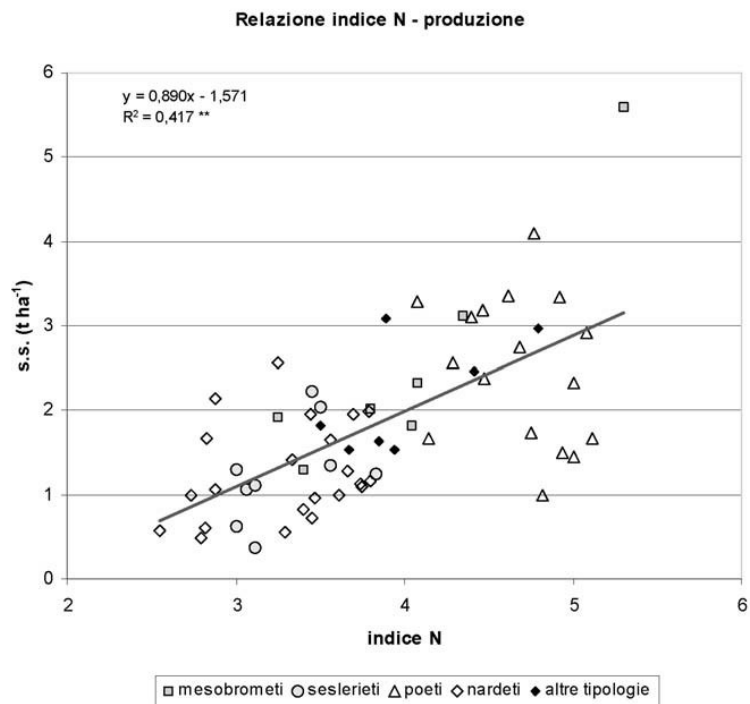


Figura 13: correlazione tra fertilità (espressa tramite gli indici di Ellemberg) e produzione nei pascoli alpini (Gusmeroli et al., 2005).

Tabella 2: indici di valore foraggero di alcune specie dei pascoli alpini secondo Knapp-Stählin (Gusmeroli et al., 2005).

Graminoidi			
<i>Agrostis alpina</i>	5	<i>Festuca ovina</i>	3
<i>Agrostis rupestris</i>	5	<i>Festuca rubra</i>	5
<i>Agrostis schraderana</i>	1	<i>Festuca varia</i>	0
<i>Avenella flexuosa</i>	2	<i>Molinia coerulea</i>	2
<i>Carex curvula</i>	6	<i>Nardus stricta</i>	2
<i>Carex sempervirens</i>	3	<i>Phleum alpinum</i>	8
<i>Deschampsia caespitosa</i>	3	<i>Poa alpina</i>	8
<i>Festuca halleri</i>	3	<i>Poa trivialis</i>	7
<i>Festuca nigrescens</i>	5	<i>Sesleria varia</i>	2
Leguminose			
<i>Anthyllis vulneraria</i>	5	<i>Trifolium pratense</i>	7
<i>Lotus alpinus</i>	7	<i>Trifolium repens</i>	8
<i>Trifolium alpinum</i>	7	<i>Trifolium thalii</i>	8
Altre specie			
<i>Achillea millefolium</i>	5	<i>Juncus jacquinii</i>	0
<i>Alchemilla vulgaris</i>	6	<i>Leucanthemopsis alpina</i>	1
<i>Arnica montana</i>	1	<i>Leucanthemum vulgare</i>	0
<i>Carum carvi</i>	5	<i>Ligusticum mutellina</i>	7
<i>Chenopodium bonus-henricus</i>	2	<i>Polygonum bistorta</i>	5
<i>Gentiana kochiana</i>	1	<i>Potentilla aurea</i>	5
<i>Gentiana punctata</i>	1	<i>Rumex acetosa</i>	4
<i>Hieracium pilosella</i>	2	<i>Rumex alpinus</i>	2
<i>Homogyne alpina</i>	1	<i>Taraxacum officinale</i>	5

Il contrastante andamento della produzione e dei parametri nutritivi rende problematica l'individuazione del momento ottimale di carico del pascolo, obbligando ad un compromesso tra l'esigenza di massimizzare il rendimento quantitativo e quella di conservare una buona qualità del foraggio (Gusmeroli et al., 2005). Un elemento decisivo nel fissare il momento ottimale di utilizzazione è l'ingestibilità del foraggio. L'insufficiente ingestione di erba è stata identificata come il principale fattore limitante per la produzione di latte al pascolo, sia in pascoli di montagna ma anche nelle migliori situazioni di pianura (Kolver e Muller, 1998; Leaver, 1985). A parità di altri fattori, l'ingestione volontaria della vacca è infatti regolata dalla digeribilità dell'erba consumata (Freer, 1981). Hodgson (Hodgson, 1977) ha elaborato una correlazione positiva e lineare tra ingestione di erba e digeribilità, fino a valori di quest'ultima pari all'80%. Le vegetazioni di alta quota sono infatti caratterizzate da un rapido e progressivo aumento delle frazioni fibrose e dalla diminuzione della

digeribilità della sostanza organica e del tenore di proteine. La crescita della componente fibrosa dell'erba del pascolo, unita alla sua progressiva lignificazione, determina una significativa riduzione della digeribilità della sostanza secca, della proteina e delle pareti cellulari (Tabella 3). Parallelamente aumenta il tempo di permanenza dell'alimento a livello ruminale, a causa del suo maggiore ingombro, e da ciò deriva la minore ingestione e la conseguente penalizzazione dell'animale nell'obiettivo di una piena copertura dei propri fabbisogni (Bovolenta et al., 2005). Il corretto periodo di monticazione si colloca quindi prima, o in prossimità, del raggiungimento del picco della produzione primaria netta espressa come energia netta (Gusmeroli et al., 2005) o del raggiungimento dell'altezza o dello stadio fenologico che corrisponde al punto nel ciclo delle sostanze di riserva dove queste sono ai livelli massimi (Rayburn, 1993). Nella pratica questi concetti possono essere individuati osservando la fenologia o l'altezza dell'erba. Ernst Klapp (Klapp, 1971, pag. 440 - 441) individua infatti il corretto periodo di monticazione quando l'altezza dell'erba si colloca tra i 18 e i 28 cm, oppure quando le graminacee si trovano in fase di levata. Più il periodo di monticazione sarà anticipato, migliori saranno il valore nutritivo e l'appetibilità del foraggio, a scapito della sostanza secca ed energia offerte per unità di superficie. Naturalmente, dato che la razione è composta esclusivamente o in larga misura dal pascolo, non è opportuno anticipare troppo l'utilizzo poiché si avrebbero eccessivi squilibri nei rapporti tra i nutrienti ingeriti dagli animali (eccesso proteico e carenza di fibra, ma anche squilibri minerali) e l'utilizzo precoce di erba produrrebbe danni non indifferenti alla cotica e alla vegetazione (Klapp, 1971, pag. 440 - 441). La flessibilità della scelta è in linea generale superiore nelle cenosi di bassa quota, dove lo sviluppo primaverile delle piante è più graduale e la fase di picco produttivo è assai più appiattita e prolungata. L'altitudine, comprimendo il ciclo vegetativo, obbliga ad una maggiore velocità di sviluppo e ad avere una maggiore prontezza nell'individuare il corretto periodo di monticazione (Gusmeroli et al., 2005). In ambienti alpino è quindi fondamentale individuare il periodo corretto di monticazione, sia per soddisfare i fabbisogni degli animali che per omogenizzare l'utilizzo del pascolo.

Tabella 3: effetto del momento di inizio del pascolamento sulla composizione chimica e sulla digeribilità dell'erba di un pascolo alpino (Bovolenta et al., 2005).

	Inizio del pascolamento		
	Fine giugno	Fine luglio	Fine agosto
Composizione chimica:			
Sostanza secca, %	24,4 ^a	36,3 ^b	48,8 ^c
Proteina grezza, % ss	16,3 ^b	9,6 ^a	9,9 ^b
NDF, % ss	60,1 ^a	72,5 ^b	73,5 ^b
Lignina, % ss	5,4 ^a	8,2 ^b	9,1 ^b
Digeribilità:			
Sostanza secca, %	68,6 ^b	56,0 ^a	55,7 ^a
Proteina grezza, %	77,4 ^b	58,0 ^a	49,1 ^a
NDF, %	70,5 ^b	55,2 ^a	57,9 ^a

^{A,B} = P<0,01; a,b,c: P<0,05

1.4 Il telerilevamento e suo utilizzo per l'analisi della vegetazione

Il telerilevamento è la disciplina scientifica che permette di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, su oggetti posti a distanza e sull'ambiente circostante sulla base di misure di energia elettromagnetica, emessa, riflessa o trasmessa, che interagisce con le superfici di interesse (Brivio et al., 2006, pag. 8). Lillesand (Lillesand et al., 2015, pag. 1, traduzione mia) lo definisce come un'acquisizione di informazioni riguardanti un oggetto, un'area o un fenomeno attraverso un dispositivo dotato di sensori che non sono a diretto contatto con l'oggetto di analisi. Questi sensori possono essere posti su diversi sistemi di trasporto, tra cui droni ed aeromobili, ma lo strumento per eccellenza in questo campo sono i satelliti. Il telerilevamento studia gli oggetti sfruttando il modo differente che hanno i materiali di emettere, diffondere, assorbire, ma principalmente riflettere la luce e l'energia delle onde elettromagnetiche (Brivio et al., 2006). Il processo di interpretazione di oggetti in funzione di come riflettono la luce è una cosa che noi facciamo automaticamente con il senso della vista, che però è limitata ad una fascia molto piccola di radiazione elettromagnetica che corrisponde ai colori a noi visibili. I sensori del telerilevamento consentono di registrare lunghezze d'onda ben oltre quelle a noi percepibili, permettendoci di rilevare e analizzare oggetti e aspetti a noi invisibili ad occhio nudo (Brivio et al., 2006).

1.4.1 Luce e radiazione elettromagnetica

La luce è una radiazione elettromagnetica costituita da onde che, partendo da una sorgente, sono in grado di diffondersi in tutte le direzioni nello spazio in conformità con la teoria fisica di base delle

onde. La natura ondulatoria della luce è in accordo col fatto che presenta i fenomeni di riflessione, diffrazione e di interferenza. Qualsiasi materiale emette, ad ogni lunghezza d'onda, una certa quantità di energia elettromagnetica in funzione della sua temperatura. Infatti, secondo la legge di Planck e la legge di Stefan – Boltzmann, qualsiasi corpo o oggetto che abbia una temperatura emette energia elettromagnetica ad una certa lunghezza d'onda (Lillesand et al., 2015, pag. 4 - 9). Le immagini e le fotografie che noi scattiamo, vediamo e utilizziamo per l'analisi del territorio sono quindi costituite da energia elettromagnetica emessa o riflessa da un corpo ad una determinata lunghezza d'onda (Brivio et al., 2006).

1.4.2 L'immagine digitale

Le immagini satellitari sono registrazioni di energia elettromagnetica che arriva ai sensori sia perché riflessa sia perché emessa dall'oggetto stesso. L'energia elettromagnetica in arrivo al sensore viene infatti tradotta in numeri e valori che vengono registrati in una memoria. Ogni valore corrisponde ad una parte dell'area della superficie terrestre ripresa dal sensore e viene associata ad un pixel dell'immagine finale. Il sensore è solitamente composto da una serie di parti elementari, denominate Charged Coupled Device (CCD), che riescono a recepire l'energia elettromagnetica solo in una piccola finestra dello spettro elettromagnetico. Il range di lunghezze d'onda alla quale il CCD riesce a recepire l'energia elettromagnetica viene denominato "Banda". Per riuscire ad avere la maggior quantità di informazioni lungo tutto lo spettro, un sensore è formato da una serie di CCD che registrano lunghezze d'onda di bande differenti (Brivio et al., 2006). Ogni tipo di satellite ha sensori differenti tra loro, ciascuno formato da una serie differente di CCD, che riescono quindi a captare diversi range di lunghezze d'onda posti in diverse "posizioni" dello spettro elettromagnetico (figura 14) (Brivio et al., 2006).

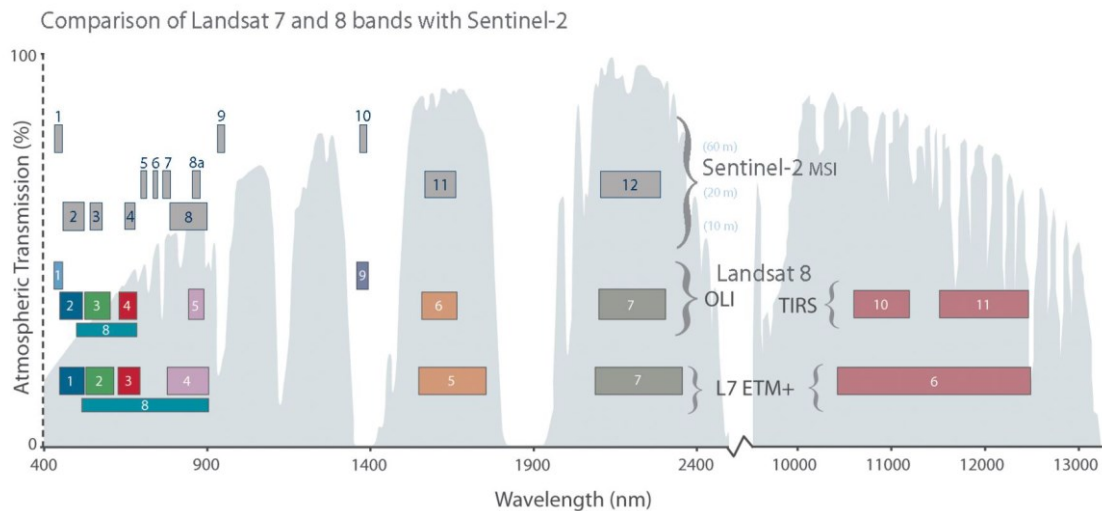


Figura 14: Bande dello spettro elettromagnetico dove risiede la sensibilità delle bande nei seguenti sensori: ETM+ della missione Landsat 7, OLI+TIRS della missione Landsat 8 e MSI della missione Sentinel-2. Nello sfondo in grigio viene rappresentato il valore di trasmittanza delle diverse lunghezze d'onda attraversando l'atmosfera (Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2015).

1.4.3 Gli indici vegetazionali

Sono indici ottenuti con operazioni matematiche che mettono in relazione tra loro le bande secondo particolari funzioni e i cui risultati vengono espressi in valori numerici. I valori degli indici sono fortemente legati a particolari caratteristiche o fenomeni di tipo ambientale e vegetazionale che si vogliono studiare. Il valore numerico può essere correlato direttamente o inversamente ad un certo fenomeno. Gli indici più utilizzati in ambito forestale sono quelli che sfruttano la differente risposta spettrale al variare delle condizioni e delle caratteristiche dell'oggetto stesso (figura 15 e 16) (Brivio et al., 2006)

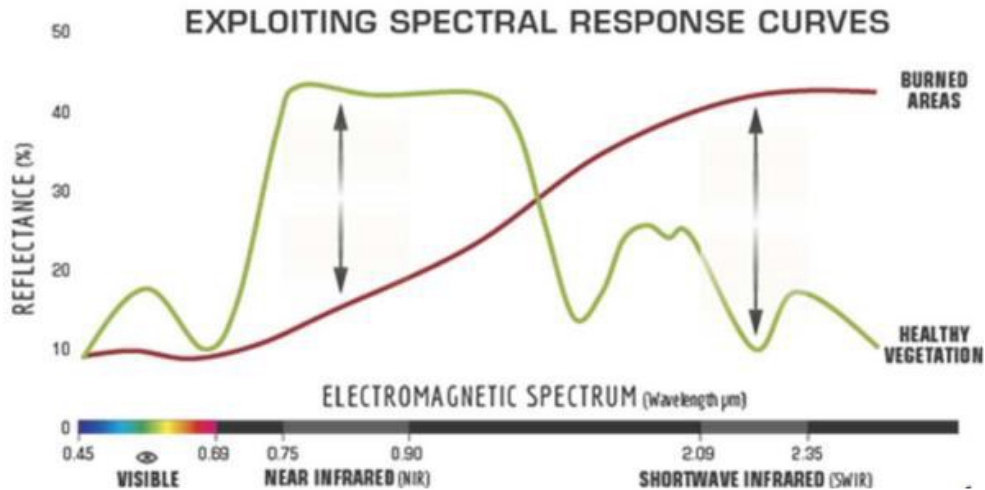


Figura 15: Esempio di indice che sfrutta le diverse risposte spettrali tra la vegetazione sana e quella bruciata. L’NBR (Normalized Burn Ratio), indici che individua le aree bruciate e la loro severità, sfrutta le bande dove la differenza di riflettanza tra le due situazioni è molto elevata (Takayama, 2018).

Le caratteristiche che definiscono un buon indice vegetazionale sono le seguenti:

- Massimizzare la sensibilità alle variazioni dell’oggetto. Maggiore è la sensibilità e più facile sarà evidenziare i cambiamenti anche minimali;
- Normalizzare o ridurre gli effetti dovuti all’angolo di irraggiamento del sole. La morfologia di ambienti alpini e prealpini fa sì che la luce non arrivi in modo omogeneo su tutte le superfici, creando nei casi più estremi anche delle aree di ombra. Due indici ricavati dall’analisi della stessa superficie, ma da due immagini prese in momenti differenti, non avranno lo stesso valore. È necessario quindi normalizzare gli indici vegetazionali per renderli paragonabili tra loro;
- Essere correlato a fenomeni specifici e misurabili.

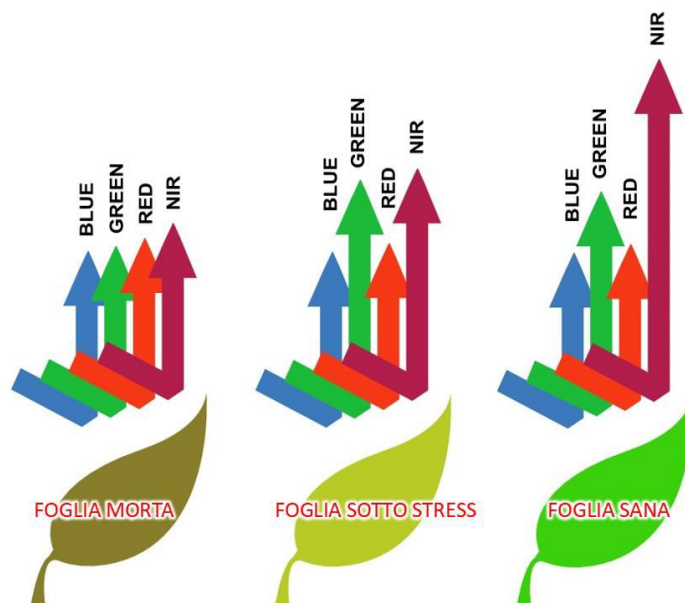


Figura 16: Confronto schematico tra foglie sotto stress, morte e sane con riflettanza colori VIS e NIR (Mahajan, 2016).

1.4.4 L'indice NDMI

Il "Normalized difference moisture index" (NDMI) è un indice vegetazionale altamente correlato con il contenuto di acqua presente all'interno delle piante (Hardisky et al., 1983) e si calcola come il rapporto tra la differenza e la somma delle radiazioni riflesse nel vicino infrarosso e nello SWIR (Equazione 1). Anche Gao (Gao, 1996) ha mostrato, tramite esami di laboratorio, come l'indice NDMI sia sensibile a diversi livelli di spessore dell'acqua (figura 17) e di conseguenza come sia sensibile alla variazione di contenuto di acqua all'interno della vegetazione.

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (1)$$

Gao (Gao, 1996) ha inoltre dimostrato l'influenza della biomassa e delle condizioni di umidità del suolo sull'NDMI. Esso reagisce positivamente all'aumentare del LAI (Leaf area Index), crescendo quindi all'aumentare del numero di strati fogliari presenti (figura 18). Questo significa che l'NDMI è sensibile all'ammontare di acqua contenuta in tutta la vegetazione e quindi anche alla biomassa dell'erba presente in un determinato prato o pascolo. L'influenza dell'acqua contenuta nel suolo è, al contrario, molto meno influente. In figura 19 possiamo vedere come in un suolo dotato di stessa copertura vegetale, i valori di NDMI cambino minimamente da una condizione di suolo umido ad una condizione di suolo secco. Per questo oltre alla presenza di acqua nelle piante, l'NDMI è inoltre significativamente correlato anche alla quantità di superficie coperta da vegetazione. Un terreno con

copertura vegetale al 100% avrà un NDMI sensibilmente più alto rispetto ad un terreno con copertura vegetale al 50%. L'NDMI è inoltre meno sensibile al disturbo atmosferico rispetto all'indice NDVI (Gao, 1996). In maniera pratica è possibile quindi raggruppare i valori di NDMI (da -1 a 1) in classi che descrivono lo stato della copertura vegetale e del quantitativo di acqua presente all'interno delle piante (Tabella 4).

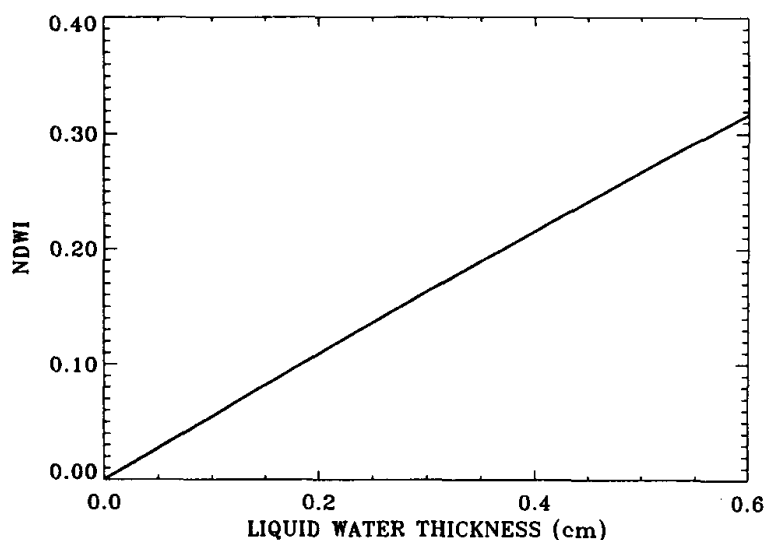


Figura 17: Sensibilità dell'NDMI allo spessore dell'acqua. Sull'asse delle ascisse sono indicati i valori di NDWI, questo perché l'indice NDMI attuale corrisponde all'indice NDWI di Gao (Gao, 1996).

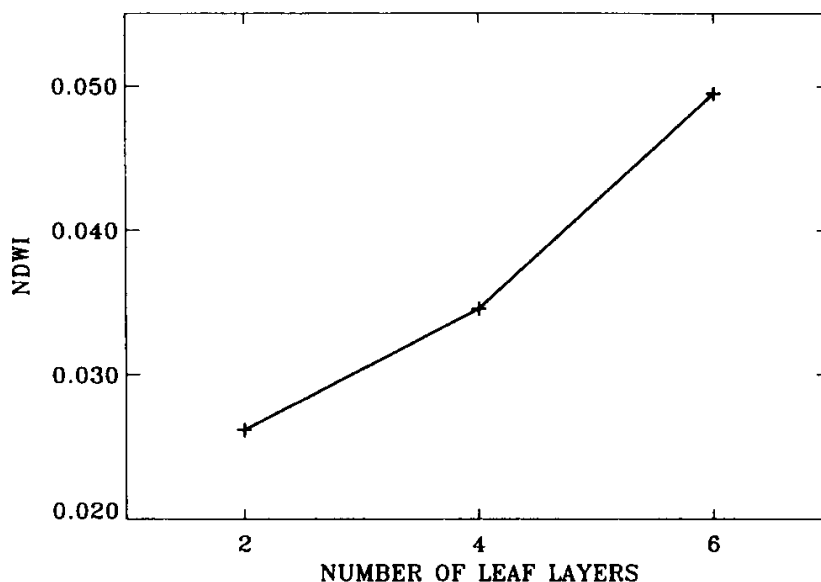


Figura 18: Valori di NDMI al variare del numero di strati fogliari. Si può vedere come all'aumentare del numero di strati fogliari il valore di NDMI aumenta. Sull'asse delle ascisse sono indicati i valori di NDWI, questo perché l'indice NDMI attuale corrisponde all'indice NDWI di Gao (Gao, 1996).

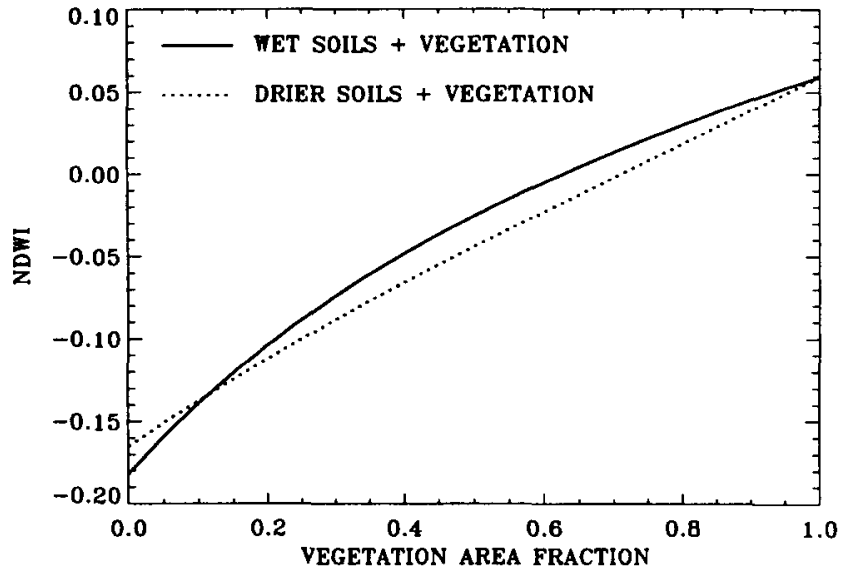


Figura 19: Differenza di valori di NDMI esistente tra due superfici coperte da vegetazione, una avente un suolo bagnato (linea continua) e una avente un suolo secco (linea punteggiata). Sull'asse delle ascisse sono indicati i valori di NDWI, questo perché l'indice NDMI attuale corrisponde all'indice NDWI di Gao (Gao, 1996).

Tabella 4: interpretazione pratica dell'indice NDMI in aree coltivate (Antognelli, 2018).

NDMI	INTERPRETAZIONE
Fra -1 e -0.8	Suolo nudo
Fra -0.8 e -0.6	Copertura vegetale quasi assente
Fra -0.6 e -0.4	Copertura vegetale molto bassa
Fra -0.4 e -0.2	Copertura vegetale bassa con stress idrico alto o copertura vegetale molto bassa con stress idrico basso
Fra -0.2 e 0	Copertura vegetale medio-bassa con stress idrico alto o copertura vegetale bassa con stress idrico basso
Fra 0 e 0.2	Copertura vegetale media con stress idrico alto o copertura vegetale medio-bassa con stress idrico basso
Fra 0.2 e 0.4	Copertura vegetale medio-alta con stress idrico alto o copertura vegetale media con stress idrico basso
Fra 0.4 – 0.6	Copertura vegetale alta e no stress idrico
Fra 0.6 – 0.8	Copertura vegetale molto alta e no stress idrico
Fra 0.8 – 1.0	Copertura vegetale totale e no stress idrico o ristagni o nuvole

1.4.5 L'indice NDVI e l'indice EVI

Il "Normalized Difference Vegetation Index", chiamato più comunemente NDVI, è un indice vegetazionale normalizzato che si calcola come il rapporto tra la differenza e la somma delle radiazioni riflesse dalla banda del rosso (RED) e dell'infrarosso vicino (NIR) (Equazione 2). Esse sono bande strettamente correlate e sensibili alle variazioni di copertura fogliare, al contenuto di clorofilla e di azoto nelle foglie (figura 20). L'NDVI può essere quindi utilizzato in aree con scarsa copertura vegetativa e riesce ad evidenziare bene le differenze di copertura tra due aree distinte. Esso perde però di sensibilità a moderati ed elevati livelli di copertura (Gamon et al., 1995).

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (2)$$

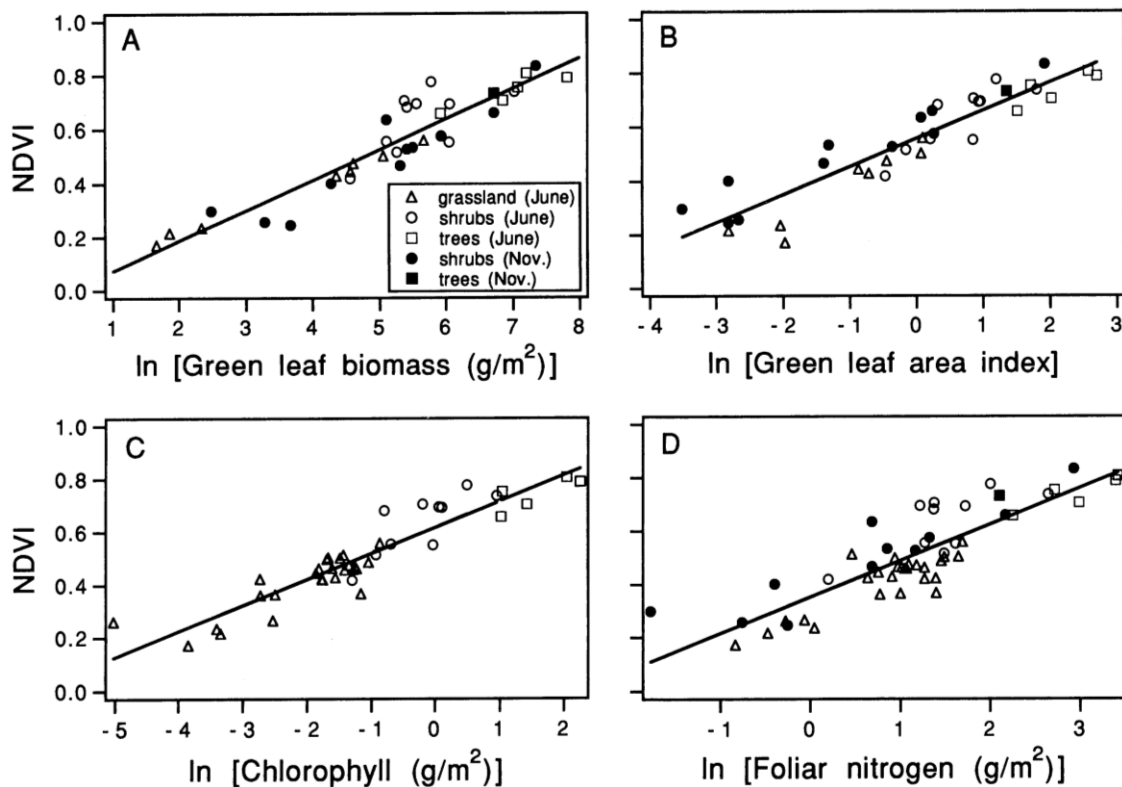


Figura 20: relazione tra l'NDVI e differenti parametri di copertura vegetazionale espressi in scala logaritmica (Gamon et al., 1995).

I valori dell'indice possono variare da -1,0 a 1,0, ma la vegetazione assume tipicamente dei valori compresi tra 0,1 e 0,8. Valori maggiori ma vicini a 0,2 indicano una vegetazione in buono stato di salute, mentre valori più elevati sono sempre associati a vegetazione sana ma con più elevati livelli di copertura. Oltre agli utilizzi già indicati, l'NDVI risulta essere un indice ben correlato anche alla biomassa aerea di un soprassuolo. Esso infatti viene utilizzato per stimare la biomassa vegetale tramite una semplice regressione utilizzabile con valori di NDVI minori di 0,7 (Equazione 3).

$$Biomassa = \frac{\ln(0,7-NDVI)+0,4207}{-0,003} \quad (3)$$

Esso risulta però influenzato anche da parametri non direttamente correlati alla vegetazione, ovvero la presenza di aerosol in atmosfera e la luminosità del suolo. Per eliminare queste interferenze sull'NDVI i ricercatori hanno costruito un altro indice insensibile a queste dinamiche ed efficace in aree con elevata copertura: l'indice EVI (Xue e Su, 2017). L' "Enhanced Vegetation Index" è un indice strutturato per risolvere le difficoltà connesse all'uso dell'indice NDVI. Esso è il risultato di una serie di ricerche che hanno portato a testare diversi indici modificati di NDVI in grado di diminuire gli errori provocati dal suolo e dall'atmosfera. Alcuni esempi di questi indici sono il "Soil Adjusted Vegetation

Index” (SAVI), il “Modified Soil Adjusted Vegetation Index” (MSAVI), il “Atmospherically Resistant Vegetation Index” (ARVI) e il “Soil Adjusted and Atmospherically Resistant Vegetation Index” (SARVI) (Liu e Huete, 1995). In condizioni topografiche piane con elevata presenza di biomassa, l’EVI risulta essere un indice meglio strutturato e più performante dell’NDVI, in quanto riduce gli errori e satura a livelli più elevati di biomassa (Orusa et al., 2023). In aree montane però, dove il suolo non risulta omogeneamente illuminato a causa delle diverse esposizioni dei versanti, l’EVI perde la sua efficacia in quanto la sua formula non risulta normalizzata per la presenza di coefficienti di correzione (Equazione 4). L’NDVI al contrario presenta una formula normalizzata che permette di eliminare l’effetto topografico (Equazione 2) (Matsushita et al., 2007). L’intervallo di valori per l’EVI è compreso tra -1 e 1, dove la vegetazione sana è generalmente compresa tra i valori di 0.20 - 0.80.

$$EVI = 2,5 * \frac{NIR-RED}{(NIR+6 RED-7,5BLUE)+1} \quad (4)$$

1.5 Obiettivi dello studio

Gli obiettivi principali di questo studio si possono quindi suddividere in:

- Caratterizzazione dell’andamento fenologico delle specie principali dei pascoli considerati;
- Individuazione dell’epoca ottimale di inizio pascolamento attraverso l’analisi dello sviluppo fenologico primaverile delle graminacee;
- Caratterizzazione dell’andamento dell’altezza dell’erba durante lo sviluppo fenologico primaverile;
- Individuazione della relazione tra stadio fenologico delle graminacee, altezza dell’erba e indici vegetazionali calcolati a partire da immagini satellitari multispettrali;
- Analisi delle tecniche più efficaci per il rilievo da remoto della lunghezza della stagione vegetativa in ambienti alpini.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Introduzione alle analisi

Lo studio si è svolto secondo lo schema di seguito descritto.

Al fine di raggiungere gli obiettivi preposti si sono raccolti due tipi di dati:

- Dati provenienti da analisi di campo compiute su aree campione in tre malghe poste a quote diverse. Le analisi hanno riguardato la misura dell'altezza dell'erba e il riconoscimento dello stadio fenologico per ogni specie a diverse date;
- Dati provenienti da analisi di immagini satellitari multispettrali per le stesse aree campione analizzate in campo.

Sulla base dei dati del primo tipo sono stati descritti gli andamenti dell'altezza dell'erba e delle fasi fenologiche in relazione alle date e ai valori di somma termica, calcolati a partire dai valori di temperatura rilevati in stazioni meteo poste a diverse quote. Le informazioni ricavate da immagini satellitari multispettrali sono state impiegate per calcolare i valori di indici vegetazionali da mettere in relazione con l'altezza dell'erba e con lo stadio di levata delle graminacee dominanti, considerato lo stadio fenologico di riferimento per l'inizio del pascolamento. Inoltre, le immagini satellitari sono state usate per individuare le date di inizio e fine ciclo vegetativo, tramite i metodi "Land Cover Dynamics (MCD12Q2)" e "Orusa", reperiti in bibliografia.

I dati raccolti ed esposti in questa tesi fanno riferimento al primo anno di analisi (2023). È già in corso la ripetizione della raccolta dati di campo per il 2024, importante per confermare la validità dei risultati ottenuti.

2.2 Analisi di campo

Per lo studio sono state individuate 18 aree di saggio di forma regolare con dimensione di 10x10 metri, distribuite in pari numero su tre malghe localizzate nel comune di Foza e poste a differenti quote:

- Malga Sasso Rosso ad un'altitudine media di 1174 m s.l.m.;
- Malga Zomo ad un'altitudine media di 1433 m s.l.m.;

- Malga Melette di Foza ad un'altitudine media di 1699 m s.l.m..

La distribuzione delle aree di saggio è stata eseguita in modo che per ogni malga tre punti fossero collocati su zone ad elevata fertilità e gli altri tre su zone a bassa fertilità (figura 21). Per questo è stata necessaria una preventiva identificazione delle aree di saggio tramite l'utilizzo del software QGIS e l'osservazione di immagini satellitari. Dopo aver preventivamente inserito i punti su aree ritenute idonee, è stato effettuato un controllo sul campo per confermare tale valutazione e il loro posizionamento.



Figura 21: inquadramento delle 18 aree di saggio analizzate. I punti rossi rappresentano le aree di saggio posizionate in stazioni fertili, mentre i punti blu rappresentano aree di saggio posizionate in stazioni magre.

A partire dal 25 maggio fino al 23 luglio, ogni circa 5 giorni, le 18 aree di saggio sono state visitate per eseguire un rilievo floristico, un rilievo fenologico e la misura dell'altezza dell'erba. In primo luogo si sono riconosciute visivamente tutte le specie presenti tramite la consultazione di materiale opportuno, come chiavi dicotomiche e manuali sulle specie prative (Dalla Fior, 1969; Dietl et al., 2005), e per ognuna di esse è stato assegnato uno stadio fenologico secondo la scala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry (BBCH). Essa individua dieci stadi fenologici (tabella 5) che partono dallo stadio 0, in cui la pianta è in dormienza, fino allo stadio 9, che corrisponde alla caduta del frutto. L'altezza dell'erba è stata misurata tramite l'utilizzo dell'erbometro (figura 22), strumento di origine svizzera composto da un'asta graduata e un disco in polistirolo, i

quali misurano il valore di altezza in funzione dell'altezza stessa dell'erba, ma anche della sua densità. Sono state effettuate quattro misure per ogni area di saggio.

Tabella 5: tabella di campo utilizzata per la classificazione fenologica delle specie prative. Essa è stata costruita secondo le indicazioni della scala BBCH (Meier, 2018).

GRAMINACEE		ALTRE SPECIE	
Stadio	BBCH Principal growth stage	Stadio	BBCH Principal growth stage
pianta in dormienza	0	pianta in dormienza	0
inizio vegetazione (prime foglie formate)	1	inizio vegetazione (prime foglie formate)	1
accestimento	2	formazione di getti laterali	2
levata	3	fusto in allungamento o rosetta in formazione (da inizio alla fine)	3
sviluppo delle parti vegetative della pianta (da guaina della foglia più alta in estensione fino a visibilità della spighetta più alta)	4	sviluppo delle parti vegetative della pianta	4
spigatura (dall'inizio fino alla spiga completamente visibile)	5	da bottone florale a visibilità dei primi petali	5
fioritura (dall'inizio fino alla fine della fioritura)	6	fioritura (da inizio a fine)	6
cariosside latte o cerosa (da ovario a dimensione finale ma con consistenza al massimo cerosa)	7	frutto in sviluppo	7
cariosside matura (dimensione finale e consistenza dura)	8	frutto maturo	8
cariosside caduta	9	frutto caduto	9
fine vegetazione	9	fine vegetazione	9



Figura 22: immagine raffigurante l'erbometro, strumento utile alla misura dell'altezza e della produttività dell'erba.

Anche se si è sempre cercato di rispettare rigorosamente la cadenza periodica stabilita per le analisi, la data esatta di rilievo è stata talvolta modificata in relazione alle condizioni meteorologiche. Infatti,

la presenza di nuvole crea uno strato di umidità che non permette al satellite di rilevare correttamente il suolo, impedendo così il calcolo corretto degli indici vegetazionali. La cadenza dei rilievi è stata quindi condizionata da questi fattori che, in alcune uscite, hanno determinato la necessità di traslare la data di rilevamento di qualche giornata.

Per quanto riguarda le graminacee si sono stimati alcuni stadi fenologici precedenti alla data di inizio dei rilievi. Questo si è reso necessario in quanto per il raggiungimento dell'obiettivo è fondamentale la conoscenza delle fasi fenologiche iniziali, in particolare dello stadio di levata (codice BBCH: 3), che sono risultate parzialmente o interamente mancanti per alcune specie nelle date di analisi. Per la stima dei dati mancanti si sono dunque correlati gli stadi fenologici con le somme termiche ricavate dalle misure giornaliere delle stazioni meteo disposte a differenti quote. La somma termica equivale alla somma dei gradi giornalmente utili alla crescita della vegetazione. Essa viene calcolata come somma delle temperature medie giornaliere registrate nel periodo precedente il giorno di calcolo della somma termica. Bisogna però tenere conto della temperatura al di sotto della quale la vegetazione non accresce. Questa temperatura viene indicata come "zero di vegetazione", che nel caso delle praterie temperate corrisponde a 0 gradi centigradi. Parimenti viene indicato come "massimo di vegetazione" la temperatura al di sopra della quale la crescita delle piante si arresta. Nelle praterie temperate questa viene fatta corrispondere a 40 gradi centigradi. Nel caso in cui la temperatura massima o minima superassero lo zero di vegetazione o il massimo di vegetazione, verrebbero prese in considerazione queste soglie per il calcolo della somma termica (figura 23).

$$GDD = \sum_{\text{giorni}} (T_m - T_z)$$

Figura 23: Equazione per il calcolo della somma termica (a sinistra) e rappresentazione del concetto di gradi utili di temperatura (a destra).

Per individuare la temperatura massima e minima presente nelle 18 aree di saggio è stata utilizzata una relazione lineare tra quota e temperatura. Essa viene calcolata utilizzando i valori di temperatura di stazioni meteo vicine all'area di studio disponibili dal database della regione Veneto (tabella 6).

Tabella 6: elenco delle stazioni utilizzate per ricavare i dati di temperatura.

Stazione	Comune	Coordinata X (EPGS: 4258)	Coordinata Y (EPGS: 4258)	Quota (m.s.l.m)
Asiago - aeroporto	Asiago (VI)	11,51100804	45,88342502	1016
Lusiana	Lusiana - Conco (VI)	11,58812049	45,78414598	767
Crosara	Marostica (VI)	11,61748000	45,77436100	429
Breganze	Breganze (VI)	11,57629665	45,72042777	196
Bassano del Grappa	Bassano del Grappa (VI)	11,73017735	45,78504906	127
Dolina Campoluzzo (Monte Lozze)	Asiago (VI)	11,51869973	45,99327673	1768
Valpore (Seren del Grappa)	Seren del Grappa (BL)	11,80606051	45,89728311	1271
Monte Avena	Pedavena (BL)	11,82713557	46,03210396	1415
Passo Valles	Falcade (BL)	11,80160227	46,33914263	2042
Passo Pordoi	Livinallongo del Col di Lana (BL)	11,82249512	46,48343791	2154
Passo Falzarego	Cortina d'Ampezzo (BL)	12,00683651	46,51873107	2090

Per ogni area di saggio la somma termica è stata calcolata a partire dalla data di scomparsa della neve, in cui la temperatura media giornaliera fosse uguale o maggiore di 5°C. Per individuare il giorno di scomparsa della neve si è utilizzato il software della provincia autonoma di Trento (PAT) denominato CRIOPAT (Santoni e Bruzzone, 2019). Esso riesce, tramite l'utilizzo di immagini satellitari "Sentinel" e "Modis", a raffigurare giornalmente quali porzioni di territorio sono coperti da neve, quali siano coperte da nuvole e in quali aree invece non sia presente né copertura nevosa né nuvolosa. Il software lavora analizzando l'immagine tramite due metodologie (Bruzzone et al., 2014):

- L'utilizzo dell'indice NDSI (Normalized Difference Snow Index), utile per classificare il territorio in classe "Neve" e "Nuvole", e dell'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), utile per differenziare le classi "Neve" e "Non neve";
- Creando dei set di campione "training", utili per allenare il software a distinguere le 3 classi in condizioni di luce differente. Questo si rende necessario per aree come quelle alpine, dove le montagne e la topografia irregolare comportano la presenza di varie zone d'ombra.

Queste due tecniche combinate hanno portato ad un'accuratezza media di classificazione superiore al 92% (Bruzzone et al., 2014). Il programma è stato creato per analizzare solo l'area circoscritta

all'interno del territorio della PAT, ma è possibile ricevere informazioni anche per aree confinanti (figura 24).

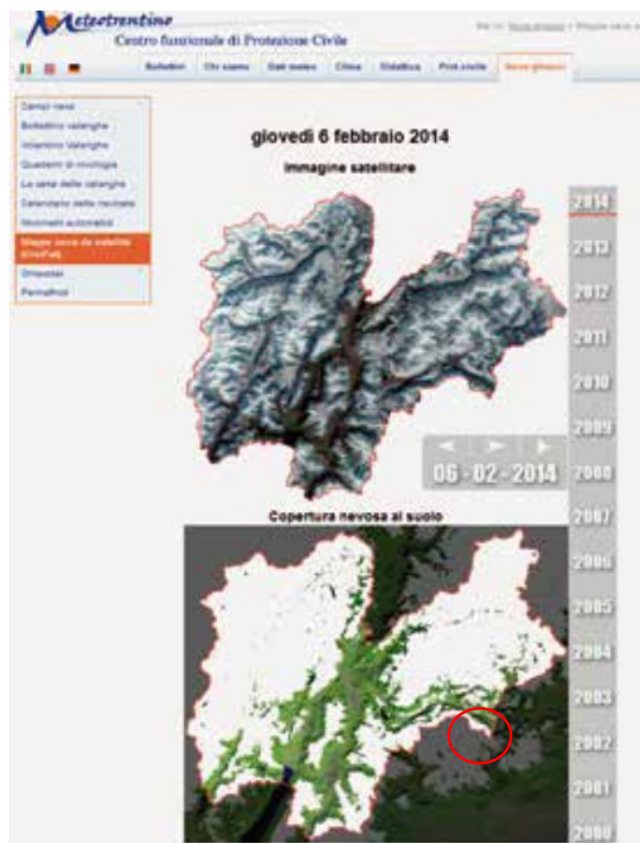


Figura 24: interfaccia web accessibile dal software CRIOPAT. Il cerchio rosso contiene l'area di studio analizzata (Bruzzone et al., 2014, modificato)

Partendo da questi risultati è stato possibile mettere in relazione lineare le somme termiche con gli stadi fenologici misurati in campo. In questo modo per ogni specie erbacea si sono ottenuti i valori di somma termica corrispondenti ad ogni stadio fenologico.

2.3 Analisi digitali: utilizzo del telerilevamento e di dati meteorologici per analisi fenologiche

La seconda fase delle analisi consiste nel ricavare informazioni fenologiche del territorio tramite l'utilizzo di dati usufruibili da remoto. Sono quindi state prese in considerazione due tipologie di sorgenti di informazione: le immagini satellitari ottenute dal satellite "Sentinel-2" e i dati meteorologici ricavate dalle stazioni meteo di "ARPAV". Questi dati sono facilmente reperibili e correlabili con la fenologia. Dalle immagini digitali è infatti possibile ricavare gli indici vegetazionali,

ovvero indici calcolati a partire dai valori delle bande ottiche, le quali sono in relazione con particolari caratteristiche vegetazionali. Dalle stazioni metereologiche è invece possibile ricavare gli andamenti della temperatura, la quale risulta essere il fattore climatico maggiormente correlato con la fenologia della vegetazione.

2.3.1 Indici vegetazionali e crescita dell'erba

Obiettivo di questa parte dello studio era di individuare quale indice vegetazionale fosse in relazione più stretta con gli andamenti della fenologia e dell'altezza dell'erba. Essendo noto che gli indici vegetazionali hanno il difetto di saturare prima del raggiungimento del massimo di crescita della vegetazione, l'indice migliore era quello che raggiungeva il suo massimo il più vicino possibile all'epoca in cui l'erba stessa era alla sua massima altezza, producendo così una relazione con il tempo paragonabile all'andamento dell'altezza dell'erba (una fase di crescita seguita da una di decrescita) (figura 25). Per le 18 aree di saggio nelle date disponibili nel 2023, gli indici vegetazionali sono stati calcolati a partire dai valori delle bande satellitari rilevati da "Sentinel 2". Tali valori sono stati scaricati dal database di "Google Earth Engine" (GEE) utilizzando un apposito script. Lo script si compone di quattro fasi:

- Input delle coordinate dei punti delle aree di saggio 10 x 10 m;
- Applicazione di una funzione che maschera ed esclude i pixel coperti da nuvole;
- Applicazione di una funzione utile ad estrarre i valori di banda delle aree di saggio per tutte le date delle foto satellitari disponibili;
- Output dei risultati su un foglio Excel.

Sulla base dei valori delle bande sono stati calcolati i valori di numerosi indici selezionando quello che nelle 18 aree di saggio saturava più tardivamente. La scelta è stata effettuata tra il "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI), "Normalized Difference Greenness Index" (NDGI), "Enhanced Vegetation Index" (EVI), "Normalized Difference Moisture Index" (NDMI), "Regional Economic Capacity Index" (RECI) e il Chlorophyll Index (CI). Si è quindi ottenuto che l'indice più efficiente è l'NDMI (tabella 7).

Tabella 7: tabella riassuntiva della analisi per l'identificazione dell'indice vegetazionale più idoneo a rappresentare gli andamenti della fenologia e della crescita dell'erba. Per ogni indice è stato identificato il numero di aree di saggio in cui satura in un momento prossimo all'epoca di massimo sviluppo dell'erba.

Informazioni generali		Indici vegetazionali			
Malga	Codice ADS	NDGI	EVI	NDMI	RECI
Sasso Rosso	1-3	2	3	3	2
Sasso Rosso	4-6	1	0	1	3
Zomo	7-9	2	2	3	1
Zomo	10-12	2	2	3	3
Melette di Foza	13-15	2	2	3	0
Melette di Foza	16-18	1	0	2	2
Sasso Rosso	1-6	3	3	4	5
Zomo	7-12	4	4	6	4
Melette di Foza	13-18	3	2	5	2
Totale idoneità		10	9	15	11

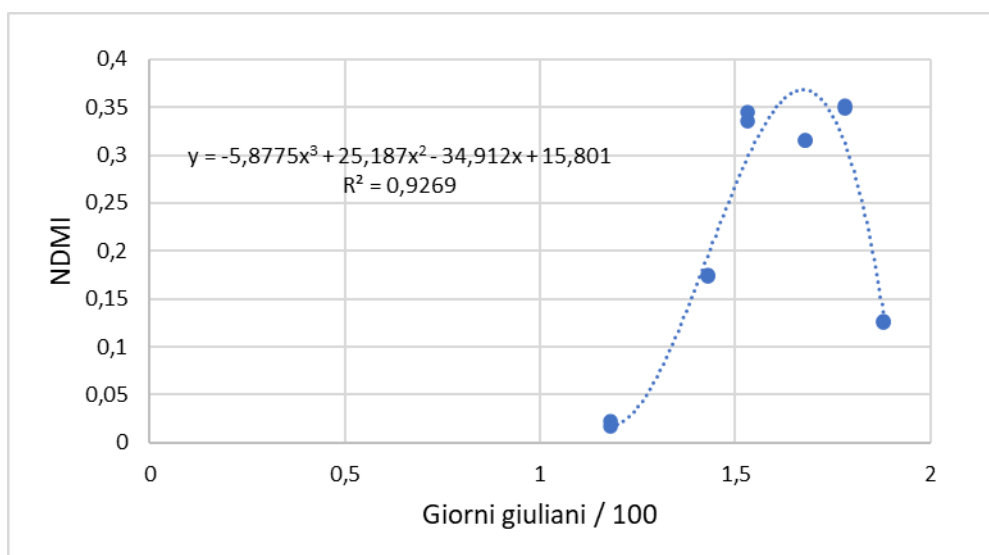


Figura 25: Variazione di valori dell'indice NDMI durante la stagione estiva, rilevati nell'area di saggio 6.

2.3.2 Tecniche per l'individuazione dell'inizio e della fine della stagione vegetativa

Al fine di ricavare delle informazioni da remoto sull'inizio, la fine e la durata della stagione vegetativa si sono prese in considerazione tre diverse tecniche di analisi, due delle quali basate sull'approccio satellitare, le quali utilizzano come dati di base le immagini multispettrali, e una basata sull'approccio climatologico, la quale utilizza gli andamenti dei valori di temperatura nel tempo. Queste tecniche sono:

ETCCDI Climate index

Si tratta di una serie di indici stilati dalla “World meteorological organization”, dall’UNESCO e dall’International Science Council, i quali collaborano insieme per il Word Climate Research Programme (WCRP), programma atto a coordinare a livello mondiale la ricerca scientifica sui cambiamenti climatici. Ad ogni indice viene attribuita una definizione molto specifica ma al contempo molto semplice da utilizzare. Il calcolo degli indici si basa su operazioni matematiche o soglie di temperatura e piovosità al di sotto od oltre la quali si verifica un determinato evento. Per conseguire l’obiettivo di questa ricerca è stato utilizzato l’indice GSL (Growing Season Length). Esso definisce l’inizio (Start of the season, SOS), la fine (End of the season, EOS) e la durata della stagione vegetativa (Length of the season, LOS) usando come base valori di temperatura giornalieri. L’inizio della stagione vegetativa avviene nel primo arco della stagione dove per 6 giorni continui la temperatura media giornaliera è superiore a 5 °C, mentre la fine della stagione vegetativa corrisponde al primo arco successivo al primo luglio dove per 6 giorni contigui la temperatura media giornaliera è inferiore a 5 °C. La lunghezza del periodo vegetativo viene calcolata di conseguenza come la differenza tra la data di fine e di inizio stagione vegetativa (Karl et al., 1999).

Metriche fenologiche MODIS Land Cover Dynamics (MCD12Q2)

Il MODIS Land Cover Dynamics (MCD12Q2) è un algoritmo che permette di mappare parametri fenologici sull’intera superficie del globo con una risoluzione spaziale di 500 metri e una risoluzione temporale di 1 anno (Gray et al., 2019). Questo permette, tramite l’analisi degli andamenti dell’indice EVI2 (Enhanced Vegetation Index 2), di individuare le date alle quali si verificano diverse fasi fenologiche. La tecnica si suddivide in due fasi:

Individuazione dei validi cicli vegetativi

Nella prima fase del calcolo l’algoritmo indentifica i cicli vegetativi presenti durante l’anno, i quali corrispondono ai periodi in cui vi è una sostanziale crescita dell’indice EVI2 fino al raggiungimento di un picco, seguita da una sostanziale decrescita (figura 26). Questi vengono sottoposti ad un processo di validazione per escludere quei cicli che non possono rappresentare un andamento fenologico reale. Vengono quindi presi in considerazione quelli che hanno un’ampiezza (ovvero la differenza tra il valore massimo di EVI2, che si presenta in corrispondenza del picco considerato, e il valore minimo di EVI2, che si verifica dopo il picco analizzato) uguale o maggiore di 0,1 o del 35% della differenza tra il valore massimo e minimo di EVI2 della serie temporale (Gray et al., 2019).

Estrazione dei dati fenologici

Validati i cicli fenologicamente rappresentativi, si possono individuare i parametri fenologici all'interno dell'anno. Gray (Gray et al., 2019) li classifica in:

- **Numero di cicli vegetativi**, determinati contando semplicemente il numero di picchi validati (figura 26);
- Per ciascun ciclo l'individuazione della data di inizio (**Greenup**), di raggiungimento della metà della crescita vegetazionale (**MidGreenup**) e di maturità (**Maturity**) corrispondenti alle date in cui EV2 oltrepassa rispettivamente il 15, il 50 e il 90% dell'ampiezza nel segmento crescente del picco (figura 27);
- Per ciascun ciclo l'individuazione della data di inizio della senescenza (**Senescence**), di raggiungimento della metà del periodo di senescenza (**MidGreendown**) e di fine del ciclo vegetativo (**Dormancy**) corrispondenti alle date in cui EV2 raggiunge rispettivamente il 90, il 50 e il 15% nel segmento decrescente del picco (figura 27).

Per una migliore analisi fenologica, nel periodo in cui all'interno dei pixel viene individuata la presenza di neve con un valore dell'indice NBAR-NDSI maggiore di "-0,2", questi verranno considerati nella fase di dormienza (Dormancy). Le date vengono espresse in giorni giuliani a partire dal 1° gennaio 1970 (Gray et al., 2019).

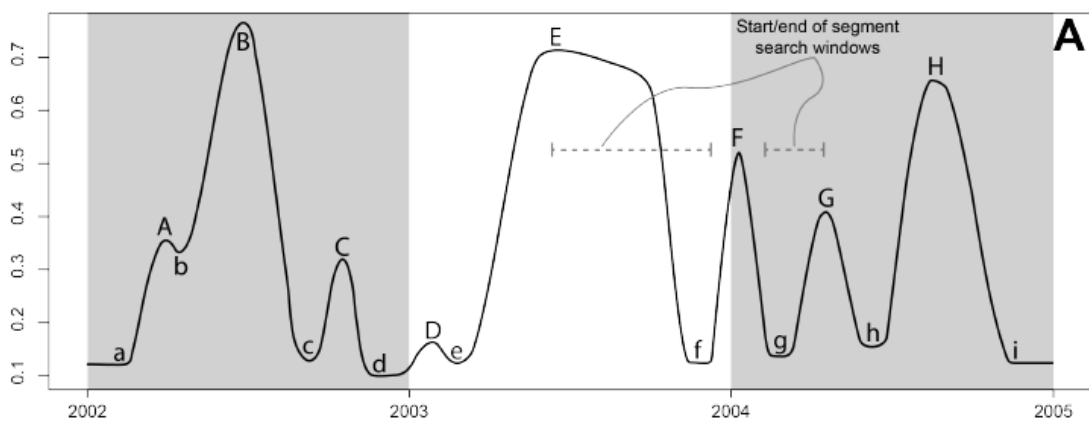


Figura 26: serie di picchi individuati dall' algoritmo risultanti dagli andamenti dell'EVI2 nel tempo (Gray et al., 2019).

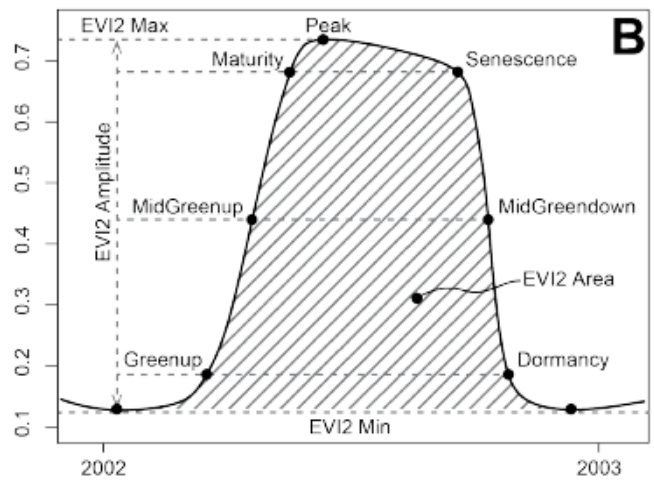


Figura 27: analisi e terminologia di un picco validato (Gray et al., 2019).

Il Metodo Orusa

Questa tecnica prevede di utilizzare un algoritmo di Google Earth Engine (GEE) redatto per mappare le metriche fenologiche tramite l'utilizzo di immagini Landsat o Sentinel-2, per monitorare i processi vegetativi e definire le differenti fasi fenologiche della vegetazione (Orusa et al., 2023). I parametri utilizzati nell'algoritmo sono stati adattati per analizzare aree montane, dove lo scioglimento della neve e l'orografia del territorio, che crea zone di ombra e di luce a seconda dell'esposizione dei versanti, possono portare a errori e risultati scorretti. L'algoritmo prevede di analizzare l'andamento dell'indice vegetazionale scelto e di individuare una soglia dinamica " τ ". L'inizio della stagione vegetativa avviene nella data in cui il valore dell'indice (VI) oltrepassa il valore soglia, mentre la fine della stagione vegetativa avviene nella data in cui il VI diviene minore della stessa soglia. Il valore di " τ " è calcolato tramite una apposita formula (Equazione 5) i cui parametri sono: il valore massimo e il valore minimo dell'indice vegetazionale scelto e un coefficiente di anticipazione o posticipazione " ϕ ". Quest'ultimo coefficiente può variare tra 0,2 e 0,8 e può essere scelto empiricamente da chi utilizza il codice a seconda delle osservazioni fatte in campo. Nelle situazioni in cui queste dovessero mancare, il valore che il programmatore suggerisce di utilizzare equivale a 0,5. Gli indici che è possibile utilizzare si suddividono in: Normalized Difference Vegetation index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Green Chromatic Coordinate (GCC) e Normalized Difference Phenology Index (NDPI). L'NDPI viene utilizzato nel codice per risolvere gli errori legati allo scioglimento della neve. Wang (Wang et al., 2017) lo ha infatti definito come un indice designato per essere resistente all'effetto dello scioglimento della neve, avendo un migliore contrasto con il segnale vegetazionale che arriva dal suolo. Gli altri tre indici sono invece utilizzati per l'analisi fenologica e per individuare la SOS, la EOS e la LOS. L'indice più indicato allo scopo è l'NDVI, perché capace di cancellare gli errori

ed il rumore dovuti all'angolo di incidenza del sole, l'illuminazione topografica, le nuvole e le condizioni atmosferiche, specialmente nell'area alpina (Orusa et al., 2023). L'uso degli indici EVI e GCC rimane invece limitato in aree montane e, solamente nel caso di studi fenologici su foreste molto dense, è consigliato l'uso dell'EVI vista la sua capacità di saturare a valori nettamente più elevati dell'NDVI (Orusa et al., 2023).

$$\tau = * (VI_{min} - VI_{max}) + VI_{min} \quad (5)$$

2.4 Analisi della relazione tra fenologia e giorno giuliano e tra fenologia e somma termica

Per ogni area di saggio è stata calcolata la media degli stadi fenologici delle specie presenti suddividendole in due gruppi: graminacee e altre specie. I risultati ottenuti dai punti presenti sulla stessa malga sono stati mediati tra loro per ottenere un unico valore medio rappresentativo della malga. Sono stati quindi analizzati gli andamenti di questi valori in funzione di somma termica e date. Le stesse analisi sono state eseguite anche per ogni graminacea rilevata nelle aree di saggio.

2.5 Analisi della relazione tra somma termica, date e NDMI

Per ogni area di saggio è stato calcolato il valore dell'indice NDMI, estraendolo dalle analisi di immagini satellitari Sentinel-2. I risultati ottenuti da aree di saggio presenti sulla stessa malga sono stati mediati tra loro per ottenere un unico valore medio rappresentativo della malga. Sono stati quindi analizzati gli andamenti di questi valori in funzione di somma termica e date.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 Relazione tra stadio fenologico e giorno giuliano

La relazione esistente fra stadio fenologico e data di raggiungimento dello stadio è molto stretta ed è di tipo lineare. Il passaggio da una fase fenologica alla successiva avviene in media dopo un intervallo di circa 13 giornate e in particolare:

- Per malga Melette di Foza il passaggio alla fase successiva avviene mediamente in 12/13 giorni;
- Per malga Zomo il passaggio alla fase successiva avviene mediamente in 13/14 giorni;
- Per malga Sasso Rosso il passaggio alla fase successiva avviene mediamente in 11/12 giorni.

Questi risultati possono essere influenzati da due fattori: la quota e la fertilità. Per quanto concerne la fertilità gli effetti non sono risultati molto pronunciati. Osservando le figure 30, 31 e 32 si può vedere come gli stadi fenologici vengano raggiunti nelle aree di diversa fertilità in giornate molto ravvicinate, ed è evidente che le aree fertili raggiungono la stessa fase fenologica circa un giorno prima delle aree magre. La fertilizzazione ha dunque un effetto positivo sulla rapidità di crescita della vegetazione, anche se molto limitato.

L'effetto quota è invece più importante della fertilità. Le figure 28 e 29, le quali comparano le diverse giornate in cui si raggiunge un determinato stadio fenologico nelle tre malghe oggetto di studio, mostrano che, all'aumentare della quota, per raggiungere gli stessi stadi è necessario un numero di giorni maggiore. La temperatura è il fattore che regola questo processo, in quanto a quote più elevate è necessario più tempo per raggiungere determinate somme termiche. L'effetto non si mostra però molto consistente. Si è calcolato infatti che all'incremento di 100 metri di dislivello sono necessari mediamente 2,6 giorni in più per raggiungere la stessa fase fenologica. Questo valore si riduce a 2,3 in aree fertili e aumenta a 2,9 in aree magre.

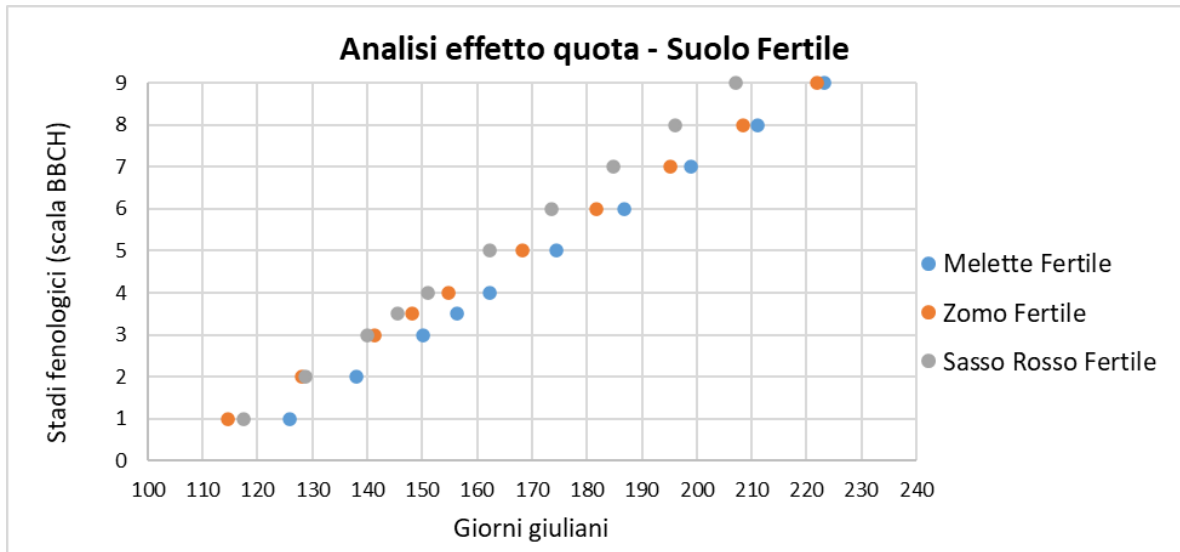


Figura 28: analisi in aree fertili della variazione del giorno di raggiungimento dei vari stadi fenologici in funzione della quota.

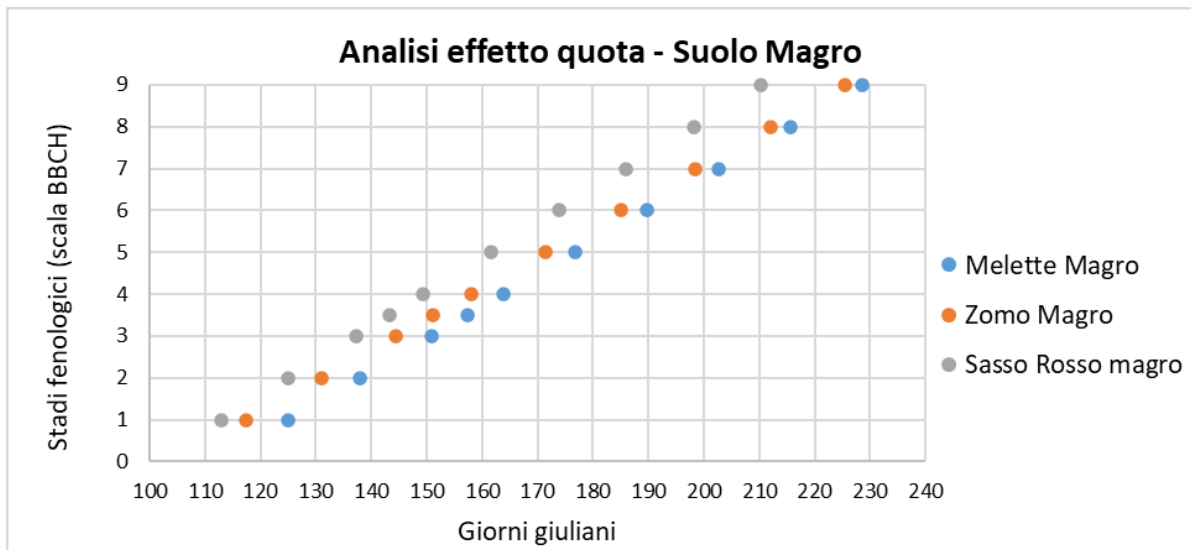


Figura 29: analisi in aree magre della variazione del giorno di raggiungimento dei vari stadi fenologici in funzione della quota.

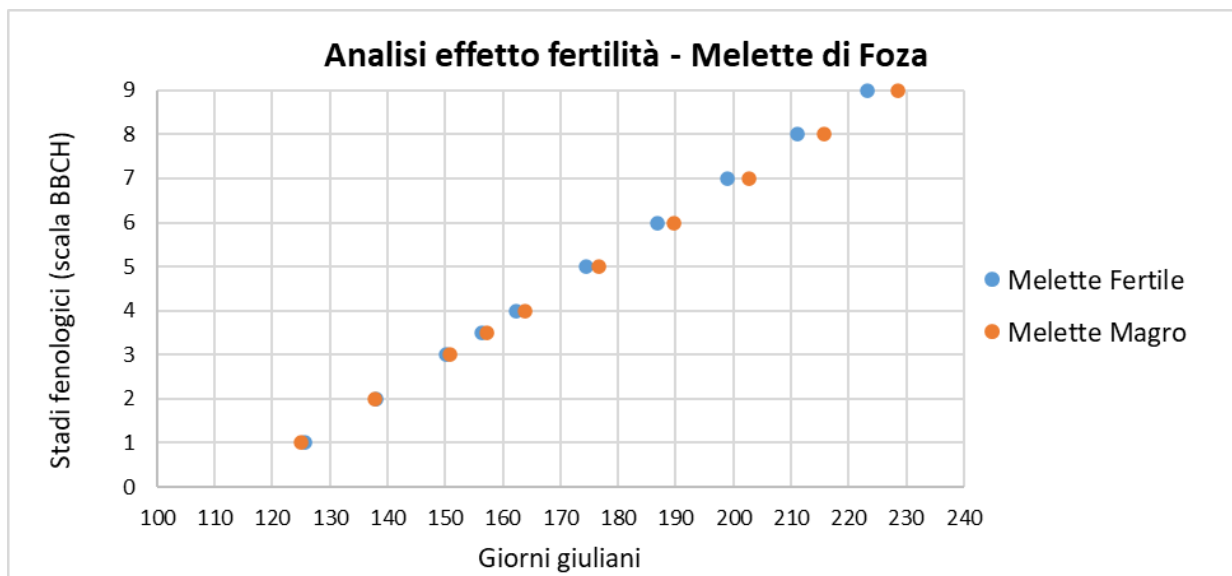


Figura 30: analisi in malga Melette di Foza dell'effetto della fertilità sul giorno di raggiungimento delle fasi fenologiche.

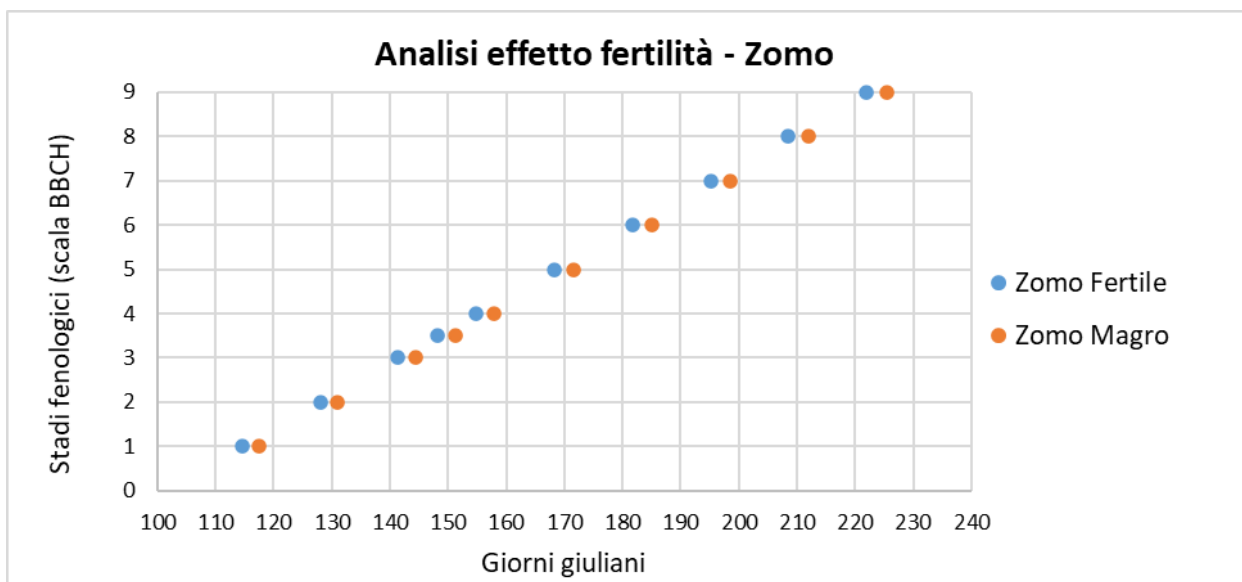


Figura 31: analisi in malga Zomo dell'effetto della fertilità sul giorno di raggiungimento delle fasi fenologiche.

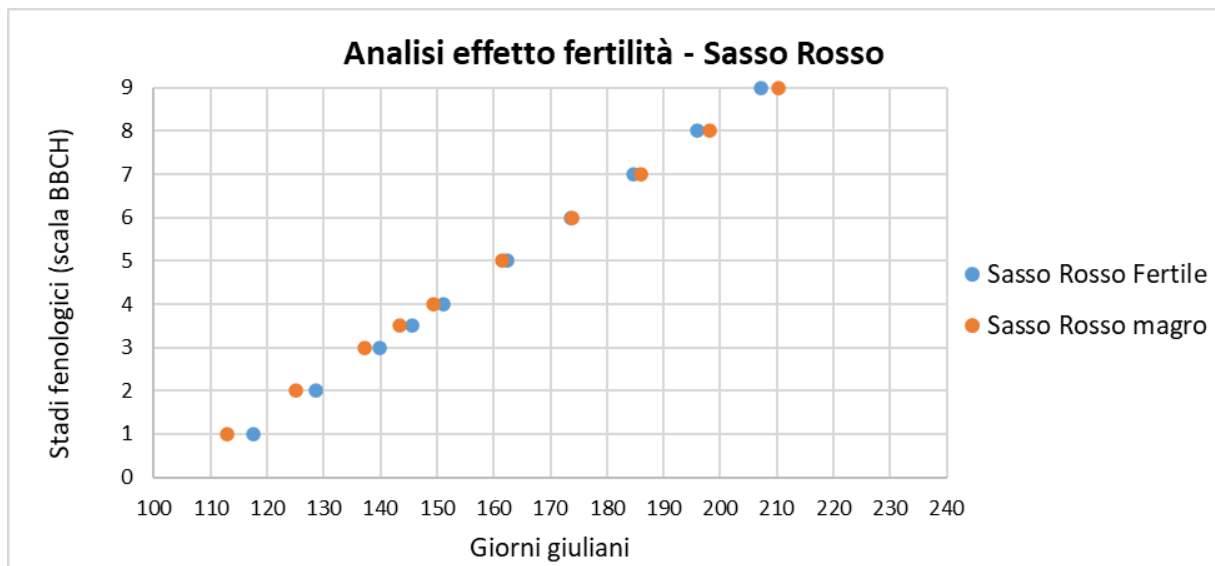


Figura 32: analisi in malga Sasso Rosso dell'effetto della fertilità sul giorno di raggiungimento delle fasi fenologiche.

Dall'analisi delle singole specie identificate in campo, in particolar modo in quelle presenti su tutte e tre le malghe, è stato possibile osservare le diverse risposte che queste attuano in aree con temperature e quote differenti. Nella prima parte della stagione il raggiungimento delle fasi fenologiche iniziali è in relazione all'inizio della stagione vegetativa. In malga Melette di Foza, dove la stagione vegetativa ha inizio una decina di giorni dopo rispetto alle altre due malghe, si osserva come il raggiungimento delle fasi 2, 3, 4 e 5 avvenga con un ritardo posto tra un intervallo di 10 e 30 giorni (figure 33, 34 e 35). Nelle fasi successive questa distanza si riduce e le date di raggiungimento sulle diverse malghe delle fasi fenologiche 6, 7, 8 e 9 sono molto più ravvicinate. La differenza si assesta infatti in un intervallo minore o uguale a 15 giorni. Questo effetto è dovuto all'adattamento delle piante di alta quota a stagioni vegetative più brevi, dove la pianta ha a disposizione un numero di giorni minore per completare il suo ciclo biologico (Orlandi et al., 1996). La maggiore velocità di sviluppo delle piante di alta quota permette dunque di raggiungere la fioritura, il periodo più significativo del ciclo biologico di una pianta, nello stesso periodo delle vegetazioni di quote più basse. In malga Sasso Rosso e in malga Zomo, le date di raggiungimento delle fasi fenologiche rimangono molto vicine per tutta la durata della stagione vegetativa (figure 33, 34 e 35). Riguardo a

questo risultato si può ipotizzare che oltre alla quota siano importanti anche altri fattori influenti sulla velocità di sviluppo fenologico (ad es. esposizione, pendenza ecc.).

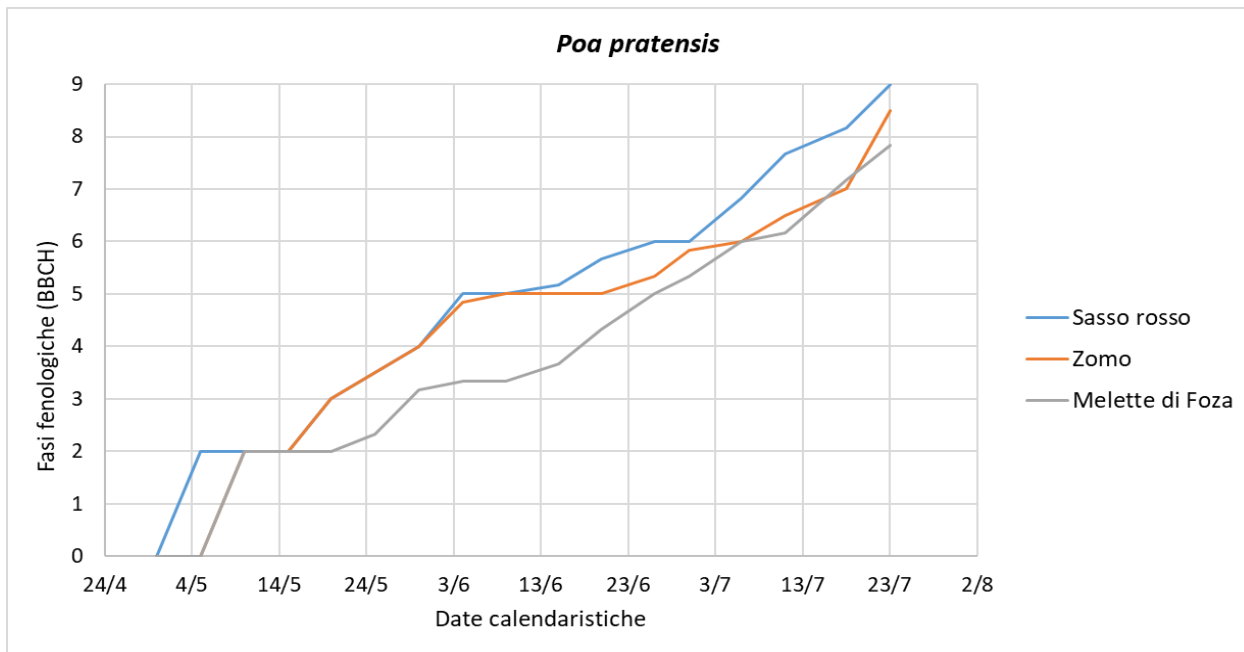


Figura 33: analisi delle date di raggiungimento delle diverse fasi fenologiche per la specie *Poa pratensis* L..

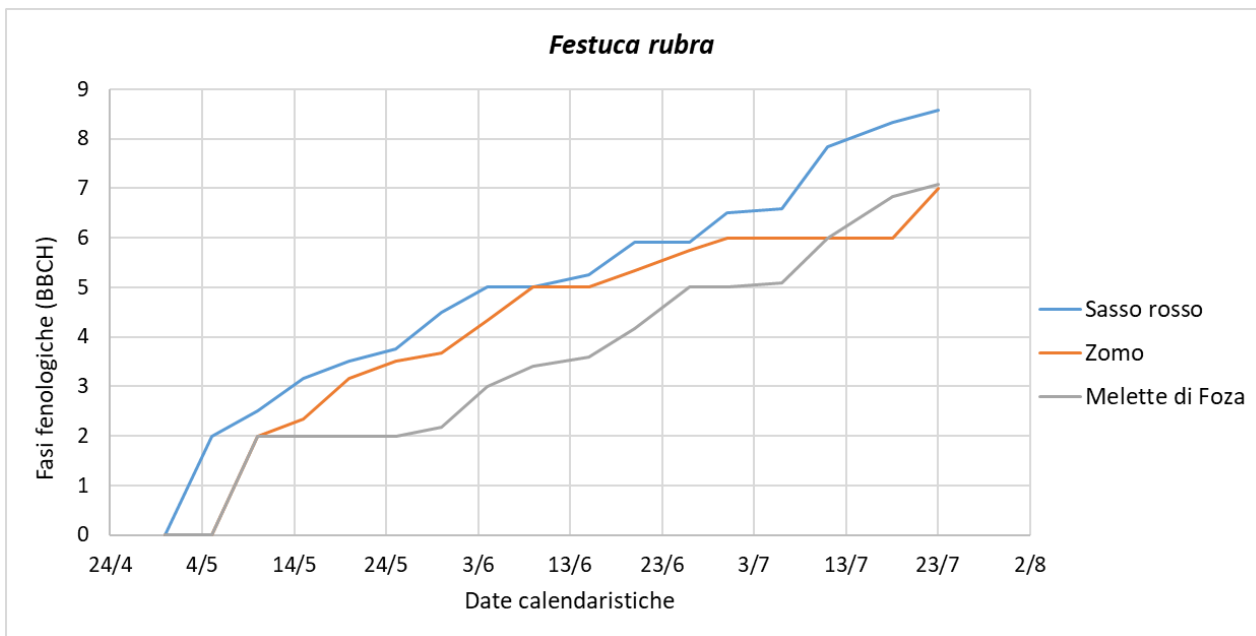


Figura 34: analisi delle date di raggiungimento delle diverse fasi fenologiche per la specie *Festuca rubra* L..

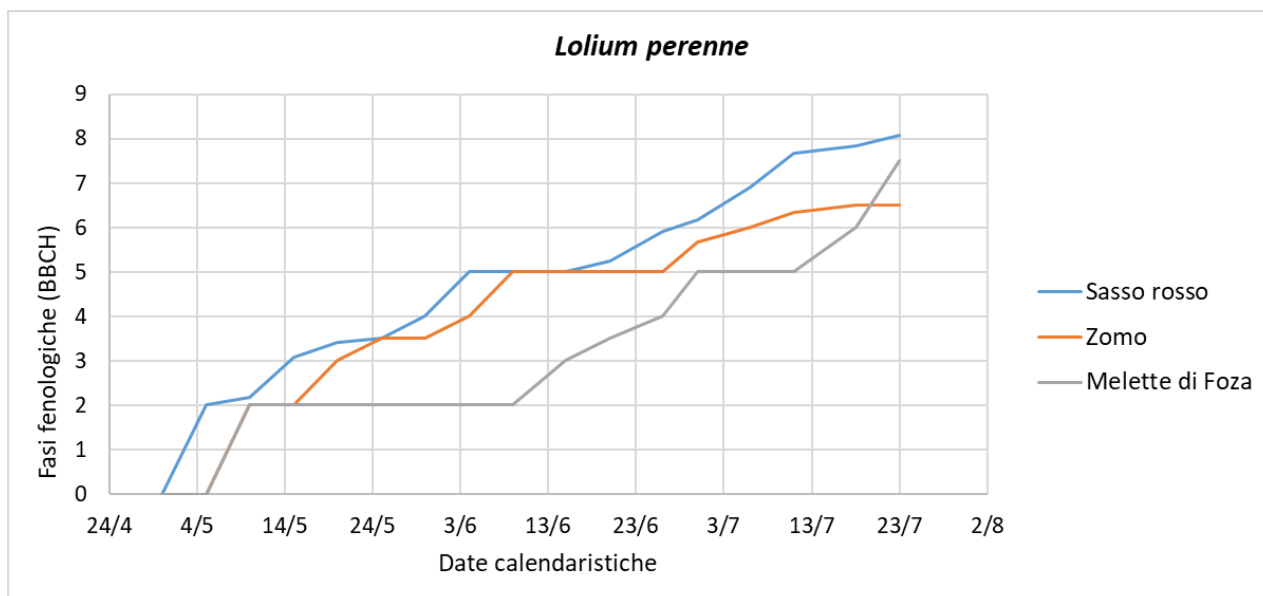


Figura 35: analisi delle date di raggiungimento delle diverse fasi fenologiche per la specie *Lolium perenne* L..

3.2 Correlazione tra fenologia e temperatura

Dall'analisi della persistenza del manto nevoso al suolo si sono ricavate le date di scomparsa della neve sulle tre malghe oggetto di studio (allegato 2). Queste corrispondono a:

- 16 aprile per malga Sasso Rosso;
- 18 aprile per malga Zomo;
- 26 aprile per malga Melette di Foza.

I risultati delle analisi sulla somma termica indicano che questa variabile diminuisce gradualmente con l'aumento della quota e che con l'avanzare della stagione aumentano sensibilmente le differenze tra le diverse malghe (figura 36). Dalla letteratura è noto che esiste una stretta correlazione tra fenologia e temperatura e che essa è il fattore predominante per lo sviluppo fenologico delle specie vegetali. Le analisi effettuate in questo studio concordano con tali indicazioni. In particolare, si è potuto mostrare che la correlazione esistente tra gli stadi fenologici medi delle specie analizzate e la somma termica è di tipo lineare. In tutte le malghe si sono ottenuti risultati molto solidi (R^2 vicino a 1):

- Malga Melette di Foza: $y = 152x - 198$ con un $R^2 = 0,9769$;
- Malga Zomo: $y = 231x - 529,2$ con un $R^2 = 0,9888$;
- Malga Sasso rosso: $y = 219x - 492$ con un $R^2 = 0,9928$;

Dove

y = stadio fenologico, scala BBCH

x = somma termica, gradi centigradi

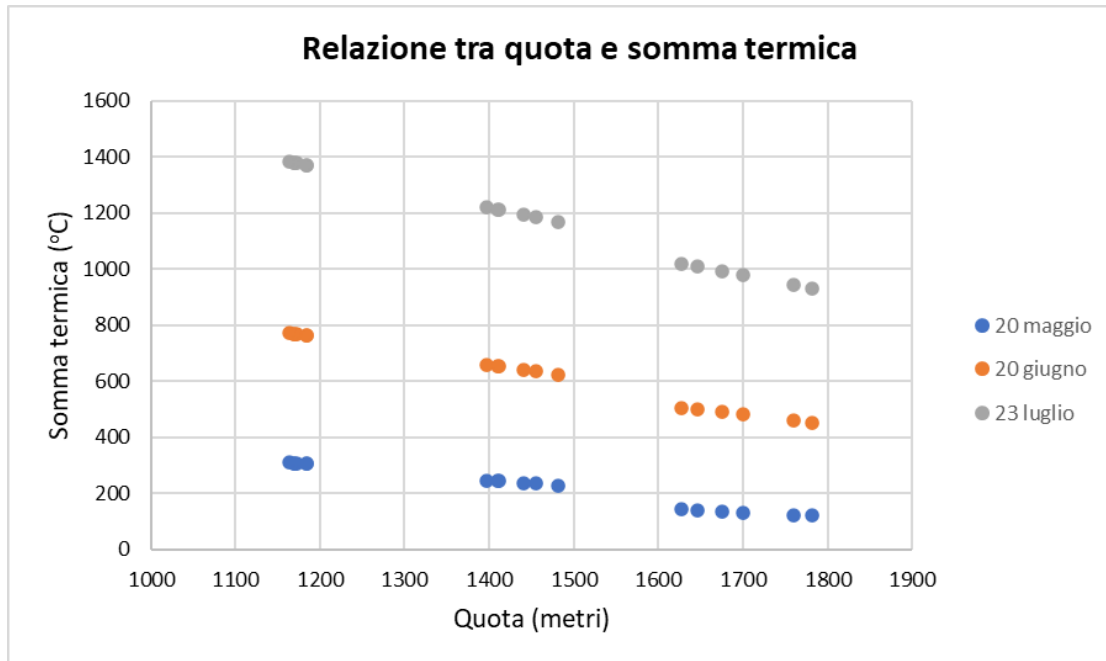


Figura 36: grafico che raffigura la relazione tra quota e somma termica.

Dalle funzioni lineari tra fenologia e somma termica (figure 37, 38 e 39) sono state calcolate le somme termiche necessarie al raggiungimento dei singoli stadi fenologici. Si osserva che a malga Zomo e a malga Sasso Rosso gli stadi fenologici vengono raggiunti con somme termiche simili, mentre a malga Melette di Foza gli stadi fenologici vengono raggiunti con una somma termica nettamente minore. Questo ultimo risultato è dovuto all'adattamento della vegetazione a quote più elevate, dove le temperature sono più rigide e le piante dispongono di meno tempo per completare il loro ciclo biologico, essendo il periodo vegetativo sensibilmente più breve. Il clima presente a Melette di Foza ha dunque selezionato i genotipi con sviluppo più rapido in grado di compiere il ciclo vegetativo in tempo minore rispetto alla vegetazione di malga Zomo e malga Sasso Rosso. Lo stesso risultato non è però osservabile per il confronto tra malga Zomo e malga Sasso Rosso. In queste due malghe la somma termica per raggiungere lo stadio successivo è molto simile anche se vi è una differenza di altitudine pari a 250 metri. Come ricordato a proposito dei simili risultati ottenuti dall'analisi della relazione fenologia-giorno giuliano, ciò evidenzia che, oltre alla quota, anche altre condizioni stagionali hanno un effetto significativo sullo sviluppo fenologico delle specie di pascolo.

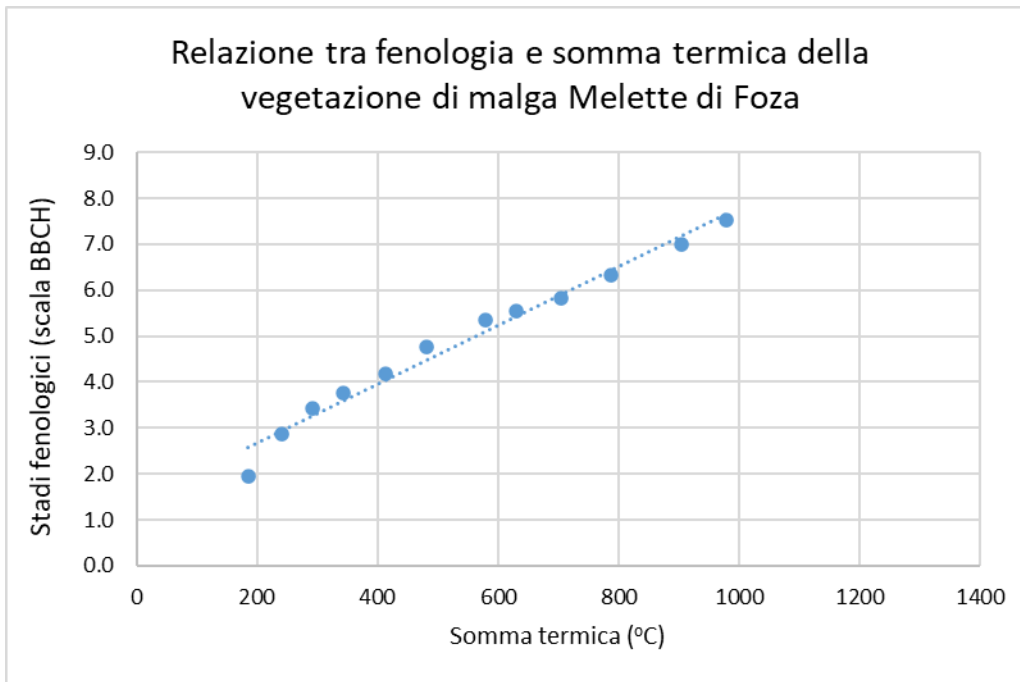


Figura 37: grafico che rappresenta la relazione tra fenologia e somma termica della vegetazione di malga Melette di Foza.

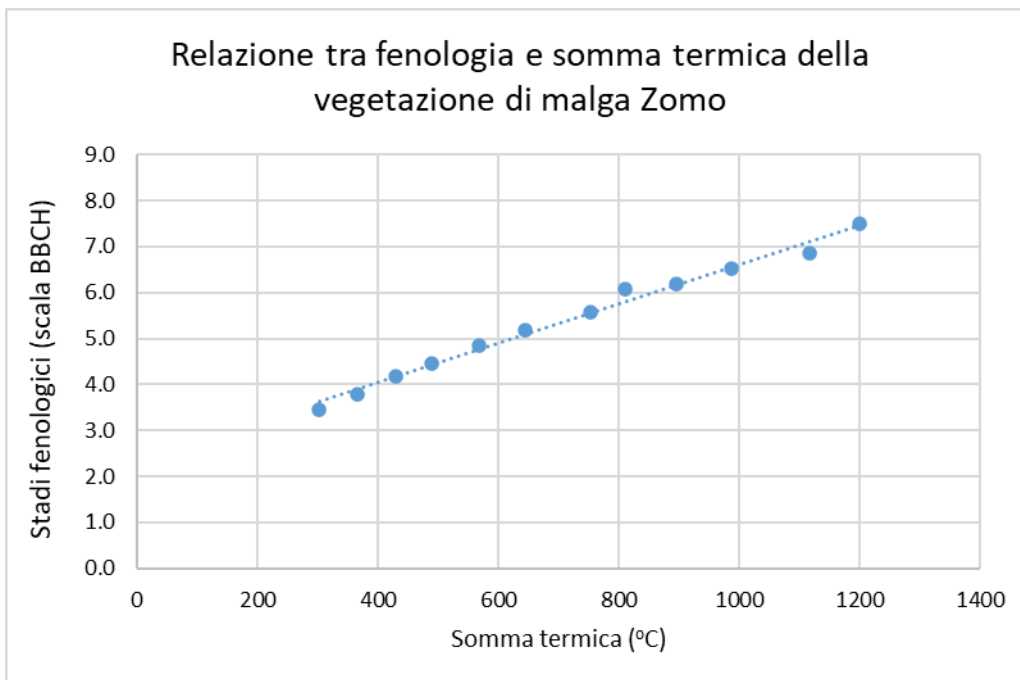


Figura 38: grafico che rappresenta la relazione tra fenologia e somma termica della vegetazione di malga Zomo.

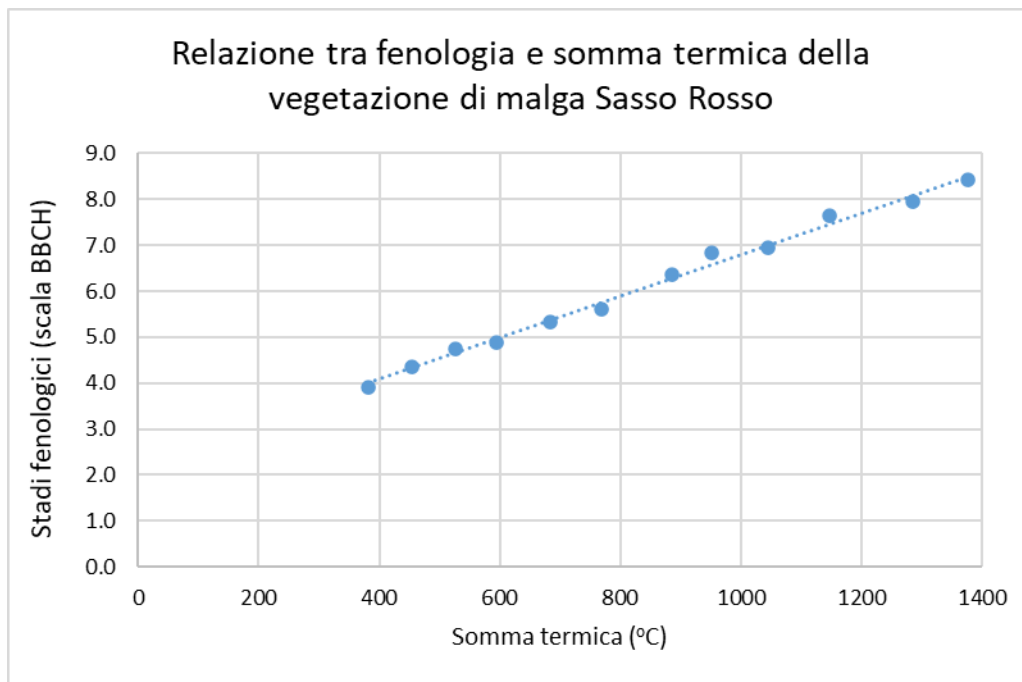


Figura 39: grafico che rappresenta la relazione tra fenologia e somma termica della vegetazione di malga Sasso Rosso.

La seconda parte delle analisi si è concentrata sulla risposta alla temperatura delle singole graminacee. Per ognuna di esse si è ottenuto una serie di valori di somma termica necessari al raggiungimento delle diverse fasi fenologiche durante l'arco della stagione vegetativa. I risultati ottenuti sono stati suddivisi in quattro gruppi basandosi sull'ecologia e la distribuzione delle specie sulle tre malghe (figure 40, 41, 42, 43 e 44):

- Gruppo delle specie presenti a tutte le quote (figura 40), nel quale sono presenti: *Anthoxanthum odoratum* L. (AntOdo), *Dactylis glomerata* L. (DacGlo), *Festuca Rubra* L. (FesRub), *Lolium perenne* L. (LolPer), *Poa pratensis* L. (PoaPra), *Poa trivialis* L. (PoaTri) e *Trisetaria flavescens* (L.) Baumg. (TriFla);
- Gruppo delle specie di bassa quota (figura 41), presenti solamente in malga Sasso Rosso: *Arrhenatherum elatius* (L.) P. Beauv. ex J. Presl et C. Presl (ArrEla), *Bromopsis erecta* (Huds.) Fourr. (BroEre), *Cynosurus cristatus* L. (CynCri) e *Bromus hordeaceus* L. (BroHor);
- Gruppo delle specie di quota media (figura 42), presenti sia in malga Sasso Rosso che in malga Zomo: *Avenula pubescens* (Huds.) Dumort. (AvePub), *Brachypodium rupestre* (Host) Roem. & Schult. (BraRup), *Briza media* L. (BryMed), *Lolium pratense* (Huds.) Darbysh. (LolPra) e *Koeleria pyramidata* (Lam.) P.Beauv. (KoePyr);

- Gruppo delle specie di alta quota (figura 43), presenti sia in malga Zomo che in malga Melette di Foza: *Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv. (DesCes), *Nardus stricta* L. (NarStr) e *Phleum rhaeticum* (Humphries) Rauschert (PhlRha).

La maggior parte delle specie concentra il suo ciclo biologico tra una somma termica di 235 °C, la quale corrisponde all'inizio della vegetazione con la formazione delle prime foglie formate (fase 2), e 1289 °C, che corrisponde alla fine della vegetazione (inizio fase 9). Fanno eccezione le specie *Anthoxanthum odoratum* e *Avenula pubescens*, le quali riescono a svilupparsi precocemente con temperature nettamente inferiori. Il loro ciclo inizia infatti con somme termiche di circa 175 °C e si conclude raggiunti i 1100 °C. Altra eccezione fanno tutti gli individui di quelle specie che si sono adattati a vivere a quote più elevate. La breve stagione vegetativa presente in questi ambienti ha selezionato specie ed ecotipi in grado di completare il loro ciclo biologico con somme termiche mediamente inferiori di 118 °C rispetto a quelli di quote minori (figura 44).

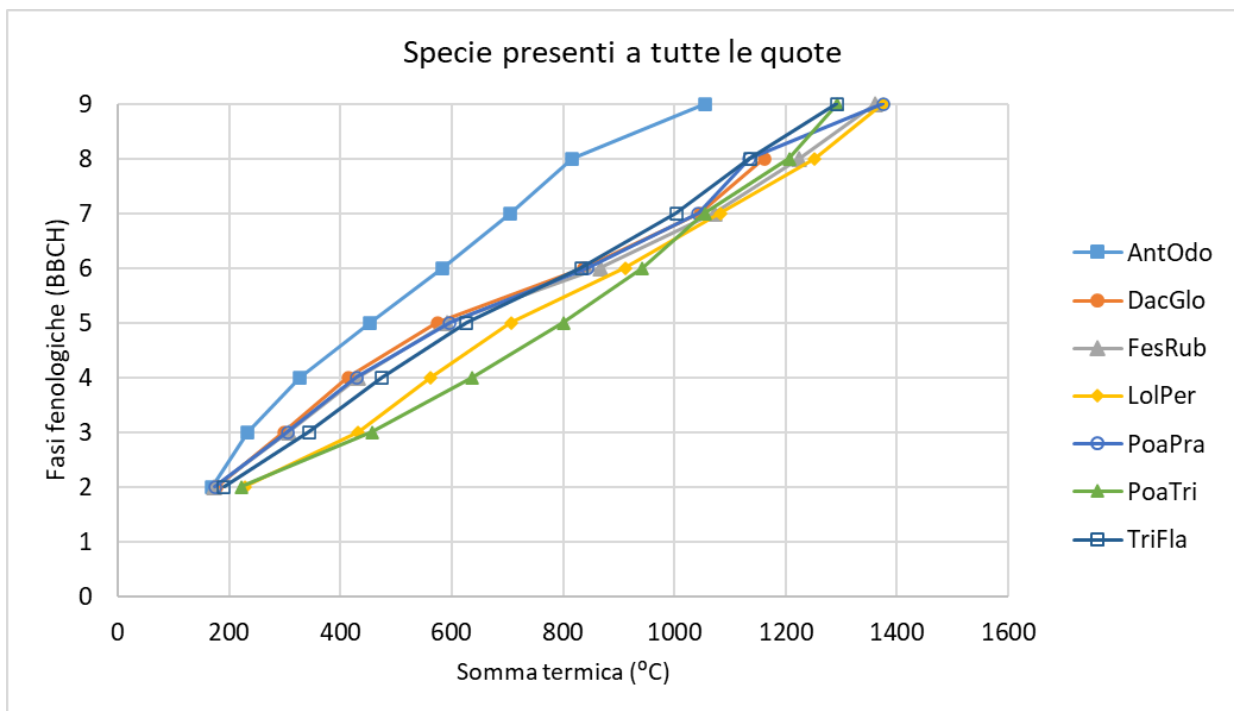


Figura 40: analisi delle somme termiche di raggiungimento delle diverse fasi fenologiche per il gruppo delle specie presenti a tutte le quote.

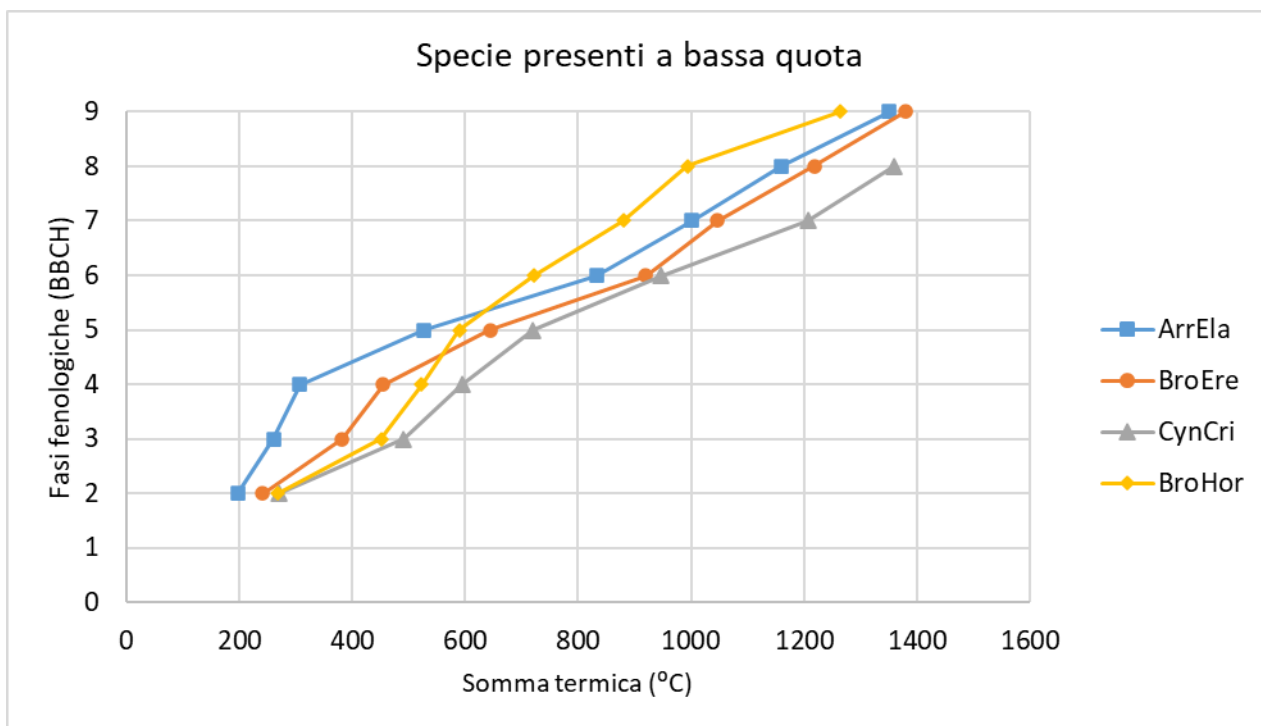


Figura 41: analisi delle somme termiche di raggiungimento delle diverse fasi fenologiche per il gruppo delle specie di bassa quota.

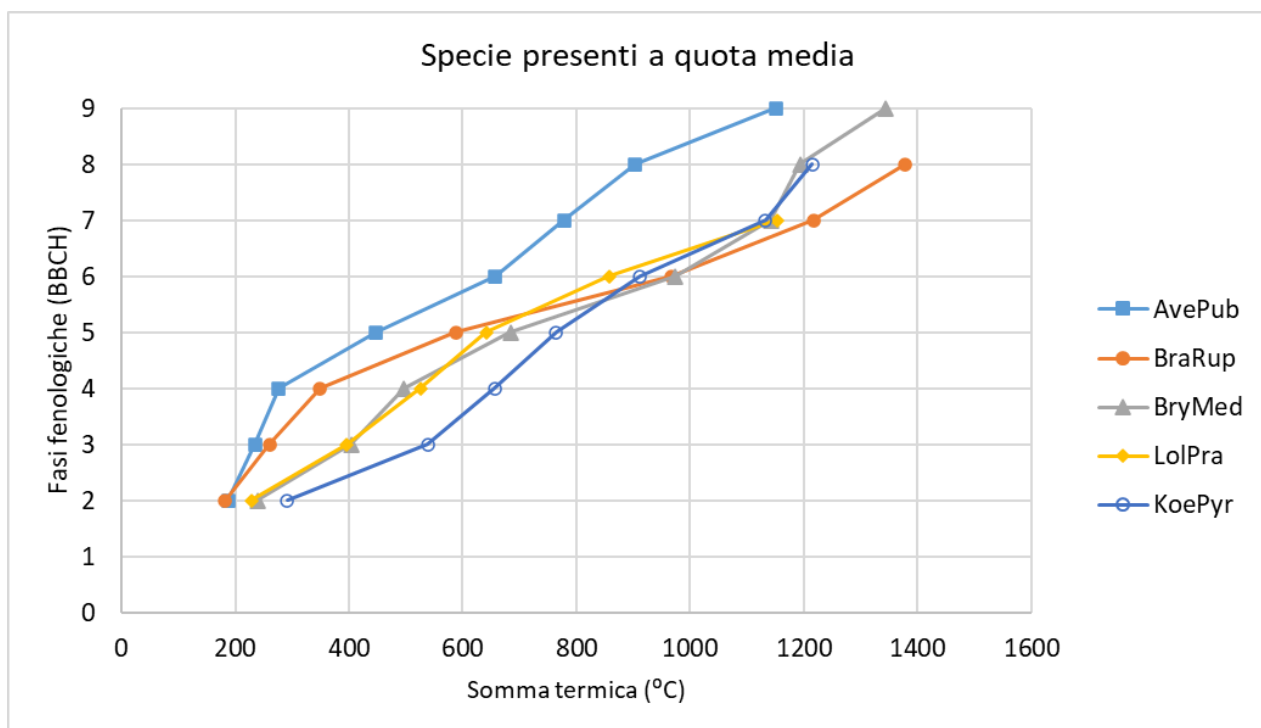


Figura 42: analisi delle somme termiche di raggiungimento delle diverse fasi fenologiche per il gruppo delle specie di quota media.

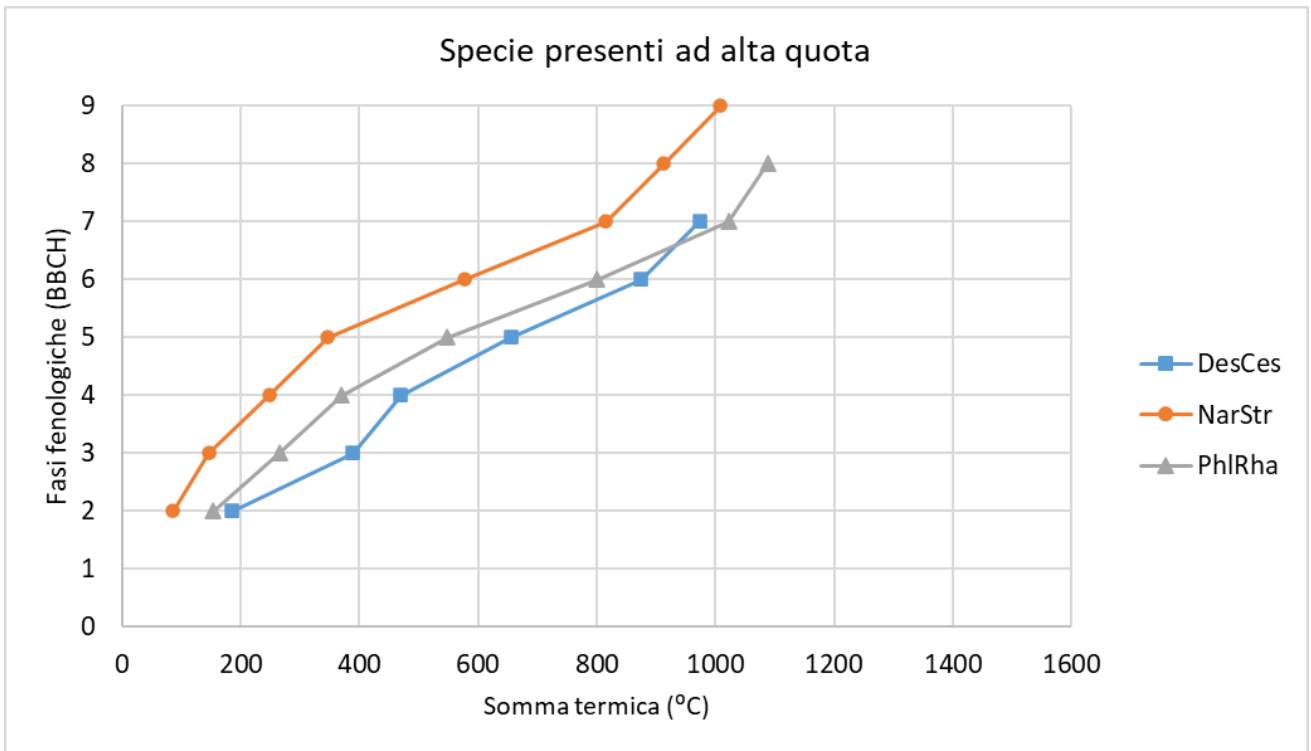


Figura 43: analisi delle somme termiche di raggiungimento delle diverse fasi fenologiche per il gruppo delle specie di alta quota.

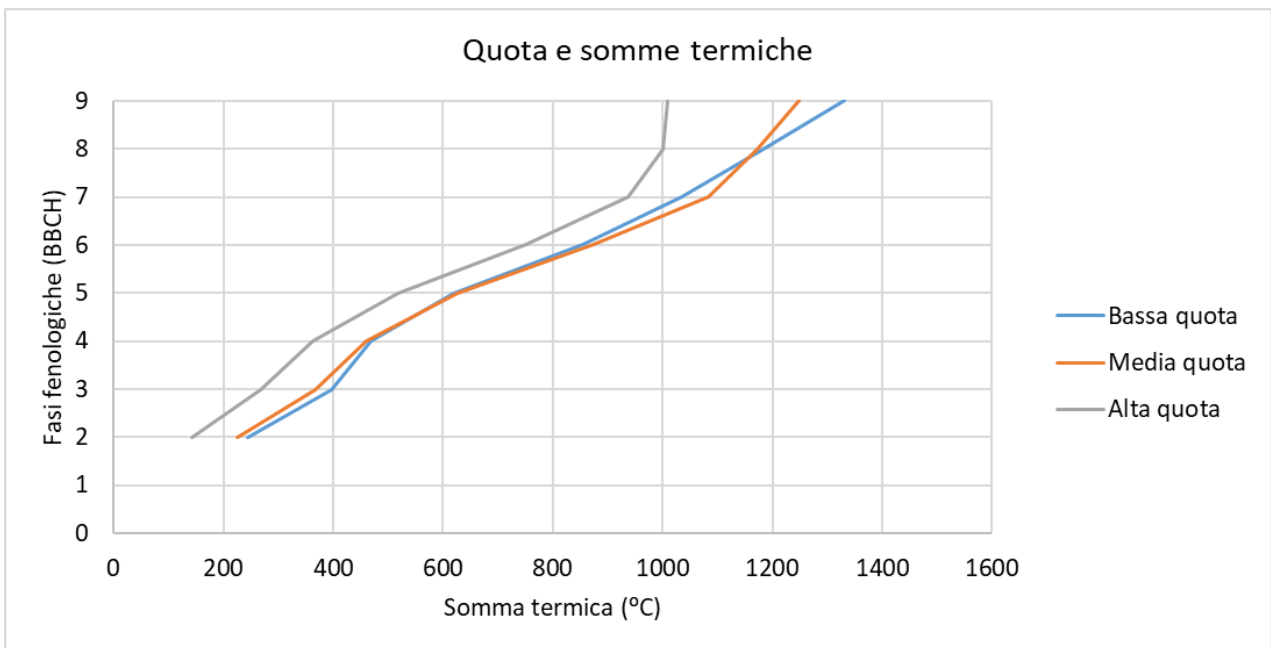


Figura 44: Confronto tra le diverse necessità di gradi utili di temperatura necessari al raggiungimento delle diverse fasi fenologiche tra i gruppi di specie di alta, media e bassa quota.

3.3 Andamenti dell'indice NDMI

Tramite l'utilizzo di Google Earth Engine (GEE) è stato possibile calcolare il valore di NDMI presente in ogni area di saggio in un definito arco temporale. L'indice è stato calcolato per ogni data utile all'interno del periodo di analisi che corrispondeva alla data del passaggio del satellite "Sentinel – 2", il quale attraversa l'area di studio ogni cinque giorni. L'andamento dell'NDMI mostra sempre una forma a campana, caratterizzata da un rapido accrescimento nella prima metà del periodo di analisi, per poi decrescere rapidamente nella seconda metà. Il picco dell'andamento viene raggiunto in date differenti a seconda della quota e della fertilità. Per quanto riguarda le aree fertili, in malga Sasso rosso, quella di quota più bassa, il picco viene raggiunto il 30 maggio, il quale corrisponde al giorno Giuliano 150. In malga Zomo e malga Melette di Foza, malghe invece collocate a quote più alte, il picco viene raggiunto il giorno 15 giugno, corrispondente al giorno Giuliano 166, quindi 16 giorni dopo il raggiungimento del picco in malga Sasso Rosso. Questo posticipo del picco è dovuto all'abbassamento di temperatura dato dall'aumento dell'altitudine e al conseguente ritardo nello sviluppo vegetativo del pascolo. In malga Melette di Foza il picco cade nello stesso periodo di malga Zomo se non addirittura prima (figure 45 e 46). Anche questo risultato è dovuto all'adattamento delle piante alle quote più elevate, dove il ciclo vegetativo risulta sensibilmente corto. Inoltre per quanto riguarda il confronto tra aree magre e fertili, si osserva che la carenza di fertilità rallenta lo sviluppo delle piante posticipando il raggiungimento del picco di circa due settimane.

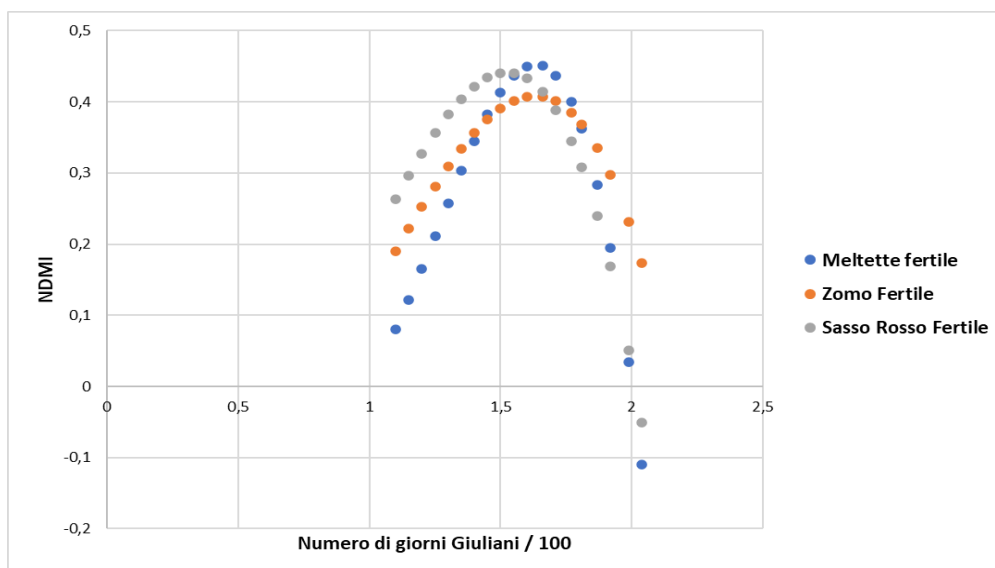


Figura 45: andamento dell'indice NDMI all'interno delle aree fertili delle tre malghe oggetto di studio.

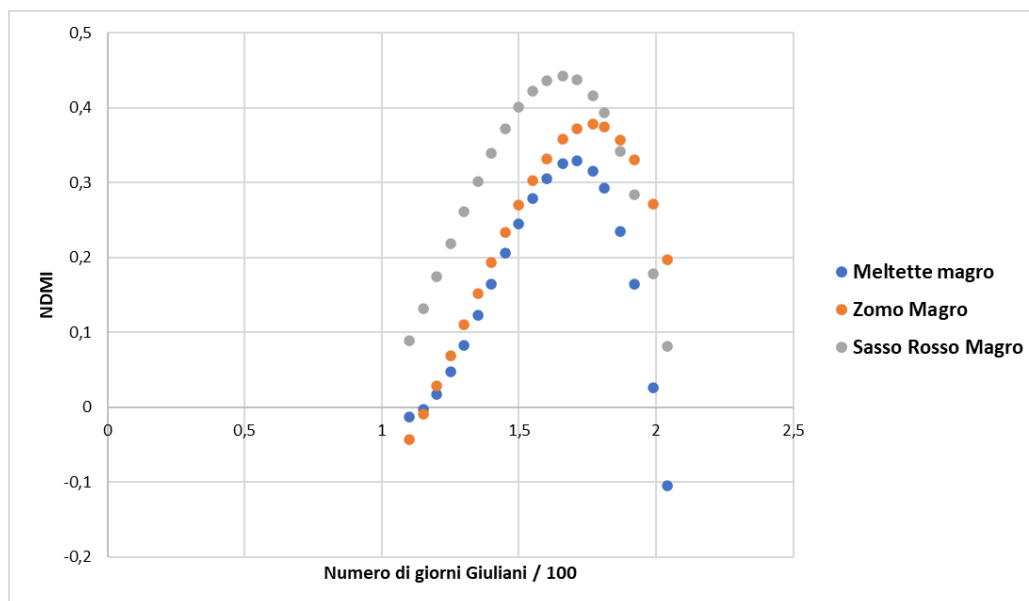


Figura 46: andamento dell'indice NDMI all'interno delle aree magre delle tre malghe oggetto di studio.

I valori di NDMI calcolati su aree fertili risultano sensibilmente diversi da quelli calcolati su aree magre. Nella prima metà delle curve analizzate, quindi nella fase di accrescimento della vegetazione, si vede infatti come la differenza sia sostanziale, mentre nella seconda metà delle curve la differenza è nettamente minore. Infatti la media delle differenze nella fase di accrescimento dell'NDMI corrisponde a 0,146, mentre nella fase di decrescita dell'indice è uguale a 0,055. Questo significa che la crescita dell'erba è iniziata prima nelle aree fertili rispetto alle aree magre. Per quanto riguarda invece i valori massimi di NDMI raggiunti nei pascoli a diversa fertilità, si notano situazioni diverse su ogni malga:

- In malga Melette di Foza c'è una sostanziale differenza tra le due situazioni, infatti, l'area fertile raggiunge picchi di valori di 0,45, mentre i massimi valori nell'area magra si aggirano attorno a 0,33 (figura 47);
- In malga Zomo si allevia la differenza riscontrata in malga Melette di Foza e si osservano valori massimi di 0,41 e 0,38, rispettivamente per l'area fertile e quella magra (figura 48);
- In malga Sasso Rosso il valore massimo di NDMI dell'area fertile (0,44) è uguale a quello dell'area magra (figura 49).

La diversità di valori massimi di NDMI che si presenta sulle tre malghe è dovuta ai due fattori principali che influenzano il valore dell'indice, ovvero il contenuto idrico della vegetazione e l'altezza dell'erba. In malga Melette di Foza, dove l'utilizzo dell'erba è stato omogeneo sia sulle aree fertili che sulle aree magre, la differenza tra i due massimi è attribuibile al diverso contenuto idrico che si

trova nelle due situazioni. Si può quindi dedurre che l'influenza di questo fattore sull'indice NDMI è pari a 0,12. Nelle altre due malghe, dove invece le aree magre sono risultate sottopascolate, questa differenza si allieva fino a diventare nulla. La maggiore altezza dell'erba e la presenza di più strati sovrapposti di fusti e foglie aumentano i valori di NDMI delle aree magre (capitolo 1.4.4), mitigando la differenza data dal contenuto idrico.

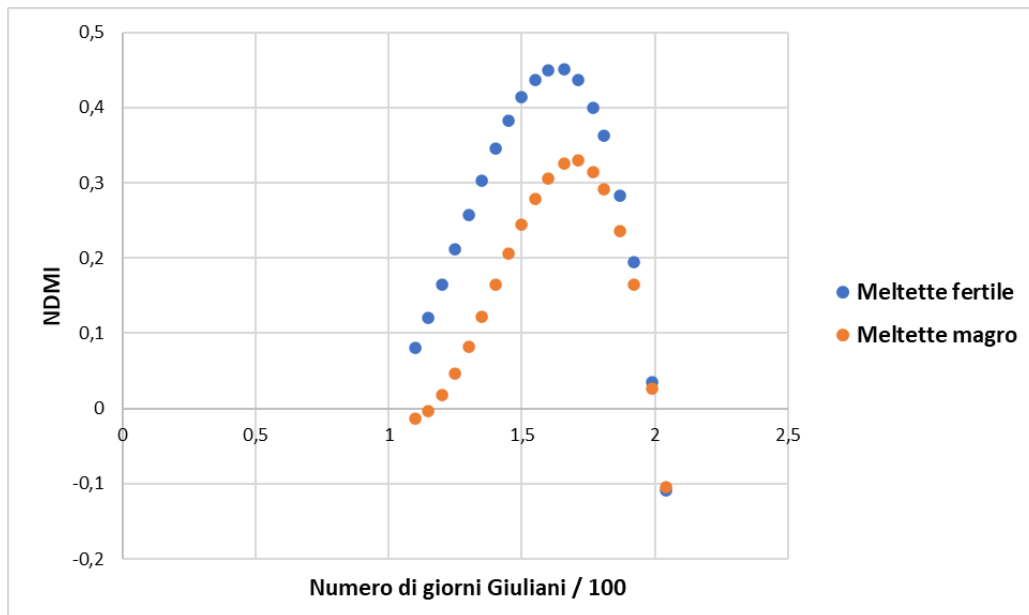


Figura 47: andamento dell'indice NDMI in malga Melette di Foza, suddiviso per aree magre e aree fertili.

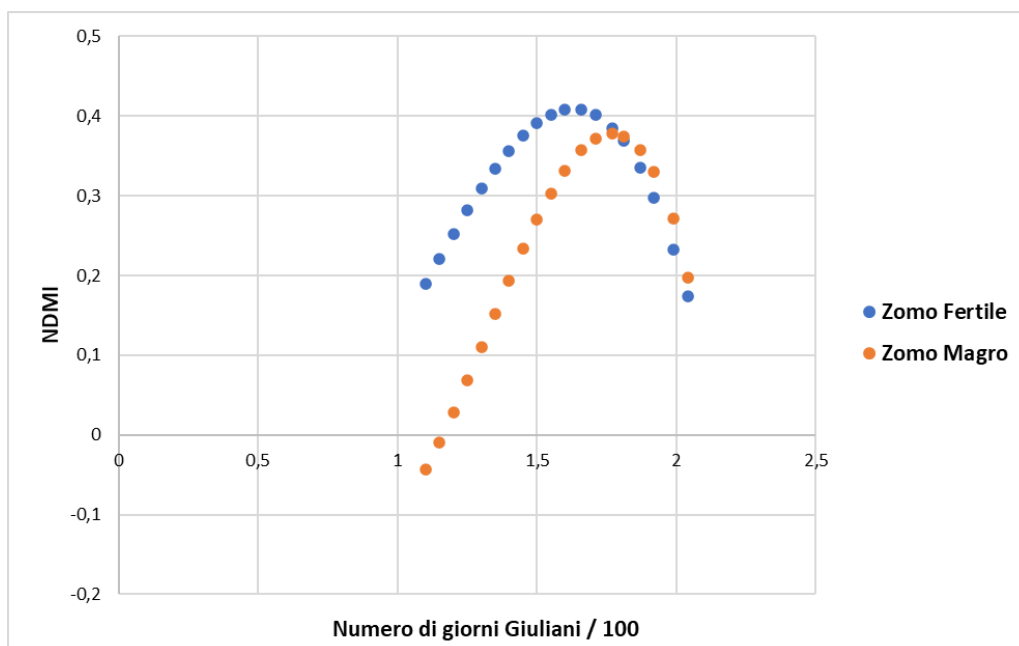


Figura 48: andamento dell'indice NDMI in malga Zomo, suddiviso per aree magre e aree fertili.

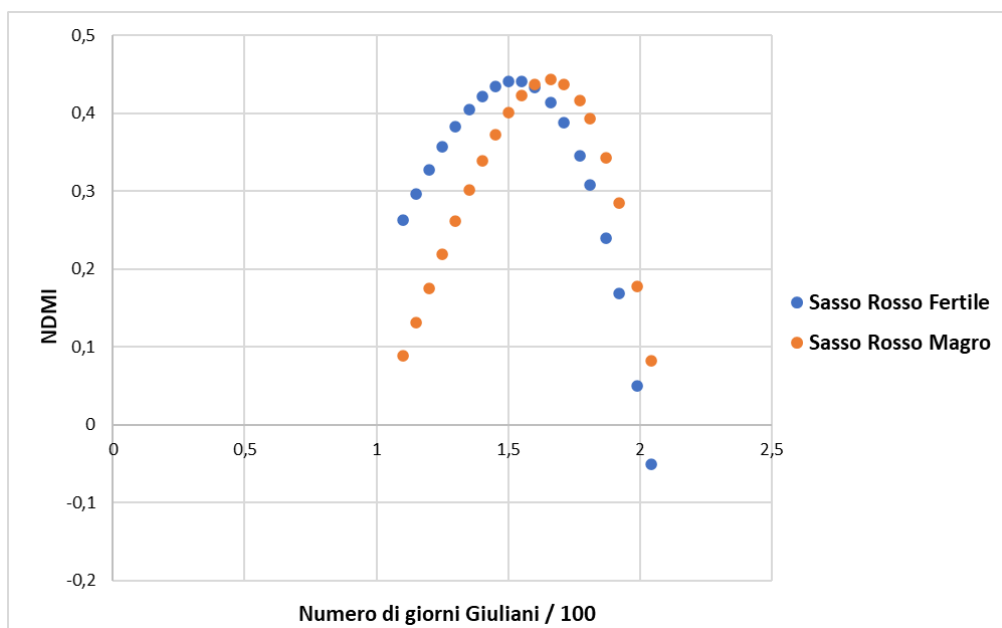


Figura 49: andamento dell'indice NDMI in malga Sasso Rosso, suddiviso per aree magre e aree fertili.

3.4 Correlazione tra fenologia e indice NDMI

Nel capitolo precedente si sono analizzati gli andamenti e i cambiamenti dell'indice NDMI nell'arco del periodo di analisi e quindi mantenendo sull'asse delle ascisse le date di campionamento espresse in giorni Giuliani. In questo modo è stato possibile osservare le differenze presenti nel medesimo giorno, dovute all'inizio ritardato della stagione vegetativa a quote più elevate e quindi al ritardo nell'accrescimento fenologico e vegetazionale. In questo capitolo si analizzeranno gli stessi valori ma mettendoli in relazione con le fasi fenologiche.

Dalle figure sottostanti (dalla figura 51 alla 55) è molto chiaro che fertilità e quota hanno un impatto sul valore dell'indice NDMI. In particolare sia per le aree magre che per le aree fertili, nelle figure 51 e 52 si nota come i valori siano influenzati dalla quota soprattutto dopo la fase 5, quando aumenta esponenzialmente la differenza di NDMI tra la malga di quota elevata (Melette di Foza) e quelle a quote inferiori. Per contro, tra la fase 1 e la fase 4, i risultati mostrano che l'NDMI resta simile per tutte e 3 le malghe. I valori riscontrati in malga Zomo e in malga Sasso Rosso rimangono invece molto simili per tutto l'arco del periodo di analisi sia in aree fertili che in aree magre. Questo risultato è dovuto alle diverse temperature che troviamo sulle tre malghe che vanno a influenzare la durata del

ciclo vegetativo. A malga Melette di Foza infatti il ciclo termina prima rispetto alle altre due malghe, facendo diminuire molto più rapidamente i valori di NDMI.

La fertilità, al contrario della quota, ha un effetto sull'NDMI durante tutto il periodo di studio ma più accentuato nelle fasi fenologiche iniziale, in particolar modo nelle prime tre (figure 53, 54 e 55). Mediamente durante tutto il periodo di analisi le differenze riscontrate tra aree pingui ed aree magre sono di:

- 0,199 in malga Melette di Foza;
- 0,186 in malga Zomo;
- 0,156 in malga Sasso Rosso.

Come si osserva, le differenze si riducono quindi con l'abbassarsi della quota, anche se non di molto.

Queste differenze sono dovute probabilmente alla diversa presenza di acqua nella vegetazione, dovuta alla minore disponibilità di acqua nel suolo nelle aree magre rispetto a quelle fertili. Nei suoli delle aree magre poste in zone più pendenti rispetto alle aree pingui, l'acqua percola infatti molto più velocemente rimanendo così meno disponibile rispetto alle aree pingui. Si è infatti riscontrato un effetto negativo della pendenza sui valori di NDMI. Dove questa presenta dei valori prossimi al 50%, l'NDMI assume valori di circa 0,3, dove invece la pendenza si riduce fino al 10%, i valori di NDMI si assestano tra 0,4 e 0,5 (figura 50).

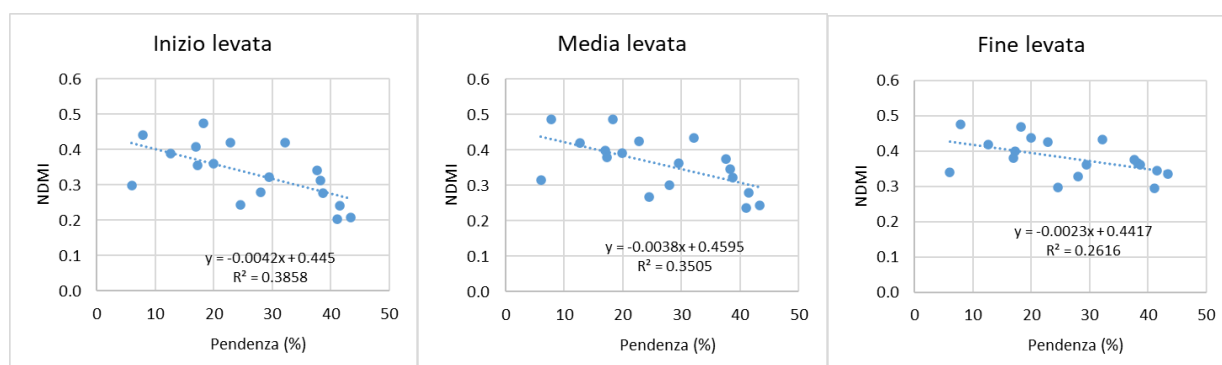


Figura 50: relazione presente tra l'indice NDMI in funzione della pendenza per tre sottofasi della levata.

Per quanto concerne lo stadio di levata delle graminacee (stadio 3 della scala BBCH), considerata come stadio di corretto inizio pascolamento, si sono osservati valori differenti tra aree magre e aree pingui. Nelle aree pingui il periodo della levata viene individuato con valori di NDMI compresi tra 0,396 e 0,42, mentre nelle aree magre esso viene individuato con valori compresi tra 0,27 e 0,341. Il valore medio per le aree pingui equivale a 0,411, mentre nelle aree magre ammonta a 0,305.

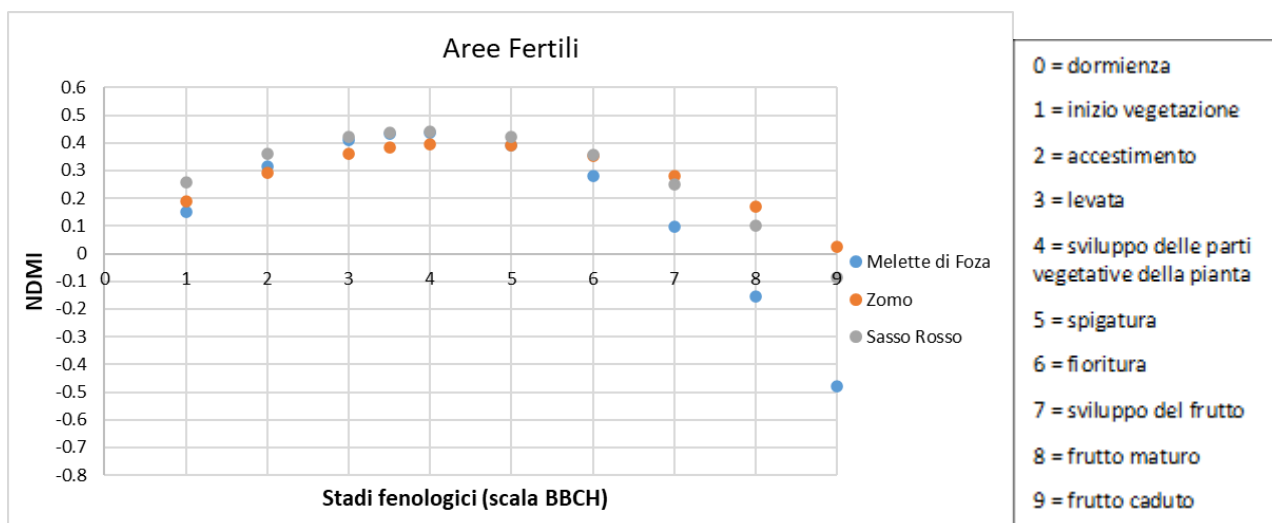


Figura 51: valori di NDMI presenti alle diverse fasi fenologiche nelle aree fertili delle tre malghe oggetto di studio.

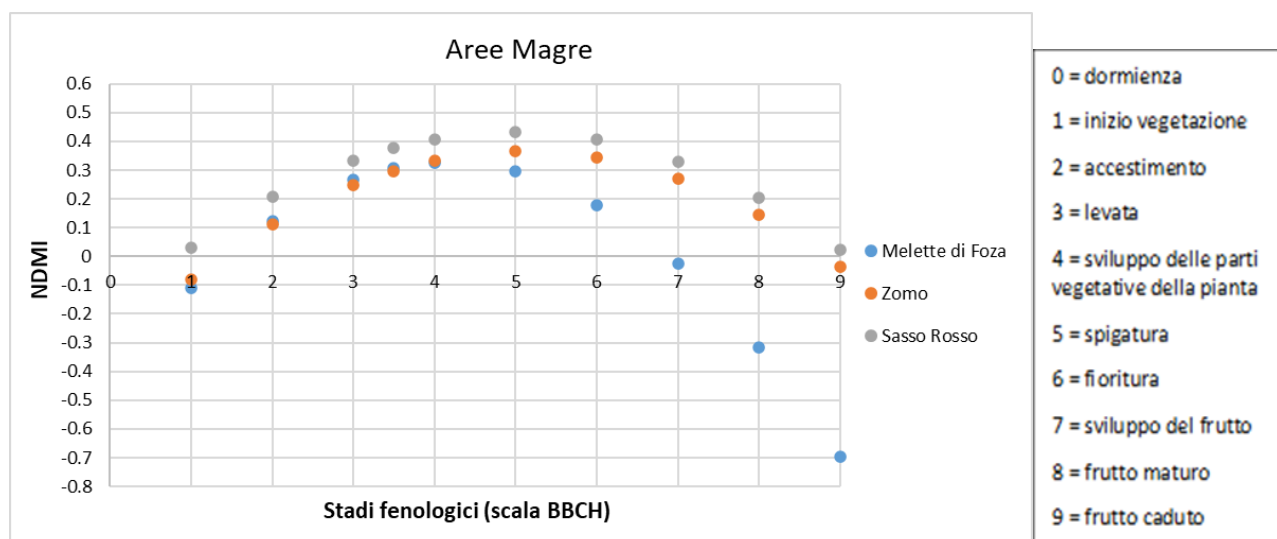


Figura 52: valori di NDMI presenti alle diverse fasi fenologiche nelle aree magre delle tre malghe oggetto di studio.

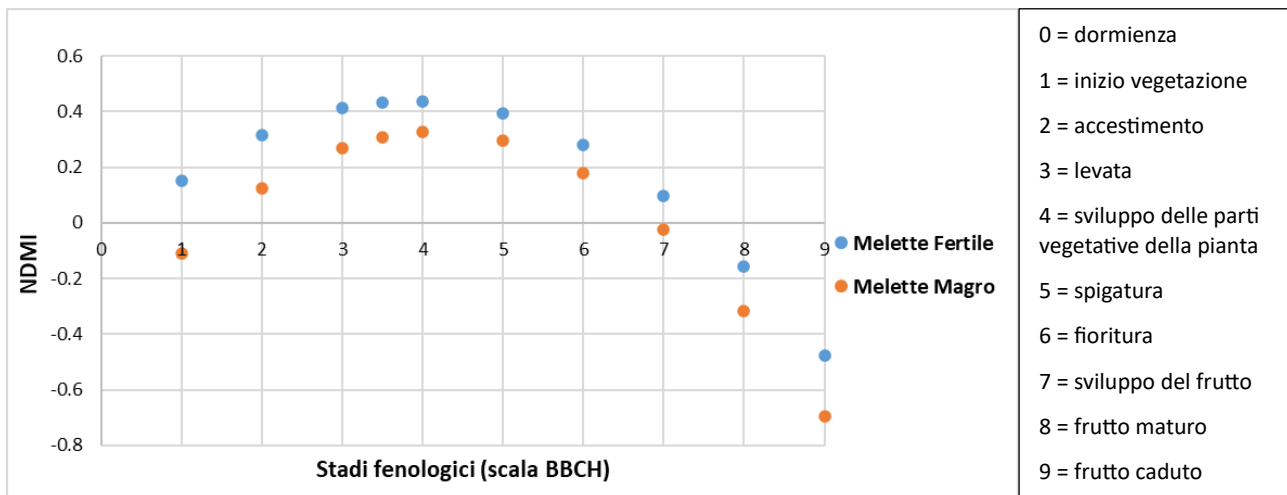


Figura 53: valori di NDMI presenti alle diverse fasi fenologiche in malga Melette di Foza, suddivisi per aree magre e aree fertili.

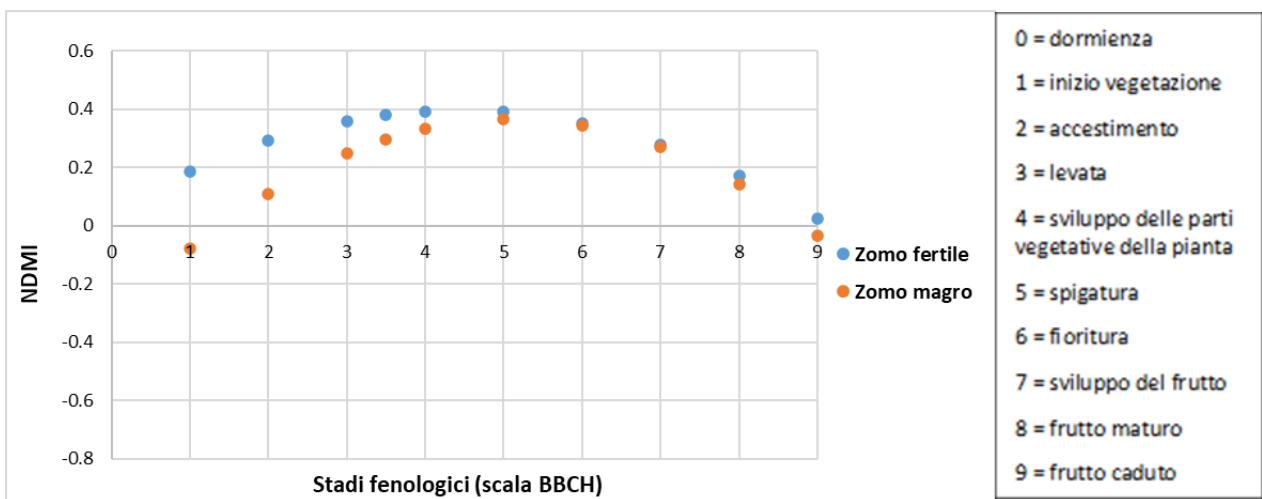


Figura 54: valori di NDMI presenti alle diverse fasi fenologiche in malga Zomo, suddivisi per aree magre e aree fertili.

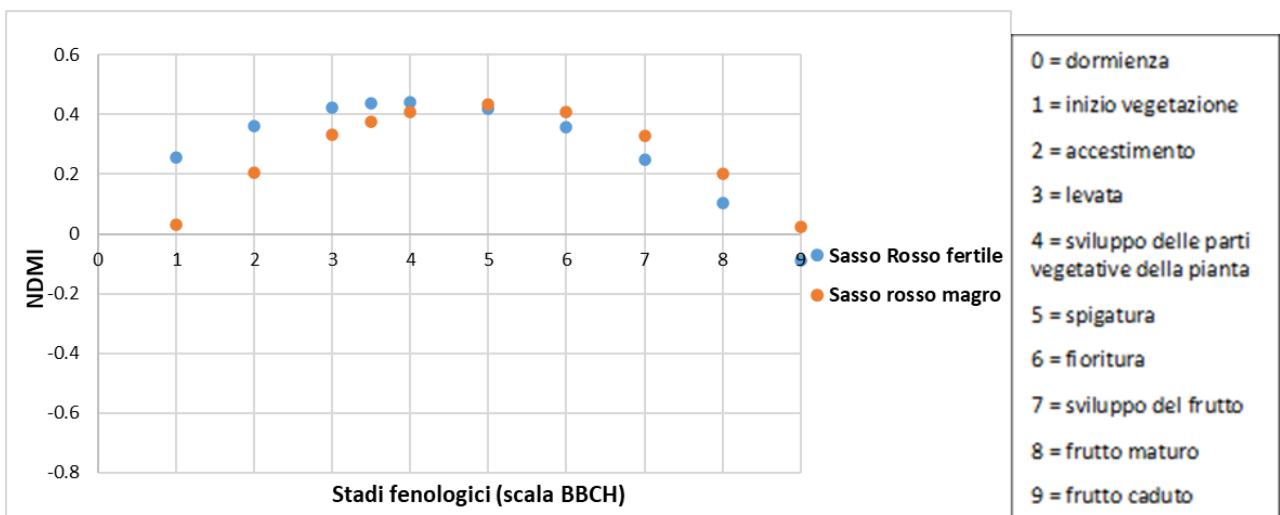


Figura 55: valori di NDMI presenti alle diverse fasi fenologiche in malga Sasso Rosso, suddivisi per aree magre e aree fertili.

3.5 Altezza dell'erba

Dalle misure di altezza dell'erba è stato possibile ricostruire l'andamento di crescita di quest'ultima per ogni malga, suddiviso in zone ad elevata e bassa fertilità:

- Malga Melette di Foza
 - Per l'area ad alta fertilità $y = -0,0085x^2 + 3,11x - 251$ e $R^2 = 0,716$;
 - Per l'area a bassa fertilità $y = -0,0102x^2 + 3,90x - 335$ e $R^2 = 0,820$.dove
Y = altezza dell'erba, centimetri (cm)
X = data, giorni giuliani

- Malga Zomo
 - Per l'area ad alta fertilità $y = -0,0035x^2 + 1,26x - 88,7$ e $R^2 = 0,794$;
 - Per l'area a bassa fertilità $y = -0,001x^2 + 0,714x - 60,2$ e $R^2 = 0,800$.dove
Y = altezza dell'erba, centimetri (cm)
X = data, giorni giuliani

- Malga Sasso Rosso
 - Per l'area ad alta fertilità $y = -0,0036x^2 + 1,47x - 128$ e $R^2 = 0,931$;
 - Per l'area a bassa fertilità $y = -0,0041x^2 + 1,62x - 134$ e $R^2 = 0,624$.dove
Y = altezza dell'erba, centimetri (cm)
X = data, giorni giuliani

Comparando le situazioni ad alta e bassa fertilità presenti all'interno di ogni malga, si può osservare che malga Zomo e malga Sasso Rosso hanno degli andamenti molto simili che però risultano distanti da quelli di malga Melette di Foza. Nelle malghe di quota più bassa vediamo infatti che nel periodo iniziale l'altezza dell'erba delle aree fertili è superiore a quella delle aree magre, mentre con l'avanzare della stagione questa tendenza si inverte e la differenza di altezza tra le due situazioni diventa sempre più pronunciata a favore delle aree magre (figure 57 e 58). La situazione presente è il risultato dell'effetto del brucamento della mandria al pascolo gestita tramite un sistema di pascolamento libero, tecnica dove gli animali sono liberi di pascolare liberamente e continuativamente su una superficie senza la presenza del pastore e senza alcun limite spaziale. Gli animali riescono così a scegliere le aree migliori dove mangiare, andando a prediligere quelle

tendenzialmente più pianeggianti dotate di erba con valore foraggero maggiore, ovvero le aree ad elevata fertilità. Continuando le vacche a selezionare queste aree giorno dopo giorno, l'atteso andamento dove le aree fertili mostrano altezze maggiori durante gran parte della stagione estiva si è modificato, mostrando invece altezze più elevate in aree magre. L'effetto del brucamento si evidenzia dunque nella modifica della pendenza della curva di crescita delle aree fertili. In malga Melette di Foza si osserva che gli andamenti delle due curve sono paralleli durante tutto il periodo di analisi. Anche questo risultato è dovuto al sistema di pascolamento utilizzato, ovvero il pascolamento a rotazione, il quale permette di utilizzare in maniera molto omogenea tutte le superfici malghive tramite l'installazione di recinti mobili che limitano la selezione spaziale della mandria. Dalla figura 59 si nota inoltre, rispetto alle altre due malghe, l'assenza dell'incrocio iniziale delle due curve di crescita: infatti l'altezza dell'erba delle aree magre è anche inizialmente maggiore rispetto alle aree fertili. Questo risultato è presumibilmente dovuto al brucamento di animali selvatici a carico soprattutto del pascolo fertile durante la prima parte di stagione. Più volte durante i rilievi in malga Melette di Foza si è avvistata fauna selvatica, probabilmente perché la malga è difficilmente raggiungibile sia in auto che a piedi e la conseguente scarsa presenza dell'uomo disturba meno gli animali. In particolare, più volte si sono avvistati una coppia di cervi (*Cervus elaphus* L.) e un gruppo di mufloni (*Ovis aries* L.) composto da cinque individui che brucavano nelle vicinanze del centro aziendale (figura 56). Questi animali potrebbero aver avuto un impatto maggiore sulle aree fertili che sulle aree magre, perché più appetite e con una presenza nettamente minore di *Deschampsia cespitosa*, specie dai margini fogliari taglienti poco gradita agli erbivori.

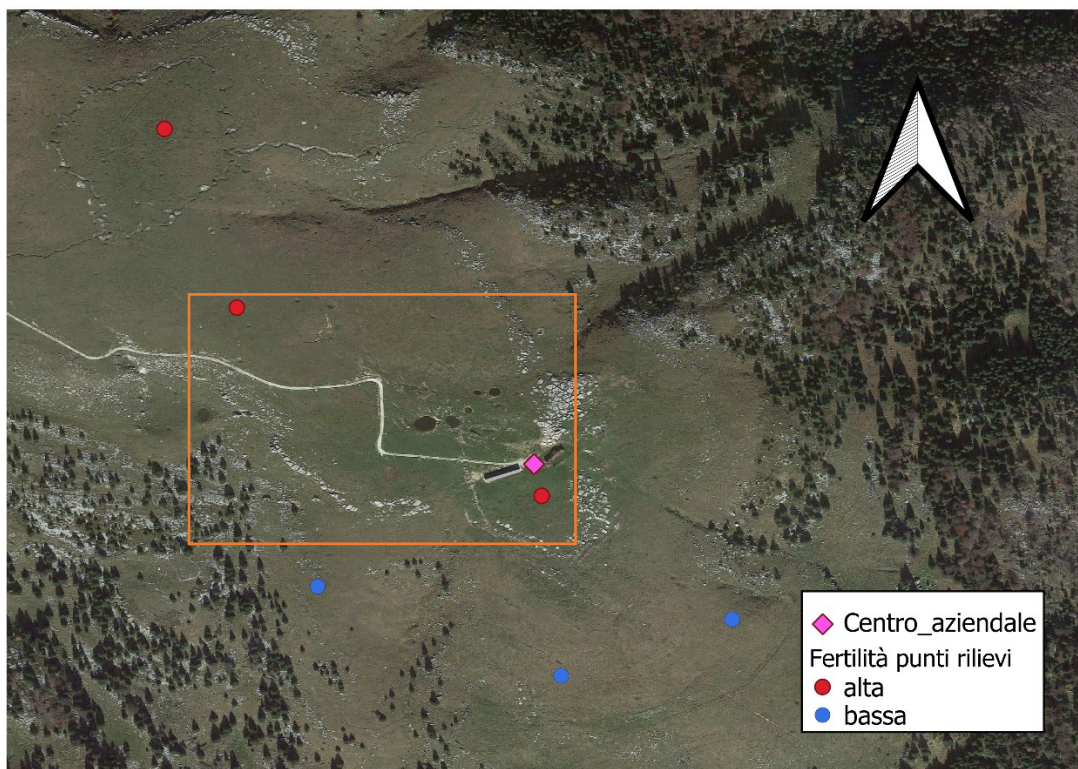


Figura 56: immagine satellitare rappresentante parte della superficie di malga Melette di Foza. Il quadrato arancione indica l'area di avvistamento del gruppo di mufloni.

In tutte e tre le malghe si osserva in maniera chiara lo stesso andamento delle curve di altezza (figure 57, 58 e 59). Si distinguono tre fasi:

- **Fase di crescita rapida:** nel primo tratto di curva si nota una crescita che parte con una pendenza più elevata e va ad addolcirsi con l'avanzare dei giorni. Questo risultato è dovuto soprattutto alla presenza di graminacee sul pascolo che, entrando nella fase riproduttiva, cominciano a innalzarsi velocemente grazie alla produzione di fusti fertili su cui porteranno gli organi riproduttivi. Essa è in parte dovuta all'effetto di copertura della neve. Questa mantiene le piante in fase latente fino al suo scioglimento, quando i gradi utili di temperatura giornalieri sono già alti permettendo una rapida crescita dell'erba.
- **Fase di crescita lenta:** dopo la prima fase, la crescita rallenta fino a raggiungere un punto in cui la produzione del pascolo rimane pressoché costante per un periodo di tempo limitato. Questa fase coincide con il raggiungimento dell'altezza massima dei fusti fertili delle graminacee.
- **Fase di decrescita:** dopo la fioritura, la produzione e la caduta del frutto, le graminacee entrano in una fase di senescenza dove i fusti fertili della pianta cominciano a deperire, mostrando quindi un calo dell'altezza dell'erba. Questo è visibile soprattutto nella malga di

quota inferiore, malga Sasso Rosso, dove nell'epoca del rilievo vegetazionale il ciclo vegetativo si trovava in uno stadio più avanzato rispetto alle altre due malghe.

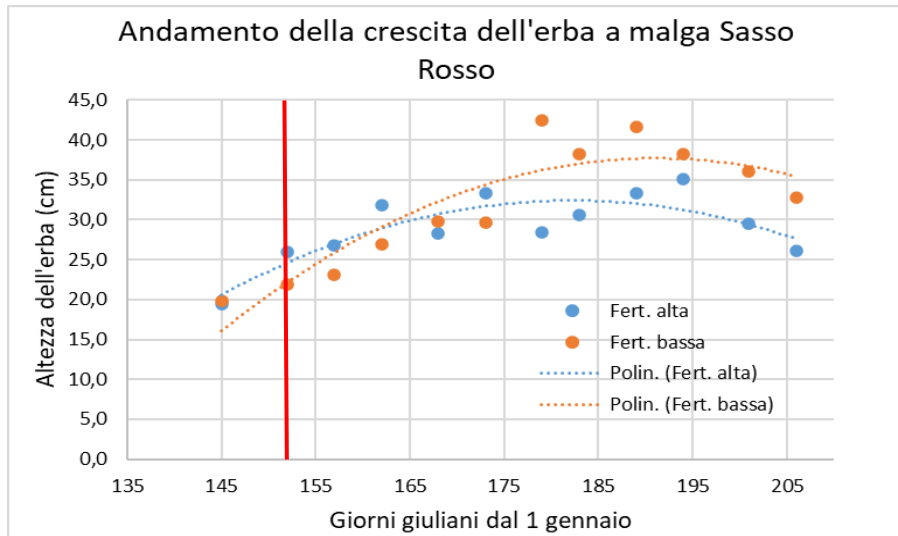


Figura 57: Andamento della crescita dell'erba a malga Sasso Rosso. La linea rossa indica la data di monticazione del bestiame (30/05) e quindi l'inizio dell'attività di brucamento da parte degli animali da reddito.

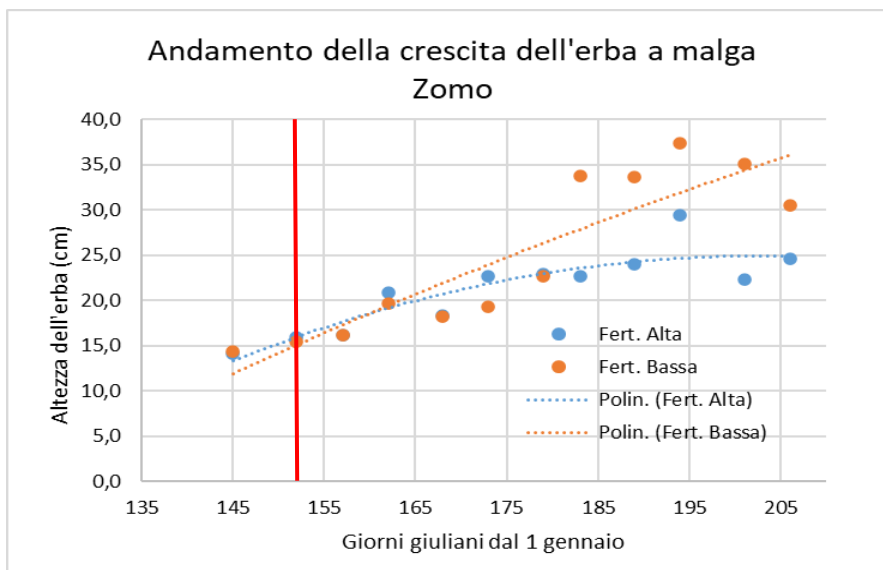


Figura 58: Andamento della crescita dell'erba a malga Zomo. La linea rossa indica la data di monticazione del bestiame (01/06) e quindi l'inizio dell'attività di brucamento da parte degli animali da reddito.

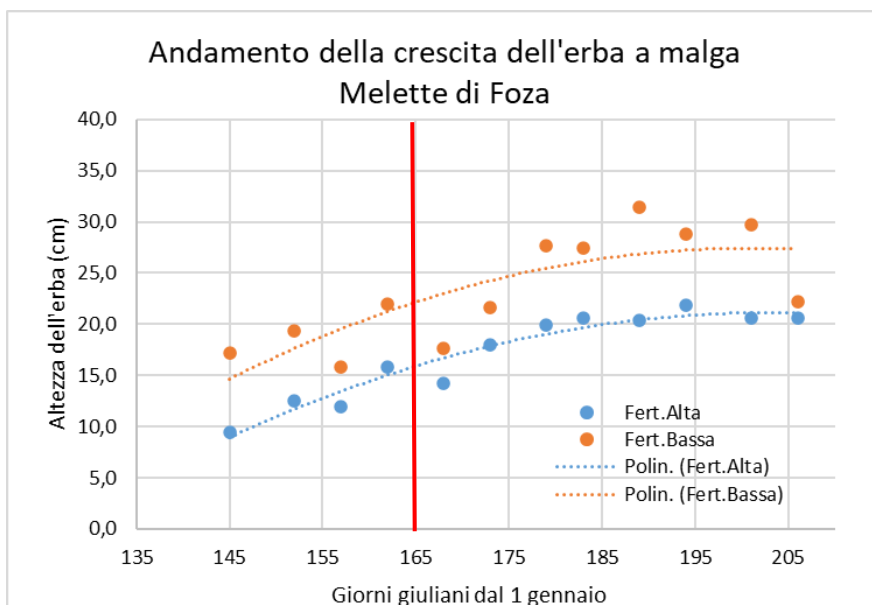


Figura 59: Andamento della crescita dell'erba a malga Melette di Foza. La linea rossa indica la data di monticazione del bestiame (12/06) e quindi l'inizio dell'attività di brucamento da parte degli animali da reddito.

Paragonando invece gli andamenti di crescita delle diverse malghe, considerati per lo stesso livello di fertilità, è possibile osservare due principali risultati. Con riferimento al pascolo fertile in figura 60, si osserva che le altezze raggiunte in malga Zomo e Melette di Foza sono nettamente inferiori a quelle di malga Sasso Rosso. Questo è sicuramente dovuto al differente periodo in cui ha avuto effetto il pascolamento selettivo degli animali alpeggiati, anche se da un punto di vista prettamente calendaristico, le date di monticazione sulle tre malghe sono molto vicine tra loro. Quando il pascolamento inizia più tardi rispetto all'inizio del periodo vegetativo (caso della malga Sasso Rosso), l'erba dispone di più tempo per crescere e riesce a raggiungere un'altezza più elevata, mentre quando il pascolamento inizia prima, l'effetto risulta più impattante sull'erba che riesce a crescere meno. Nelle aree magre (figura 61) si osserva che l'altezza dell'erba raggiunge un picco simile nelle malghe Zomo e Sasso Rosso (37 cm), dove il brucamento è stato quasi nullo, mentre in malga Melette di Foza l'altezza massima è minore e la curva si appiattisce.

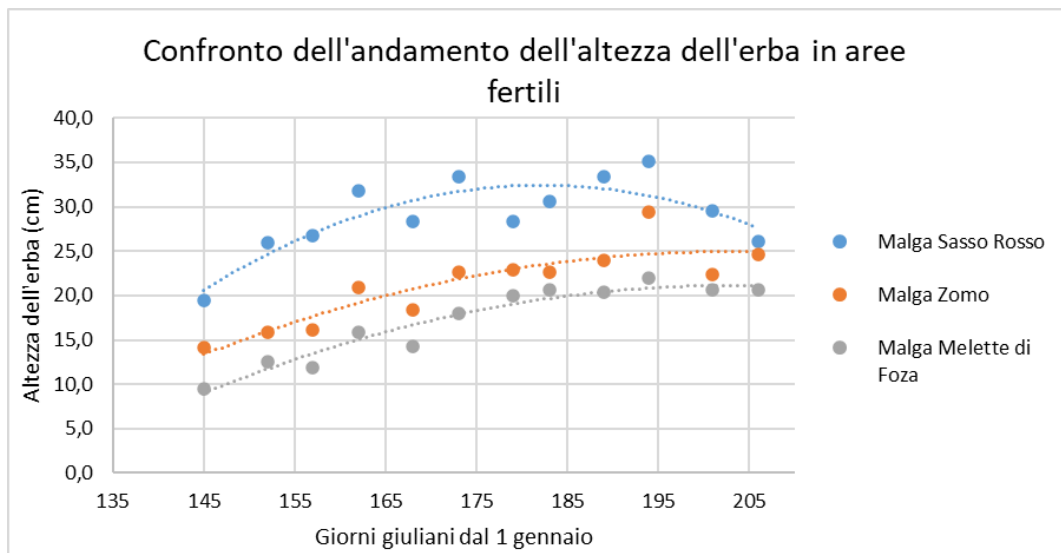


Figura 60: confronto tra accrescimento dell'erba in aree fertili nelle tre malghe oggetto di studio.

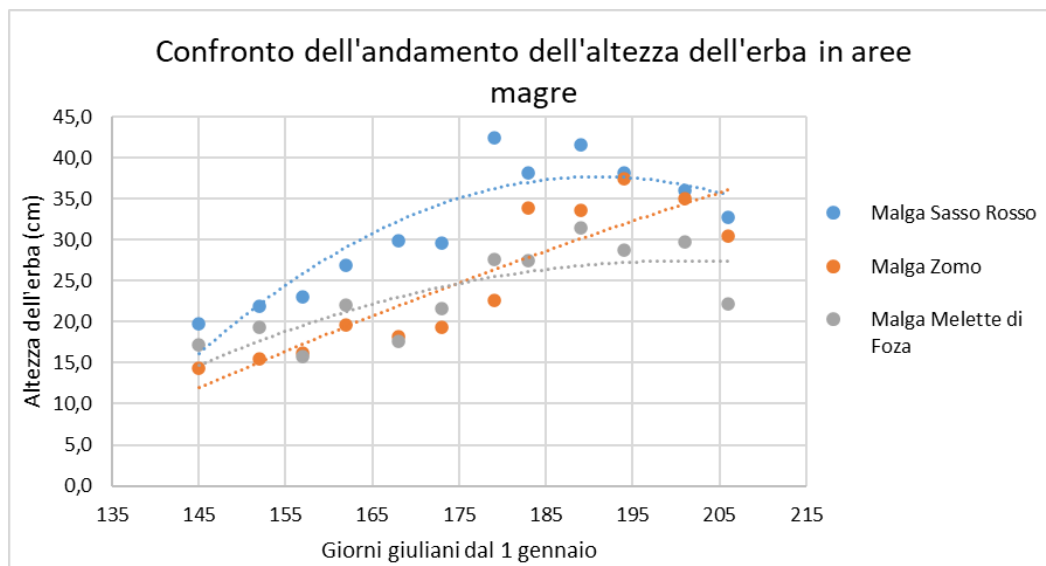


Figura 61: confronto tra accrescimento dell'erba in aree magre nelle tre malghe oggetto di studio. Per malga Zomo ci si aspetta un progressivo calo della crescita per poi iniziare la fase di decrescita.

3.6 Analisi dei metodi di stima dell'inizio, della fine e della lunghezza della stagione vegetativa

Dalle tre metodologie descritte nel capitolo 2.3.2, utilizzabili per la stima di inizio, fine e lunghezza del periodo vegetativo, si sono ricavati dei risultati abbastanza discordanti (tabella 8). Si è ritenuto che L'ETCCDI Climate index", ovvero il modello climatologico, sia il più affidabile e il più vicino alla realtà in quanto utilizza sia una base dati molto solida, ovvero la temperatura, e le date di inizio

(“Start Of the Season”, SOS) e fine stagione vegetativa (“End Of the Season”, EOS) coincidono con le date di scioglimento della neve e innevamento delle superfici analizzate.

Tabella 8: date in giorni Giuliani dell'inizio (SOS) e della fine (EOS) della stagione vegetativa per i 3 diversi metodi. In ultima riga è stata calcolata la deviazione standard tra i giorni di accadimento della SOS e delle EOS sulle diverse malghe. Il metodo Orusa si è calcolato con un $\varphi = 0,5$.

	Giorni giuliani					
	SOS			EOS		
	Orusa 0.5	Modis	ETCCDI	Orusa 0.5	Modis	ETCCDI
Melette di foza	133	137	134	302	284	323
Zomo	131	142	124	309	287	324
Sasso Rosso	131	140	121	310	286	329
Dev standar	6.86			17.26		

Confrontando i diversi risultati ottenuti si può constatare che l’aspetto più critico riguarda il calcolo della EOS (deviazione standard di 17/18 giorni), mentre la SOS evidenzia una deviazione standard di soli 6/7 giorni (tabella 8). Considerando che le analisi sono state svolte sulle immagini del satellite “Sentinel – 2”, e che il suo passaggio sulle aree campione avviene ogni 5 giorni, si può confermare che per il calcolo della SOS i metodi satellitari sono affidabili. Più in specifico, è possibile individuare che il metodo Orusa sia significativamente più preciso rispetto al metodo Modis (tabella 9), in quanto sia per il calcolo della SOS che della EOS si osserva che le date calcolate con Modis, rispetto a quelle calcolate da Orusa, sono sempre più distanti dalle date dell’ETCCDI in tutte e tre le malghe. Infatti, la media dei giorni di differenza tra l’ETCCDI e il metodo Orusa è 6 giorni nella SOS e 18 giorni nella EOS, mentre la distanza media tra il metodo ETCCDI e il metodo MODIS è di 13 giorni nella SOS e 39 giorni nella EOS. Questi risultati confermano quanto già previsto da diversi autori, tra cui Orusa e Matsushita (Matsushita et al., 2007; Orusa et al., 2023). Essi affermano infatti che in aree montane l’NDVI (usato con il metodo Orusa) ha un’efficacia maggiore rispetto all’indice EVI (usato con il metodo Modis) perché riesce ad eliminare l’effetto del diverso angolo di incidenza solare (capitolo 1.4.5). In tabella 9 si nota di nuovo la difficoltà dei metodi satellitari nel calcolo della EOS rispetto alla SOS. In particolare, si nota come questi tendano ad anticipare, anche in larga misura, la data di fine stagione vegetativa. Questa difficoltà è presumibilmente dovuta alle condizioni fisiche, chimiche e fenologiche in cui si trova la fitocenosi erbacea, in particolar modo alla colorazione prevalente che assume la vegetazione in questi due lassi di tempo. Ad inizio stagione, dopo lo scioglimento della neve, la vegetazione presenta un colore verde intenso ed il passaggio da una copertura bianca ad una verde è facilmente rilevabile da satellite. A fine stagione invece, la carenza di acqua rispetto ai

mesi primaverili (Defila, 1991) e la presenza di strutture riproduttive ormai disseccate, portano ad un calcolo anticipato della EOS quando realizzato con indici vegetazionali basati su immagini satellitari. Per il metodo Orusa è però possibile intervenire manualmente per modificare il valore soglia di NDVI (τ) alla quale inizia o termina la stagione vegetativa, modificando il coefficiente ϕ (capitolo 2.3.2). Sono stati applicati tre ϕ differenti che hanno modificato sensibilmente la durata della stagione vegetativa:

- Utilizzando il $\phi_1 = 0,2$, si allunga la stagione vegetativa;
- Utilizzando il $\phi_2 = 0,5$ si ottengono risultati intermedi;
- Utilizzando il $\phi_3 = 0,8$ si accorcia la stagione vegetativa.

Paragonando i risultati con i diversi ϕ rispetto al metodo ETCCDI è quindi consigliabile utilizzare l'indice ϕ_2 nella SOS e l'indice ϕ_3 per la EOS, poiché sono quelli con un numero minore di giorni di differenza (tabella 10).

Tabella 9: differenze di giorni tra i metodi Orusa (O) e Modis (M) rispetto al metodo ETCCD (A) nella stima di calcolo della SOS e della EOS. Il metodo Orusa si è calcolato con un $\phi = 0,5$.

	Giorni giuliani			
	SOS		EOS	
	O - A	M - A	O - A	M - A
Melette di Foza	-1	3	-21	-39
Zomo	8	18	-15	-36
Sasso Rosso	10	19	-20	-43
Media	6	13	-18	-39

Tabella 10: differenza tra le date calcolate con i diversi ϕ di Orusa (O) e le date calcolate con il metodo ETCCDI (A). Si distingue:

- O02: Orusa con $\phi = 0,2$;
- O05: Orusa con $\phi = 0,5$;
- O08: Orusa con $\phi = 0,8$.

	Giorni giuliani					
	SOS			EOS		
	O02 - A	O05 - A	O08 - A	O08 - A	O05 - A	O02 - A
Melette di Foza	-13	-1	11	-5	-21	-110
Zomo	-7	8	20	0	-15	-85
Sasso Rosso	-8	10	22	-6	-20	-88
Media	-9	6	18	-4	-18	-94

3.7 Calcolo del corretto periodo di monticazione

Individuare il corretto periodo di monticazione nelle malghe alpine e prealpine permette di ottenere una ottimale utilizzazione dell'erba al pascolo ed al contempo di aumentare l'apporto alimentare al bestiame sia in termini di quantità e qualità (Klapp, 1971, pag. 440 - 441). Questo periodo può essere individuato quando l'erba raggiunge un'altezza compresa tra i 18 e 28 cm o quando le graminacee raggiungono lo stadio di levata (capitolo 1.3). Dall'analisi effettuate su pascoli posti tra una quota di 1200 e i 1700 m s.l.m., questo periodo si colloca tra metà maggio e metà giugno e la sua durata varia tra gli 8 e i 15 giorni (tabella 11). Ogni 300 metri di dislivello la fase di levata si presenta mediamente con 10 giorni di differenza. Questo significa che all'aumentare di 100 metri di quota il corretto periodo di monticazione viene posticipato di 3/4 giorni. Paragonando le date reali di monticazione con quelle fenologicamente più corrette, è possibile osservare che le malghe poste a quota maggiore mostrano delle date di monticazione reale comprese nel periodo ottimale di carico delle stesse, mentre malga Sasso Rosso risulta essere caricata con un ritardo di una settimana. È dunque presumibile che le date tradizionali di carico del bestiame presenti in Altopiano di Asiago siano corrette per malghe poste a quota superiore a 1400 m, mentre per malghe a quote inferiori esiste una tendenza a caricarle con un ritardo compreso tra i 7 e i 14 giorni (tabella 11). Questa tendenza potrebbe essere dovuta a due fattori principali, ovvero l'aumento delle temperature medie causato dai cambiamenti climatici e il mancato adattamento delle modalità di utilizzo delle malghe a questi cambiamenti. La conseguenza di ciò è che le date di monticazione che in passato potevano essere corrette, siano diventate sempre meno valide e che le stesse richiedano una loro revisione.

*Tabella 11: data di monticazione ottimale e reale sulle tre malghe di progetto.
MF: Malga Melette di Foza;
Z: Malga Zomo;
SR: Malga Sasso Rosso.*

	Date levata			Data di monticazione reale
	Inizio levata	Media levata	Fine levata	
MF	1/6	8/6	16/6	12/6
Z	22/5	27/5	5/6	1/6
SR	16/5	21/5	24/5	30/5

Per ovviare a questa problematica si è cercata una soluzione elastica in grado di calcolare anno per anno la data corretta di inizio monticazione. Si è quindi associata la fenologia e la crescita dell'erba ai valori di somma termica e dell'indice vegetazionale NDMI (capitoli 3.2 e 3.4).

Dai risultati ottenuti si è potuto osservare che l'utilizzo della somma termica come metodo di previsione del corretto periodo di monticazione è mediamente efficace, anche se presenta alcune problematiche derivanti dalla variabilità climatica. La distribuzione dei pascoli a quote differenti e la presenza di ecotipi adattati a vivere a cicli vegetativi con durate molto differenti, fanno sì che la fase di levata venga raggiunta a somme termiche più basse ad alta quota e a somme termiche più alte a bassa quota (figura 62). Oltre a questo, bisogna aggiungere che la temperatura viene influenzata da condizioni stazionali e viene calcolata sulla base di misure effettuate da stazioni meteo poste a diversi chilometri di distanza. È quindi impossibile dare un valore di somma termica unico e preciso che possa definire il corretto periodo di monticazione del pascolo, ma si presume che sulla base della ripetizione delle analisi prevista sarà possibile individuare un range sufficientemente stretto di somma termica entro il quale considerare corretta la data di inizio pascolamento. Un altro fattore molto variabile negli anni è la copertura e le precipitazioni nevose. L'inizio del calcolo della somma termica in aree montuose va fissato a partire dal primo giorno di scioglimento del manto nevoso, ma questo, anche se di semplice concetto, risulta complesso da individuare con precisione vista la disomogeneità di scioglimento della neve al pascolo, dovuta principalmente alle diverse esposizioni presenti, e la sua difficoltà di rilievo da remoto tramite telerilevamento.

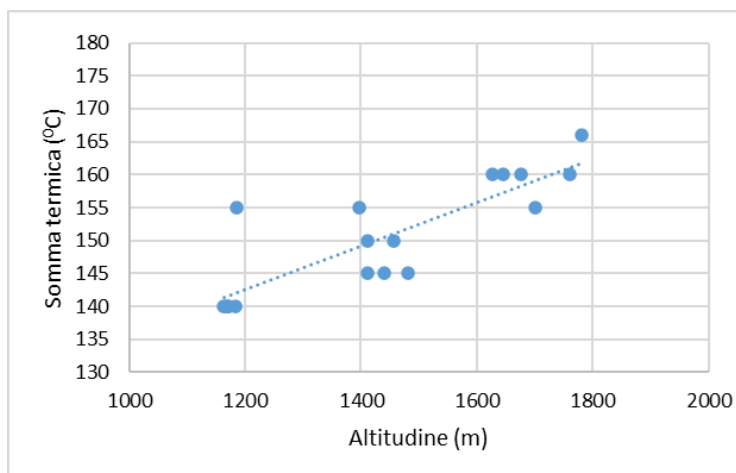


Figura 62: data di raggiungimento della fase "media" di levata in funzione della quota.

Completamente indipendente da fattori climatici è invece l'indice NDMI, il quale dipende invece essenzialmente dal contenuto di acqua nella vegetazione, nel suolo e, in caso di flora erbacea, dall'altezza della vegetazione stessa (capitolo 1.4.4). Analizzando i valori di NDMI nella fase di levata (fase 3) ottenuti nelle 18 aree di saggio (capitolo 3.4), si nota immediatamente una differenza sostanziale tra le aree fertili e quelle magre: nelle prime la media dei valori di NDMI ammonta a 0,41,

mentre nelle seconde equivale a 0,30 (tabella 12). Il fattore che, come è stato sopra osservato, influenza sensibilmente questi parametri è la pendenza, la quale è maggiore nelle aree magre. Essa, oltre a rendere difficile o impossibile la concimazione con mezzi meccanici delle superfici, favorisce il deflusso superficiale e sotterraneo dell'acqua creando degli ambienti più secchi. Una volta separate le aree di saggio nelle due categorie di pascolo, si nota però come i valori di NDMI cambino poco durante tutto il periodo della levata, mostrando una deviazione standard equivalente a 0,049 nelle aree fertili e 0,051 nelle aree magre. La scarsa variabilità entro le stazioni con stessa fertilità permette, al contrario della somma termica, di utilizzare i valori medi di riferimento per la decisione relativa al momento migliore per l'inizio del pascolamento. Per riuscire a prevedere con un certo anticipo il verificarsi dei valori sopra indicati è necessario ricordare l'andamento dell'indice NDMI nella prima parte di stagione. Nelle figure 45 e 46 si osserva che all'inizio del periodo vegetativo gli accrescimenti di NDMI sono maggiori, mentre quando ci si avvicina al picco gli accrescimenti dell'indice calano. Questo succede perché l'andamento dei valori di NDMI forma una curva a campana che arriva al suo picco nelle fasi 4 e 5 (figure 51 e 52), ovvero nel periodo di sviluppo della guaina della foglia più alta (fase 4 della scala BBCH) e nella fase di spigatura (fase 5 della scala BBCH) (capitolo 3.4). Risulta quindi abbastanza semplice prevedere il periodo corretto di monticazione, analizzando nei mesi precedenti l'andamento dell'NDMI in modo da individuare il calo di incremento dell'indice che avviene con l'avvicinarsi ai valori ottimali. L'unico elemento problematico di questo metodo è il tempo di ritorno dei satelliti e quindi la disponibilità dei valori di NDMI. In Altopiano di Asiago le immagini satellitari Sentinel 2 sono disponibili solamente ogni cinque giorni ed è quindi possibile misurare i valori di NDMI solo con questa cadenza temporale. Questo non riduce tuttavia l'efficacia del metodo proposto visto che la durata della levata, corrispondente al periodo corretto di inizio monticazione, è di 13 giorni circa.

Tabella 12: data di accadimento e valori di somma termica, altezza dell'erba e NDMI nei tre momenti della levata (inizio levata, media levata e fine levata).

MEDIE per tipo di pascolo	Pingue			Magro		
	Inizio levata	Media levata	Fine levata	Inizio levata	Media levata	Fine levata
Data di stadio 50% (giorno giuliano)	23/5	29/5	4/6	24/5	29/5	5/6
Somma termica alla data dello stadio	275	344	421	293	347	448
Altezza erba alla data dello stadio	13.2	16.1	17.8	11.1	16.7	17.3
NDMI alla data dello stadio	0.396	0.415	0.420	0.270	0.304	0.341

4. CONCLUSIONI

Nelle malghe alpine di proprietà comunale, la scelta della data di monticazione è sempre stata negli anni affidata alle decisioni degli allevatori, che con esperienza e tradizione hanno sempre caricato le malghe in periodi più o meno corretti. La decentralizzazione di questa scelta è dovuta all'impossibilità del personale comunale o della comunità montana di controllare direttamente su ogni malga se le condizioni dell'erba siano idonee all'inizio del pascolamento. Inoltre il riscaldamento globale, il quale ha colpito con maggiore intensità le aree montane, ha iniziato a rendere obsolete le date tradizionali di carico utilizzate dagli allevatori, soprattutto in malghe di quota più bassa. Inizia quindi ad essere necessario uno strumento in grado di valutare l'accrescimento dell'erba per determinare in modo rapido ed efficace la data ottimale di inizio pascolamento. Lo sviluppo della tecnologia e del telerilevamento può offrire una valida soluzione. L'obiettivo principale dello studio è stato quello di associare rilievi fenologici idonei a definire in campo il momento ottimale di inizio pascolamento a un indice vegetazionale ricavato da immagini satellitari, in grado di descrivere l'accrescimento dell'erba. Lo stadio fenologico considerato ottimale per l'inizio del pascolamento è quello della levata (fase 3 della scala BBCH), ovvero quando le graminacee cominciano ad allungare i fusti su cui porteranno gli apparati riproduttivi. Per svolgere le analisi si sono individuate 3 malghe poste a quote differenti: malga Sasso Rosso (1174 m s.l.m.) malga Zomo (1433 m s.l.m.) e malga Melette di Foza (1699 m s.l.m.). Da un lato si sono quindi eseguiti rilievi di campo in cui è stato studiato il progressivo sviluppo fenologico delle specie prative e dall'altro si è analizzato il progressivo andamento dell'indice NDMI durante la stagione vegetativa. Dalle analisi di campo compiute nel primo anno di ricerca (2023) è evidente che il fattore che maggiormente influisce sull'andamento fenologico delle specie prative è la temperatura. Molti autori hanno evidenziato come anche altri fattori come umidità dell'aria e del suolo, fertilità, esposizione e durata del giorno influiscono sulla fenologia, ma in ambienti a clima temperato questi fattori diventano poco importanti rispetto all'effetto che ha la temperatura (Defila, 1991; Wielgolaski, 1999). Al riguardo anche la quota è risultata essere un fattore importante. Paragonando la data di raggiungimento di un certo stadio fenologico tra le diverse malghe si è inoltre evidenziato che, in aree caratterizzate da ricorrenti precipitazioni nevose durante la stagione invernale, all'aumentare di 100 metri di altitudine lo stesso stadio fenologico viene raggiunto mediamente con 2,6 giorni di ritardo. Questo valore si riduce a 2,3 in aree fertili e aumenta a 2,9 in aree magre. Inoltre il tempo di passaggio da uno stadio fenologico al successivo è mediamente più basso in malghe poste a quota maggiore rispetto a malghe poste a quota minore. In malga Melette di Foza la vegetazione impiega infatti 11/12 giorni per passare da

uno stadio fenologico al successivo, mentre in malga Zomo impiega 13/14 giorni. Questo è dovuto all'adattamento delle vegetazioni di alta quota a resistere ad altitudini dove la lunghezza del ciclo vegetativo è ridotto. Le specie di queste vegetazioni, che in alcuni casi possono risultare le stesse di quelle di vegetazioni poste a quote inferiori, necessitano quindi di una disponibilità di calore ed energia minore per completare il loro ciclo vitale. Mediamente queste specie riescono a sviluppare il loro ciclo con somme termiche di 118 °C inferiori rispetto a quelle di quota più bassa. Questa capacità permette alle specie di alta quota di velocizzare il loro sviluppo soprattutto nella fase iniziale della stagione, riuscendo a raggiungere la fioritura, il periodo più significativo del ciclo biologico di una pianta, all'incirca nello stesso periodo delle vegetazioni di quote più basse. Osservando questi risultati è dunque problematico utilizzare la somma termica per la previsione del corretto periodo di monticazione, in quanto la fase di levata viene raggiunta a somme termiche differenti su malghe della fascia subalpina rispetto a quelle di fasce altimetriche minori. Al riguardo sarebbe tuttavia ipotizzabile determinare valori di somma termica connessi alla levata delle graminacee principali di pascolo variabili in funzione della quota, in particolare decrescenti all'aumentare della quota. In alternativa e/o in aggiunta è quindi anche utile utilizzare dei parametri indipendenti da fattori climatici e ambientali, come gli indici vegetazionali. Essi sono ricavati da immagini satellitari e riescono a descrivere particolari caratteristiche della vegetazione. L'indice individuato in questo lavoro è il "Normalized Difference Moisture Index" (NDMI), il quale riesce a descrivere in maniera eccellente l'accrescimento dell'erba saturando nelle date in cui questa raggiunge la massima altezza. Esso è sensibile al contenuto di acqua all'interno delle piante e risponde positivamente alle sovrapposizioni di strati vegetazionali, come foglie e fusti, che normalmente avvengono con la crescita dell'erba. L'analisi degli andamenti dell'NDMI sulle aree di saggio poste nelle tre malghe oggetto di tesi ha mostrato che questo indice segue una curva a campana che culmina quando l'erba ha l'altezza maggiore, ovvero tra la fase di levata delle graminacee (fase 3 della scala BBCH) e la fase di spigatura (fase 5 della scala BBCH). Successivamente si osserva un continuo e costante declino. I valori minimi si attestano attorno tra lo 0 e il -0,1, mentre quelli massimi variano in funzione della fertilità dell'area. In aree magre questi arrivano a valori vicini a 0,38, mentre in aree fertili questi si aggirano attorno al valore di 0,43. Questo è dovuto alla capacità dell'indice NDMI di captare anche l'umidità presente nel suolo, che è di solito maggiore in aree fertili dove la pendenza è ridotta, mentre è minore in aree magre dove l'aumento di inclinazione determina un maggiore percolamento dell'acqua attraverso il suolo. Mediamente, durante tutto il periodo di analisi, le differenze di valori riscontrate tra aree pingui e aree magre ammontano a: 0,199 a malga Melette di Foza, 0,186 a malga

Zomo e 0,156 a malga Sasso Rosso. Questa differenza si riscontra anche durante la fase di levata. Infatti, questo periodo, che risulta essere fondamentale in quanto contraddistingue il periodo ottimale di inizio pascolamento, si distingue tra due intervalli di valori, uno valevole per le aree pingui e uno valevole per le aree magre. Per quanto concerne le aree pingui l'intervallo è compreso tra 0,369 e 0,42, mentre per le aree magre è compreso tra 0,27 e 0,341. Questi valori risultano inoltre essere molto stabili durante tutto il periodo della levata, in quanto mostrano una deviazione standard molto bassa, equivalente a 0,049 nelle aree fertili e 0,051 nelle aree magre. I valori di NDMI più alti si sono registrati a malga Sasso Rosso, mentre quelli più bassi a malga Melette di Foza. Questo risultato sembra dipendere dall'altezza dell'erba: infatti a malga Sasso Rosso l'erba ha superato l'altezza di 40 cm, mentre in malga Melette di Foza l'erba non è riuscita a superare i 30 cm (figure 60 e 61).

I fattori principali che hanno influito sull'altezza dell'erba sono stati la tecnica di pascolamento adottata e la differenza di quantità di calore ed energia disponibili alle piante nelle due malghe. A malga Sasso rosso le temperature sono state ovviamente più elevate ed è stata utilizzata la tecnica del pascolamento libero. Questa tecnica fa sì che le aree magre e più scomode da raggiungere siano meno utilizzate dagli animali, favorendo quindi la crescita dell'erba stessa. A malga Melette di Foza le temperature più rigide hanno limitato l'accrescimento dell'erba ed è stata utilizzata la tecnica del pascolamento a rotazione, la quale prevede di suddividere il pascolo in porzioni omogenee tramite recinti e di far pascolare la mandria a rotazione per un periodo di tempo prestabilito su ognuna di queste porzioni. In questo modo il pascolo viene utilizzato più omogeneamente. A malga Zomo si riscontra invece una situazione intermedia data da temperature medie rispetto a malga Melette di Foza e malga Sasso rosso e alla presenza di un pascolamento condotto. Considerando quindi che la levata avviene ai valori dell'indice sopra indicati, i quali sono stabili rispetto alla somma termica e poco influenzati da clima e stagione, l'NDMI risulta quindi essere un indice affidabile per prevedere anno dopo anno da remoto il corretto periodo di inizio pascolamento. Dopo la necessaria validazione in ulteriori anni (attività, peraltro, in corso) e in un più ampio contesto geografico, questo metodo potrebbe essere proposto agli enti pubblici delegati alla gestione patrimoniale delle malghe per valutare in tempo reale il momento ottimale di inizio del pascolamento. Esso risulterebbe di semplice applicazione per chi possiede delle basi sui softwares QGIS e Google Earth Engine (GEE). Il metodo si compone infatti di tre semplici fasi applicative:

1. Individuazione e classificazione dei punti campioni sulle aree da analizzare;
2. Importazione del codice di programmazione in GEE per il calcolo dell'indice NDMI;

3. Esportazione degli andamenti temporali di NDMI.

La prima fase di questo metodo risulta essere la più laboriosa in quanto è necessario individuare per ogni malga del patrimonio comunale una serie di punti campioni di analisi. Questi diverrebbero le aree di saggio per le quali il codice di programmazione di GEE estrarrà le informazioni dalle immagini satellitari. I punti campione dovrebbero essere distribuiti omogeneamente su tutta la malga in modo da comprendere sia aree magre che aree pingui. Sarebbe quindi fondamentale saper distinguere questi tipi di vegetazione attraverso analisi di campo. Una volta distribuiti i punti sulla malga è necessario importare in GEE il codice di programmazione derivante da questo studio, modificando le date per far sì che siano attinenti al lavoro da eseguire, e importare su GEE lo shapefile contenente le informazioni di posizione dei punti individuati sulle singole malghe. Una volta eseguiti questi passaggi è necessario estrarre il foglio Excel contenente le informazioni datate dei valori di NDMI. Si hanno così per ogni malga gli andamenti temporali di NDMI per ogni punto campione. Quando i valori di NDMI sono prossimi ai valori che contraddistinguono la fase di levata, sarà possibile informare gli allevatori ed i malghesi per provvedere a caricare le malghe nel periodo più idoneo.

Un'altra tecnica applicabile per aiutare in questo caso i malghesi e gli allevatori per individuare con un certo anticipo l'arrivo del momento della monticazione, è l'osservazione di due graminacee con spigatura precoce: l'avena pubescente (*Avenula pubescens*) e il Paleo odoroso (*Anthoxanthum odoratum*). Alcune settimane prima della levata media delle graminacee dominanti, l'*Avenula pubescens* entra in fase di spigatura e l'*Anthoxanthum odoratum* entra in fase di fioritura. Quindi nel momento in cui il malghese osserva sul pascolo la presenza di entrambe queste specie negli stadi sopra indicati, diviene consapevole che a breve inizierà l'accrescimento dell'erba e con esso l'epoca ottimale di inizio pascolamento.

Parallelamente a questo studio si è eseguita un'ulteriore analisi della funzionalità di 2 software in grado di calcolare l'inizio, la fine e la durata della stagione vegetativa su pascoli alpini, sulla base dell'analisi di immagini satellitari. Il primo è il metodo "Metriche fenologiche MODIS Land Cover Dynamics (MCD12Q2)", il quale è un algoritmo che permette di mappare parametri fenologici sull'intera superficie del globo tramite le immagini elaborate del satellite MODIS. Il secondo è il metodo Orusa, il quale consente di estrapolare informazioni fenologiche da immagini sia del satellite MODIS che del satellite Sentinel-2. Per il calcolo dei parametri fenologici il metodo MODIS utilizza l'indice EVI2 mentre con il metodo Orusa è possibile utilizzare diversi indici vegetazionali, anche se è consigliato l'utilizzo dell'NDVI. Inoltre, con questo secondo metodo è possibile variare

manualmente le date risultanti, agendo sul valore dell'indice ϕ . Le date di inizio e fine stagione vegetativa ricavate con questi due metodi satellitari sono state paragonate ad un indice climatico elaborato dal "World Climate Research Programme", il quale consente di stimare l'inizio e la fine della stagione vegetativa tramite un'analisi delle temperature durante il corso dell'anno. I risultati hanno mostrato che entrambi i metodi riescono a stimare con una buona precisione la data di inizio stagione vegetativa (Start of the Season, SOS), al contrario della data di fine stagione vegetativa (End of the Season, EOS). I metodi satellitari, infatti, mostrano una certa difficoltà (errori elevati) nella stima di una EOS corretta (tabella 9). Inoltre si è potuto constatare che il metodo Orusa è quello più preciso in quanto sia per la SOS che per la EOS si avvicina di più al metodo climatico (tabella 9). Questo è dovuto alla diversa tipologia di indice vegetazionale che utilizzano i due metodi. Il metodo Orusa utilizza infatti l'indice NDVI, il quale risulta molto più efficace in aree montane perché, rispetto all'EVI2, riesce ad eliminare l'effetto del diverso angolo di incidenza solare dovuto dalle varie esposizioni dei versanti. Inoltre con il metodo Orusa è possibile ridurre gli errori di stima della EOS modificando l'indice ϕ , passando da un valore di 0,5 (ϕ_2) ad uno di 0,8 (ϕ_3). In questo modo la differenza di giorni tra il metodo Orusa e il metodo climatico si riduce da 18 a 4 (tabella 10). Considerato che i satelliti forniscono immagini multispettrali a partire dal 1970, questi metodi potranno in futuro essere usate per studi su larga scala geografica e temporale dell'effetto dei cambiamenti climatici in aree montane e fornire informazioni utili per una più idonea gestione dei sistemi apicolture delle nostre montagne.

5. BIBLIOGRAFIA

- Aide, T. M. (1991). Synchronous leaf production and herbivory in juveniles of *Gustavia superba*. *Oecologia*, 88(4), 511–514. <https://doi.org/10.1007/BF00317713>
- Antognelli, S. (2018, May 28). Indici di vegetazione NDVI e NDMI: istruzioni per l'uso. Consultato il 23 maggio, 2024, da <https://www.agricolus.com/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/>
- Barbi, A., Cagnati, A., Cola, G., Cecchetto, F., Chiaudani, A., Crepaz, A., ... Robert-Luciani, T. (2013). *Atlante climatico del Veneto. Precipitazioni - Basi informative per l'analisi delle correlazioni tra cambiamenti climatici e dinamiche forestali nel Veneto*. Mestre: Regione del Veneto.
- Bassignana, M., Bornard, A. (2001). Tipologia agroecologica delle vegetazioni d'alpeggio in zona intra-alpina nelle Alpi Nord-occidentali. *IAR-Cemagref*, 1, 134.
- Bleiholder, H., Weber, E., Van den Boom, T., Hack, H., Witzemberger, A., Lancashire, P. D., ... Stauss, R. (1990). A new uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. In *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases* (Vol. 2, pp. 667–672).
- Bliss, L. C. (1971). Arctic and Alpine Plant Life Cycles. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2, 405–438. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.02.110171.002201>
- Bovolenta, S., Cozzi, G., Tamburini, A., Timini, M., Ventura, W. (2005). L'alimentazione della vacca da latte in alpeggio: fabbisogni e strategie di integrazione alimentare. *L'alimentazione Della Vacca Da Latte al Pascolo: Riflessi Zootecnici, Agro-Ambientali e Sulla Tipicità Delle Produzioni*, 2, 29–44.
- Brivio, P. A., Lechi, G., Zilioli, E. (2006). *Principi e metodi di Telerilevamento*. CittàStudi.
- Brockhaus, F. A. (1972). Phänologie. In *Brockhaus Enzyklopädie* (Vol. 14: OST-POQ, pp. 514–515). F.A. Brockhaus Wiesbaden.
- Bruzzone, L., Marin, C., Santoni, M., Bovolo, F., Trenti, A., Beozzo, W. (2014). Mappe neve del Trentino con CRIOPAT: Generazione automatica e analisi di dati e statistiche sulla copertura nevosa mediante immagini multispettrali telerilevate. *Neve e Valanghe*, 83, 4–11.
- Camargo, M. G. G., Souza, R. M., Reys, P., Morellato, L. P. C. (2011). Effects of environmental conditions associated to the cardinal orientation on the reproductive phenology of the cerrado savanna tree *Xylopia aromatica* (Annonaceae). *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 83, 1007–1020. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652011005000014>
- Caprio, J. M. (1966). A statistical procedure for determining the association between weather and non-measurement biological data. *Agricultural Meteorology*, 3(1), 55–72. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(66\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(66)90005-7)
- Carpenter, F. L. (1976). Plant-Pollinator Interactions in Hawaii: Pollination Energetics of *Metrosideros Collina* (Myrtaceae). *Ecology*, 57(6), 1125–1144. <https://doi.org/10.2307/1935040>
- Cereti, C., Miglietta, F., Bullitta, P., Cavallero, A., Santilocchi, R., Talamucci, P., Ziliotto, U. (1987). Modello empirico semplificato della produzione di pascoli e prati-pascoli artificiali e possibilità di previsione dell'andamento produttivo. *Rivista Di Agronomia*, 21(2), 103–110.
- Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., Schwartz, M. D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(7), 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.003>
- Conrad, C. (1959). Über Schwankungen der Vegetationsperiode und über Variationen ausgewählter phänologischer Phasen von Kulturpflanzen. *Angew Meteorol*, 3, 193–205.
- Cornelius, C., Leingärtner, A., Hoiss, B., Krauss, J., Steffan-Dewenter, I., Menzel, A. (2013). Phenological response of grassland species to manipulative snowmelt and drought along an altitudinal gradient. *Journal of Experimental Botany*, 64(1), 241–251. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers321>
- Dalla Fior, G. (1969). *La nostra flora: guida alla conoscenza della flora della regione Trentino-Alto Adige* (3. ed.). Trento: G. B. Monauni.
- De Reaumur, M. (1735). Observations du thermomètre faites à Paris pendant l'année 1735 comparées avec celles qui ont été faites sous la ligne à l' Ile de France, à Alger et en quelques-unes de nos îles de l'Amérique. In *Histoire de l'Académie royale des sciences. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la meme Année* (pp. 545–576).
- Defila, C. (1991). *Pflanzenphänologie der Schweiz*. Schweizerische Meteorologische Anstalt.

- Dietl, W., Lehmann, J., Jorquera, M. (2005). *Le graminacee prative*. Bologna: Patron.
- Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. (2015). USGS EROS Archive - Sentinel-2 - Comparison of Sentinel-2 and Landsat. Consultato il 21 Maggio, 2024, da <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat>
- Eggers, T., Heidler, G. (1985). Entwicklungsstadien von Unkräutern. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, 37(5), 71–76.
- Eggers, T., Heidler, G. (1986). Weed growth stages. *Plant Research and Development*, 24, 57–69.
- Faust, V. (1976). *Biometeorologie: Der Einfluß von Wetter und Klima auf Gesunde und Kranke*. Stoccarda: Hippokrates-Verlag.
- Fenner, M. (1998). The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 1(1), 78–91. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00053>
- Freer, M. (1981). The control of food intake by grazing animals. *Grazing Animals*, B1, 105–124.
- Friedel, M. H., Nelson, D. J., Sparrow, A. D., Kinloch, J. E., Maconochie, J. R. (1993). What Induces Central Australian Arid Zone Trees and Shrubs to Flower and Fruit? *Australian Journal of Botany*, 41(3), 307–319. <https://doi.org/10.1071/bt9930307>
- Gamon, J. A., Field, C. B., Goulden, M. L., Griffin, K. L., Hartley, A. E., Joel, G., ... Valentini, R. (1995). Relationships Between NDVI, Canopy Structure, and Photosynthesis in Three Californian Vegetation Types. *Ecological Applications*, 5(1), 28–41. <https://doi.org/10.2307/1942049>
- Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gray, J., Sulla-Menashe, D., Friedl, M. A. (2019). *User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover Dynamics (MCD12Q2) Product*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Recuperato da https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MCD12Q2_Collection6_UserGuide.pdf
- Grignani, C., Reyneri, A., Curtoli, M. (1989). Effetti di fattori ambientali e agronomici sulla vegetazione e produttività dei prati montani (Val Chiusella, Alpi Occidentali). *Monti e Boschi*, 3, 5–12.
- Gusmeroli, F., Corti, M., Orlandi, D., Pasut, D., Bassignana, M. (2005). Produzione e prerogative qualitative dei pascoli alpini: riflessi sul comportamento al pascolo e l'ingestione. *L'alimentazione Della Vacca Da Latte al Pascolo. Riflessi Zootecnici, Agro-Ambientali e Sulla Tipicità Delle Produzioni*, 2, 7–28.
- Hardisky, M. A., Michael Smart, R., Klemas, V. (1983). Growth response and spectral characteristics of a short *Spartina alterniflora* salt marsh irrigated with freshwater and sewage effluent. *Remote Sensing of Environment*, 13(1), 57–67. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(83\)90027-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(83)90027-5)
- Herrera, C. M. (1984). A Study of Avian Frugivores, Bird-Dispersed Plants, and Their Interaction in Mediterranean Scrublands. *Ecological Monographs*, 54(1), 1–23. <https://doi.org/10.2307/1942454>
- Hess, M., Barralis, G., Bleiholder, H., Buhr, L., Eggers, Th., Hack, H., Stauss, R. (1997). Use of the extended BBCH scale - general for the descriptions of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species. *Weed Research*, 37(6), 433–441. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1997.d01-70.x>
- Hodgson, J. (1977). Factors limiting herbage intake by the grazing animals. In *Proceedings, International meeting on animal production from temperate grassland* (pp. 70–75). Dublin.
- Hülber, K., Winkler, M., Grabherr, G. (2010). Intraseasonal climate and habitat-specific variability controls the flowering phenology of high alpine plant species. *Functional Ecology*, 24(2), 245–252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01645.x>
- Inouye, D. W. (2008). Effects of Climate Change on Phenology, Frost Damage, and Floral Abundance of Montane Wildflowers. *Ecology*, 89(2), 353–362. <https://doi.org/10.1890/06-2128.1>
- Karl, T. R., Nicholls, N., Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. In T. R. Karl, N. Nicholls, & A. Ghazi (Eds.), *Weather and Climate Extremes* (pp. 3–7). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2
- Klapp, E. (1971). *Wiesen und Weiden: eine Grünlandlehre* (4a ed.). Berlino: Paul Parey.
- Kolver, E. S., Muller, L. D. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 81(5), 1403–1411. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75704-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75704-2)

- Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Van den Boom, T., Langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E., Witzemberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, 119(3), 561–601. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>
- Leaver, J. D. (1985). Milk production from grazed temperate grassland. *Journal of Dairy Research*, 52(2), 313–344. <https://doi.org/10.1017/S0022029900024201>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7a edizione). Wiley.
- Liu, H. Q., Huete, A. (1995). A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 457–465. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1995.8746027>
- Lutman, P. J. W., Tucker, G. G., Broad, H. (1987). Standard descriptions of growth stages of annual dicotyledonous weeds. *Annals of Applied Biology*, 110(3), 683–687. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1987.tb04188.x>
- Mahajan, U. (2016). Drones for Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to Estimate Crop Health for Precision Agriculture: A Cheaper Alternative for Spatial Satellite Sensors. In *Proceedings of the International Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Sciences, Biodiversity, Ecological Sciences and Climate Change (AFHABEC-2016)*. Delhi, India.
- Mahrer, T. (1985). *Untersuchungen über die herbstliche Laubverfärbung der Buche in der Region Liestai - Möhlin - Basel auf Grund von langjährigen phänologischen Beobachtungsreihen und ihre Zusammenhänge mit klimatologischen Parametern* (Tesi di dottorato). Politecnico federale di Zurigo.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., Qiu, G. (2007). Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Sensors*, 7(11), 2636–2651. <https://doi.org/10.3390/s7112636>
- Meier, U. (2018). *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants: BBCH Monograph*. <https://doi.org/10.5073/20180906-074619>
- Menzel, A. (2003). Plant Phenological Anomalies in Germany and their Relation to Air Temperature and NAO. *Climatic Change*, 57(3), 243–263. <https://doi.org/10.1023/A:1022880418362>
- Miller, P., Lanier, W., Brandt, S. (2001). Using Growing Degree Days to Predict Plant Stages, 59717, 994–2721.
- Müller, W., Köster, R., Trunk, M. (Eds.). (1982). Phänologie. *Duden Fremdwörterbuch* (4a ed., p. 586). Mannheim: Dudenverlag.
- Murali, K. S., Sukumar, R. (1993). Leaf flushing phenology and herbivory in a tropical dry deciduous forest, southern India. *Oecologia*, 94(1), 114–119. <https://doi.org/10.1007/BF00317311>
- Nordli, Ø., Wielgolaski, F. E., Bakken, A. K., Hjeltnes, S. H., Måge, F., Sivle, A., Skre, O. (2008). Regional trends for bud burst and flowering of woody plants in Norway as related to climate change. *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 625–639. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0156-5>
- Nuttonson, M. Y. (1957). Wheat-Climate Relationships and the Use of Phenology in Ascertaining the Thermal and Photo-thermal Requirements of Wheat. *AIBS Bulletin*, 7(1), 39. <https://doi.org/10.2307/1292056>
- Orlandi, D., Clementel, F. (1991). Valutazione della produttività di alcuni pascoli alpini sulla base degli indici ecologici di Landolt. *Assestamento Forestale e Alpicoltura*, 12, 223–245.
- Orlandi, D., Clementel, F., Bezzi, A. (1996). Modelli di calcolo della produttività di pascoli alpini. *ISAF, Comunicazioni Di Ricerca*, 96(2), 5–14.
- Orusa, T., Viani, A., Cammareri, D., Borgogno Mondino, E. (2023). A Google Earth Engine Algorithm to Map Phenological Metrics in Mountain Areas Worldwide with Landsat Collection and Sentinel-2. *Geomatics*, 3(1), 221–238. <https://doi.org/10.3390/geomatics3010012>
- Pellerin, M., Delestrade, A., Mathieu, G., Rigault, O., Yoccoz, N. G. (2012). Spring tree phenology in the Alps: effects of air temperature, altitude and local topography. *European Journal of Forest Research*, 131(6), 1957–1965. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0646-1>
- Primault, B. (1972). *Etude méso-climatique du canton de Vaud*. Lausanne: Office cantonal vaudois de l'urbanisme.
- Rayburn, E. (1993). Plant Growth and Development as the Basis of Forage Management. *WVU Agriculture and Natural Resources Fact Sheet*. Recuperato da https://researchrepository.wvu.edu/faculty_publications/3240

- Royo, J., Pérez-Badia, R. (2014). Effects of topography and crown-exposure on olive tree phenology. *Trees*, 28(2), 449–459. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0962-1>
- Santoni, M., Bruzzone, L. (2019, 14 maggio). Mappa neve da satellite: il progetto CRIOPAT (Versione 2.1). Trento: Remote Sensing Laboratory dell'Università di Trento. Recuperato da <http://46.226.204.24/>
- Schnelle, F. (1955). *Pflanzen-Phänologie*. Lipsia: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig.
- Snow, D. W. (1971). Evolutionary Aspects of Fruit-Eating by Birds. *Ibis*, 113(2), 194–202. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1971.tb05144.x>
- Stiles, E. W. (1980). Patterns of Fruit Presentation and Seed Dispersal in Bird-Disseminated Woody Plants in the Eastern Deciduous Forest. *The American Naturalist*, 116(5), 670–688. <https://doi.org/10.1086/283657>
- Takayama, N. (2018). Monitoring for Circumstance of Wildfire Occurrence in Kalimantan by Using Satellite Remote Sensing Data Based on GIS. *Jurnal Terapan Manajemen Dan Bisnis*, 4(1), 79. <https://doi.org/10.26737/jtmb.v4i1.600>
- Thompson, J. N., Willson, M. F. (1979). Evolution of Temperate Fruit/Bird Interactions: Phenological Strategies. *Evolution*, 33(3), 973–982. <https://doi.org/10.2307/2407660>
- UC IPM. (2016, 21 giugno). Degree Days: About Degree Days. Consultato il 22 maggio, 2024, from <https://ipm.ucanr.edu/WEATHER/ddconcepts.html>
- Wang, C., Chen, J., Wu, J., Tang, Y., Shi, P., Black, T. A., Zhu, K. (2017). A snow-free vegetation index for improved monitoring of vegetation spring green-up date in deciduous ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 196, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.031>
- Waser, N. M. (1983). The adaptive nature of floral traits: ideas and evidence. *Pollination Biology*, 1, 241–285.
- Wielgolaski, F.-E. (1974). Phenology in Agriculture. In H. Lieth (Ed.), *Phenology and Seasonality Modeling* (pp. 369–381). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_31
- Wielgolaski, F.-E. (1999). Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. *International Journal of Biometeorology*, 42(3), 158–168. <https://doi.org/10.1007/s004840050100>
- Wielgolaski, F.-E. (2001). Phenological modifications in plants by various edaphic factors. *International Journal of Biometeorology*, 45(4), 196–202. <https://doi.org/10.1007/s004840100100>
- Wilson, J. R. (1959). The influence of time of tiller origin and nitrogen level on the floral initiation and ear emergence of four pasture grasses. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2(5), 915–932. <https://doi.org/10.1080/00288233.1959.10423259>
- Wipf, S. (2010). Phenology, growth, and fecundity of eight subarctic tundra species in response to snowmelt manipulations. *Plant Ecology*, 207(1), 53–66. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9653-9>
- Xi, Y., Zhang, T., Zhang, Y., Zhu, J., Zhang, G., Jiang, Y. (2015). Nitrogen Addition Alters the Phenology of a Dominant Alpine Plant in Northern Tibet. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 47(3), 511–518. <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-054>
- Xue, J., Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

Weed species Hess et al., 1997

Phenological growth stages and BBCH-identification keys of weed species

D = Dicotyledons,
 G = Gramineae,
 M = Monocotyledons,
 P = Perennial plants,
 V = Development from vegetative parts or propagated organs.

No code letter is used if the description applies to all groups of plants.

Code	Description
------	-------------

Principal growth stage 0: Germination, sprouting, bud development

00		Dry seed
	V	Perennating or reproductive organs during the resting period (tuber, rhizome, bulb, stolon)
	P	Winter dormancy or resting period
01		Beginning of seed imbibition
	P, V	Beginning of bud swelling
03		Seed imbibition complete
	P, V	End of bud swelling
05		Radicle (root) emerged from seed
	V	Perennating or reproductive organs forming roots
06		Elongation of radicle, formation of root hairs and/or lateral roots
07	G	Coleoptile emerged from caryopsis
	D, M	Hypocotyl with cotyledons or shoot breaking through seed coat
	P, V	Beginning of sprouting or bud breaking
08	D	Hypocotyl with cotyledons or shoot growing towards soil surface
	V	Shoot growing towards soil surface
09	G	Emergence: Coleoptile breaks through soil surface
	D, M	Emergence: Cotyledons break through soil surface (except hypogeal germination);
	V	Emergence: Shoot/Leaf breaks through soil surface
	P	Buds show green tips

Principal growth stage 1: Leaf development (main shoot)

10	G, M	First true leaf emerged from coleoptile
	D	Cotyledons completely unfolded
	P	First leaves separated
11		First true leaf, leaf pair or whorl unfolded
	P	First leaves unfolded
12		2 true leaves, leaf pairs or whorls unfolded
13		3 true leaves, leaf pairs or whorls unfolded
1 .		Stages continuous till ...
19		9 or more true leaves, leaf pairs or whorls unfolded

Weed species Hess et al., 1997

Phenological growth stages and BBCH-identification keys of weed species

Code	Description
------	-------------

Principal growth stage 2: Formation of side shoots / tillering

21	First side shoot visible
G	First tiller visible
22	2 side shoots visible
G	2 tillers visible
23	3 side shoots visible
G	3 tillers visible
2 .	Stages continuous till ...
29	9 or more side shoots visible
G	9 or more tillers visible

Principal growth stage 3: Stem elongation /shoot development (main shoot)

30	Beginning of stem elongation
G	Beginning of shooting
31	1 visibly extended internode
G	1 node stage
32	2 visibly extended internode;
G	2 node stage
33	3 visibly extended internode
G	3 node stage
3 .	Stages continuous till ...
39	9 or more visibly extended internodes
G	9 or more nodes

Principal growth stage 4: vegetative propagation /booting (main shoot)

40	V	Vegetative reproductive organs begin to develop (rhizomes, stolons, tubers, runners, bulbs)
41	G	Flag leaf sheath extending
42	V	First young plant visible
43	G	Flag leaf sheath just visibly swollen (mid-boot)
45	G	Flag leaf sheath swollen (late-boot)
47	G	Flag leaf sheath opening
49	V	Constant new development of young plants; vegetative reproductive organs reach final size
	G	First awns visible

Weed species Hess et al., 1997

Phenological growth stages and BBCH-identification keys of weed species

Code	Description
Principal growth stage 5: Inflorescence emergence (main shoot) / heading	
51	Inflorescence or flower buds visible
G	Beginning of heading
55	First individual flowers visible (still closed)
G	Half of inflorescence emerged (middle of heading)
59	First flower petals visible (in petalled forms)
G	Inflorescence fully emerged (end of heading)
Principal growth stage 6: Flowering (main shoot)	
60	First flowers open (sporadically)
61	Beginning of flowering: 10% of flowers open
63	30% of flowers open
65	Full flowering: 50% of flowers open, first petals may be fallen
67	Flowering finishing: majority of petals fallen or dry
69	End of flowering: fruit set visible
Principal growth stage 7: Development of fruit	
71	Fruits begin to develop
G	Caryopsis watery ripe
79	Nearly all fruits have reached final size normal for the species and location
Principal growth stage 8: Ripening or maturity of fruit and seed	
81	Beginning of ripening or fruit coloration
89	Fully ripe
Principal growth stage 9: Senescence, beginning of dormancy	
97	End of leaf fall, plants or above ground parts dead or dormant;
P, V	Plant resting or dormant

Allegato 2: tabella di analisi della data di scomparsa della neve sulle malghe oggetto di studio.

Satellite MODIS			Satellite SENTINEL			LEGENDA	
Data	Neve a	Note	Data	Neve	Note		
01-gen			01-gen			N	Nuvoloso
02-gen			02-gen			MF	Melette di Foza
03-gen	N		03-gen	N		Z	Zomo
04-gen	MF - Z - SR		04-gen	Z - MF		SR	Sasso rosso
05-gen	N		05-gen	N		0	Assenza di neve su tutte tre le malghe
06-gen	MF - Z - SR		06-gen	Z - MF			Diversità osservate tra i due satelliti
07-gen	MF - Z - SR		07-gen	Z - MF			Giorno scioglimento neve
08-gen	N		08-gen	N			
09-gen	N		09-gen	N			
10-gen	MF - Z - SR		10-gen	Z - MF			
11-gen	N		11-gen	N			
12-gen	N		12-gen	N			
13-gen	N		13-gen	N			
14-gen	N		14-gen	N			
15-gen	N		15-gen	N			
16-gen	N		16-gen	N			
17-gen	N		17-gen	N			
18-gen	MF		18-gen	MF			
19-gen	N		19-gen	N			
20-gen	MF - Z - SR		20-gen	MF - Z - SR			
21-gen	MF - Z - SR		21-gen	MF - Z - SR			
22-gen	MF - Z - SR		22-gen	MF - Z - SR			
23-gen	N		23-gen	N			
24-gen	MF - Z - SR		24-gen	MF - Z - SR			
25-gen	MF - Z - SR		25-gen	MF - Z - SR			
26-gen	MF - Z - SR		26-gen	MF - Z - SR			
27-gen	N		27-gen	N			
28-gen	N		28-gen	N			
29-gen	MF - Z - SR		29-gen	MF - Z - SR			
30-gen	MF - Z - SR		30-gen	MF - Z - SR			
31-gen	MF - Z - SR		31-gen	MF - Z - SR			
01-feb	MF - Z - SR		01-feb	MF - Z - SR			
02-feb	MF - Z - SR		02-feb	MF - Z - SR			
03-feb	MF - Z - SR		03-feb	MF - Z - SR			
04-feb	MF - Z - SR		04-feb	MF - Z - SR			
05-feb	N		05-feb	N			
06-feb	N		06-feb	N			
07-feb	MF - Z - SR		07-feb	MF - Z - SR			
08-feb	MF - Z - SR		08-feb	MF - Z - SR			
09-feb	MF - Z - SR		09-feb	MF - Z - SR			
10-feb	MF - Z - SR		10-feb	MF - Z - SR			
11-feb	N		11-feb	N			
12-feb	MF - Z - SR		12-feb	MF - Z - SR			
13-feb	MF - Z - SR		13-feb	MF - Z - SR			
14-feb	MF - Z - SR		14-feb	MF - Z			
15-feb	MF - Z - SR		15-feb	MF - Z			
16-feb	N		16-feb	N			
17-feb	MF - Z		17-feb	MF - Z			
18-feb	N		18-feb	N			
19-feb	N		19-feb	N			
20-feb	N		20-feb	N			
21-feb	MF - Z		21-feb	MF - Z			
22-feb	MF - Z		22-feb	MF - Z			
23-feb	N		23-feb	N			
24-feb	MF - Z		24-feb	MF - Z			
25-feb	MF - Z		25-feb	MF - Z			
26-feb	N		26-feb	MF - Z			
27-feb	N		27-feb	MF - Z			
28-feb	MF - Z		28-feb	MF - Z			
01-mar	N		01-mar	N			
02-mar	N		02-mar	N			
03-mar	N		03-mar	N			
04-mar	MF - Z		04-mar	MF - Z			
05-mar	MF - Z		05-mar	MF - Z			
06-mar	N		06-mar	N			
07-mar	N		07-mar	N			
08-mar	N		08-mar	N			
09-mar	MF - Z		09-mar	MF - Z			
10-mar	N		10-mar	N			

11-mar	MF - Z		11-mar	MF - Z	
12-mar	N		12-mar	MF - Z	
13-mar	N		13-mar	MF - Z	
14-mar	N		14-mar	MF - Z	
15-mar	MF - Z - SR		15-mar	MF - Z - SR	
16-mar	MF - Z - SR		16-mar	MF - Z - SR	
17-mar	MF - Z - SR		17-mar	MF - Z - SR	
18-mar	MF - Z - SR		18-mar	MF - Z - SR	
19-mar	N		19-mar	N	
20-mar	MF - Z - SR		20-mar	MF - Z - SR	
21-mar	N		21-mar	N	
22-mar	MF - Z		22-mar	MF	
23-mar	N		23-mar	N	
24-mar	N		24-mar	N	
25-mar	MF - Z - SR		25-mar	MF - Z - SR	
26-mar	MF - Z - SR		26-mar	MF - Z - SR	
27-mar	MF - Z - SR		27-mar	MF - Z - SR	
28-mar	MF - Z - SR		28-mar	MF - Z - SR	
29-mar	MF - Z - SR		29-mar	MF - Z - SR	
30-mar	N		30-mar	N	
31-mar	N		31-mar	N	
01-apr	MF - Z - SR		01-apr	MF - Z - SR	
02-apr	N		02-apr	N	
03-apr	MF - Z - SR		03-apr	MF - Z - SR	
04-apr	N		04-apr	N	
05-apr	MF - Z - SR		05-apr	MF - Z - SR	
06-apr	MF - Z - SR		06-apr	MF - Z - SR	
07-apr	N		07-apr	N	
08-apr	N		08-apr	N	
09-apr	N		09-apr	N	
10-apr	MF - Z - SR		10-apr	MF - Z - SR	
11-apr	N		11-apr	N	
12-apr	N		12-apr	N	
13-apr	N		13-apr	N	
14-apr	N		14-apr	N	
15-apr	N		15-apr	N	
16-apr	MF - Z	Fine neve a SR	16-apr	MF	Fine neve a SR
17-apr	N		17-apr	N	
18-apr	MF	Fine neve a Z	18-apr	MF	Fine neve a Z
19-apr	N		19-apr	N	
20-apr	N		20-apr	N	
21-apr	N		21-apr	N	
22-apr	N		22-apr	N	
23-apr	N		23-apr	N	
24-apr	N		24-apr	N	
25-apr	M		25-apr	M	
26-apr	0	Fine neve a MF	26-apr	0	Fine neve a MF
27-apr	0		27-apr	0	
28-apr	0		28-apr	0	
29-apr	N		29-apr	N	
30-apr	N		30-apr	N	
01-mag	N		01-mag	N	
02-mag	N		02-mag	N	
03-mag	N		03-mag	N	
04-mag	N		04-mag	N	
05-mag	0		05-mag	0	
06-mag	0		06-mag	0	
07-mag	N		07-mag	N	
08-mag	N		08-mag	N	
09-mag	N		09-mag	N	
10-mag	N		10-mag	N	
11-mag	N		11-mag	N	
12-mag	N		12-mag	N	
13-mag	N		13-mag	N	
14-mag	N		14-mag	N	
15-mag	N		15-mag	N	
16-mag	N		16-mag	N	
17-mag	N		17-mag	N	
18-mag	N		18-mag	N	
19-mag	N		19-mag	N	
20-mag	N		20-mag	N	
21-mag	0		21-mag	0	

Allegato 3: stadi fenologici, valori di somma termica e di NDMI rilevati nelle 18 aree di saggio per le
graminacee.

DATA	GRAMINACEAE																											
	Calendario	Giorni giuliani	Somma termica	NDMI	Agrostis capillaris	Anthoxanthum odoratum	Arrhenatherum elatius	Avenula pubescens	Brachypodium pinnatum	Brizamedia	Bromus erectus	Cynurus cristatus	Bromus hordeaceus	Dactylis glomerata	Deschampsia cespitosa	Festuca pratensis	Festuca rubra	Koeleria pyramidata	Lolium perenne	Nardus stricta	Phleum rhaeticum	Poa alpina	Poa pratensis	Poa trivialis	Trisetum flavescens			
Punto 1	30/4	120	14	0.18																								
	5/5	125	44	0.22																								
	10/5	130	77	0.27																								
	15/5	135	95	0.32										2	2		2				2	2	2					
	20/5	140	121	0.37										2	2		2				2	3	2					
	25/5	145	171	0.41										2	2		2				3	3.5	2					
	30/5	150	222	0.44										2	2		2				3.5	4	3					
	4/6	155	272	0.47										3	2		3				4	5	3					
	9/6	160	321	0.48										3.5	2		3				4.5	5	3					
	15/6	166	386	0.49										4	3.5		3.5				4.5	5	3.5					
	20/6	171	452	0.48										5	4		4				5	5	4					
	26/6	177	546	0.44										5	5		5				5.5	6	5					
	30/6	181	596	0.41										5	5		5				5	6	5					
	6/7	187	666	0.33										5.5	5		5				5.5	6	6					
11/7	192	748	0.25										6	5.5		6				6	6.5	6						
18/7	199	861	0.09										6	6		7				7.5	7	7.5						
23/7	204	932	-0.04										7	7		7				8	9	8						
Abbondanza													2	10		3				12	15	25						
Punto 2	30/4	120	14	0.07																								
	5/5	125	45	0.12																								
	10/5	130	79	0.16																								
	15/5	135	98	0.20										2	2		2				2	2	2					
	20/5	140	124	0.25										3	2		2				2	3	2					
	25/5	145	175	0.29										4	2		2				3	3.5	2					
	30/5	150	227	0.33										5	2		2				3.5	4	2					
	4/6	155	277	0.36										5	2		3				4	5	3					
	9/6	160	327	0.38										6	2		3.5				4.5	5	3.5					
	15/6	166	393	0.40										6	5		3.5				5	5	3.5					
	20/6	171	459	0.40										7.5	4		4				5	5	4					
	26/6	177	554	0.39										7.5	5		5				5	6	5					
	30/6	181	605	0.37										7.5	5		5				5.5	6	5					
	6/7	187	676	0.32										8	5.5		5				6	6	6.5					
11/7	192	758	0.27										8.5	5.5		6				6	6.5	7.5						
18/7	199	872	0.16										9	6		7				7.5	7	7.5						
23/7	204	943	0.05										9	7		7.5				8	9	8						
Abbondanza													5	7		45					9.2	12	3					
Punto 3	30/4	120	15	0.25																								
	5/5	125	47	0.29																								
	10/5	130	83	0.34										2	2		2			2	2	2						
	15/5	135	104	0.38										2	2		2			2	2	3	2					
	20/5	140	132	0.42										2	2		2			2	2	3.5	2					
	25/5	145	185	0.45										3	2		2			2	3	4	2					
	30/5	150	240	0.47										4	2		2			2	3.5	5	3					
	4/6	155	292	0.49										5	2		3			2	4	5	3.5					
	9/6	160	344	0.49										6	2		3.5			2	4.5	5	3.5					
	15/6	166	412	0.47										6	3		4			3	5	5	3.5					
	20/6	171	481	0.44										7.5	5		5			3.5	5	6	4					
	26/6	177	578	0.37										8	5		5			4	6	6	5					
	30/6	181	630	0.31										8.5	5		5			5	6	6	5					
	6/7	187	703	0.19										8.5	5		5			5	6	6.5	6					
11/7	192	787	0.07										9	5.5		6			6	7	7.5	9	7					
18/7	199	904	-0.15										9	6		7			6	8	9	8						
23/7	204	977	-0.34										9	7.5		7			7.5	8	9	8						
Abbondanza					1									2	5		10		5		5	18	23					
Punto 4	30/4	120	15	-0.01																								
	5/5	125	48	0.03																								
	10/5	130	85	0.07										2	2		2			2	2	2						
	15/5	135	107	0.10										2	2		2			3	3	3.5	2					
	20/5	140	136	0.14										2	2		2			3	3	3.5	2					
	25/5	145	190	0.18										2	2		2			3.5	3.5	4	3					
	30/5	150	245	0.21										2	2		2			4	4	5	3.5					
	4/6	155	299	0.24										2	2		3			5	5	5	3.5					
	9/6	160	351	0.27										2	2		3			6	6	6	5					
	15/6	166	420	0.29										2	6.5		3.5			2	6.5	5	4					
	20/6	171	489	0.30										2	7.5		4			4	6	5	6	5				
	26/6	177	588	0.30										3	8.5		5			5	6	5.5	6	5				
	30/6	181	640	0.29										3.5	8.5		5			5	6	6	6					
	6/7	187	715	0.26										4	9		5.5			5	6.5	6	6.5	6				
11/7	192	800	0.22										5	9		5			6	7	6	7	6.5					
18/7	199	918	0.14										5	9		6			6.5	7.5	7.5	9	7					
23/7	204	992	0.06										5.5	9		7			7	8.5	8	9	7.5					
Abbondanza					15	2								1			43				5	5	2	1				
Punto 5	30/4	120	15	0.04																								
	5/5	125	50	0.08																								
	10/5	130	87	0.11										2	2		2			2	2	2						
	15/5	135	110	0.15										2	2		2			3	3	3	2					
	20/5	140	140	0.19										3	2		2			3.5	2	2						
	25/5	145	195	0.22										4	2		2			3.5	3	3						
	30/5	150	252	0.25										4.5	2		2			4	4	5	3.5					

DATA		GRAMINACEAE																							
Calendario	Gorni giuliani	Somma termica	NDMI	Agrostis capillaris	Anthoxanthum odoratum	Arrhenatherum elatius	Avenula pubescens	Brachypodium pinnatum	Brizamedia	Bromus erectus	Cynodorus cristatus	Bromus hordeaceus	Dactylis glomerata	Descampsia cespitosa	Festuca pratensis	Festuca rubra	Koeleria pyramidata	Lolium perenne	Nardus stricta	Phleum rhaeum	Poa alpina	Poa pratensis	Poa trivialis	Trisetum flavescens	
30/4	120	16	0.02																						
5/5	125	50	0.04																						
10/5	130	89	0.07																						
15/5	135	112	0.11		2								2	2		2				2			2	2	
20/5	140	143	0.16		3								2	2		2				3			2	2	
25/5	145	199	0.22		4								2	2		2				3.5			2	2	
30/5	150	256	0.27		4.5								3	2		2				4			2	3	
4/6	155	311	0.31		5								3.5	3		3				4.5			3	3.5	
9/6	160	364	0.35		6								3.5	3.5		3.5				5			3.5	3.5	
15/6	166	436	0.37		6.5								5	4		3.5				5			3.5	3.5	
20/6	171	507	0.36		7.5								5	5		4				5			4	3.5	
26/6	177	606	0.32		8								5	5		5				5.5			5	3.5	
30/6	181	661	0.27		8								5	5.5		5				6			6	4	
6/7	187	737	0.16		8								5.5	5.5		5.5				6			6	4.5	
11/7	192	823	0.02		8.5								6	6		6				6			6.5	5	
18/7	199	943	-0.25		9								7.5	7		6.5				7			7	6	
23/7	204	1019	-0.50		9								8.5	7.5		7				7			7.5	7	
Abbondanza				1									5	4.5		5				10			1	18	
30/4	120	84	0.19		2								2			2		2		2	2		2		
5/5	125	123	0.24		2								2			2				2	3		2		
10/5	130	166	0.28		2								2			2				2	3.5		2		
15/5	135	194	0.32		2								2			2				2	4		2		
20/5	140	230	0.36		3								2			3		3		2	5		2		
25/5	145	291	0.39		4								3			3.5		3.5		3	5		3		
30/5	150	353	0.42		4.5								3.5			3.5		3.5		3.5	6		3.5		
4/6	155	414	0.44		5								5			4		4		4	6		3.5		
9/6	160	472	0.45		5								5			5		5		5	6		3.5		
15/6	166	549	0.46		5								5			5		5		5	6		4		
20/6	171	624	0.45		6								5			5		5		5	6		5		
26/6	177	730	0.44		6.5								6			5.5		5		5.5	6		5.5		
30/6	181	788	0.42		8								6			6		6		6	6		6		
6/7	187	870	0.38		8								6			6		6		6	6.5		6		
11/7	192	961	0.34		8.5								7			6		6.5		6.5	8		6.5		
18/7	199	1087	0.26		9								7.5			6		6.5		7.5	9		7		
23/7	204	1168	0.19		9								8			7		6.5		7.5	9		8.5		
Abbondanza				1									3			10				7	25		25		
30/4	120	86	0.34													2									
5/5	125	126	0.36																						
10/5	130	170	0.38																						
15/5	135	198	0.40										2			2		2		2		2	2		
20/5	140	235	0.41										2			3		3		2		3	2		
25/5	145	297	0.42										3			3.5		3.5		3		3.5	3		
30/5	150	361	0.43										3.5			3.5		3.5		3.5	4		3.5		
4/6	155	422	0.43										5			4		4		4	5		3.5		
9/6	160	481	0.42										5			5		5		5	5		3.5		
15/6	166	559	0.41										5			5		5		5	5		4		
20/6	171	635	0.39										5			5		5		5	5		5		
26/6	177	742	0.37										6			5		5		6	5.5		5.5		
30/6	181	800	0.34										6			6		6		6	6		6		
6/7	187	883	0.30										6			6		6		6	6		6		
11/7	192	975	0.25										7			6		6.5		6.5	8		6.5		
18/7	199	1103	0.17										7.5			6		6.5		7.5	7		7		
23/7	204	1184	0.10										8			7		6.5		8	8.5		8.5		
Abbondanza													10			7		2		2		25	25		
30/4	120	87	0.22																						
5/5	125	128	0.24																						
10/5	130	172	0.26																						
15/5	135	201	0.28										2			2		2		2		2	2		
20/5	140	238	0.30										3			2		3		2		3	2		
25/5	145	301	0.32										3.5			3		3.5		3		3.5	3		
30/5	150	365	0.33										5			3.5		3.5		3.5	4		3.5		
4/6	155	427	0.34										5			3.5		4		4	4.5		3.5		
9/6	160	486	0.35										5			4		5		5	5		3.5		
15/6	166	565	0.35										5			4		5		5	5		4		
20/6	171	642	0.36										5.5			5		5		5.5	5		5		
26/6	177	748	0.35										6			6		6		5.5	5		5		
30/6	181	808	0.34										6			6		6		6	5.5		5.5		
6/7	187	891	0.33										6			6		6		6.5	6		6		
11/7	192	984	0.31										6.5			6		6		6.5	6.5		6.5		
18/7	199	1112	0.27										7.5			6		6.5		7.5	7		7		
23/7	204	1194	0.23										8			7		7		8	8.5		8.5		
Abbondanza													5			0.8		5		22		2	17	17	0.2
20/4	110	18	0.00																						
25/4	115	51	0.04																						
30/4	120	89	0.08																						
5/5	125	131	0.13																						
10/5	130	176	0.18																						
15/5	135	206	0.23		2			2					2			2		2		2				2	
20/5	140	244	0.28		2			4		3			3			3		2		2			2		
25/5	145	308	0.32		3			5	3.5				3.5			3.5		2		3			2		
30/5	150	373	0.36		4			5	4				4			3.5		2		3.5			2		
4/6	155	436	0.40		4.5			5	5				5			4		2		4			3		
9/6	160	496	0.42		5			5	5				5			5		3		5				3.5	
15/6	166	576	0.44		5			6	5				5			5		3.5		5			4		
20/6	171	654	0.45		6			6	5				6			5		4		5.5			5		
26/6	177	762	0.44		7			7	5				6			6		5		6			5		
30/6	181																								

DATA		GRAMINACAE																						
Calendario	Giorni giuliani	Somma termica	NDMI	Agrostis capillaris	Anthoxanthum odoratum	Arrhenatherum elatius	Avenula pubescens	Brachypodium pinnatum	Brizamedia	Bromus erectus	Cynosurus cristatus	Bromus hordeaceus	Dactylis glomerata	Descampsia cespitosa	Festuca pratensis	Festuca rubra	Koeleria pyramidata	Lolium perenne	Nardus stricta	Phleum rhaeticum	Poa alpina	Poa pratensis	Poa trivialis	Trisetum flavescens
P u n t o 1 1	20/4	110	18	-0.07																				
	25/4	115	51	-0.03																				
	30/4	120	89	0.00																				
	5/5	125	131	0.04																				
	10/5	130	176	0.08		2		2	2				2			2	2				2		2	2
	15/5	135	206	0.13		2		3	2	2			2			3	2			2			2	2
	20/5	140	244	0.17		3		4	3	2			3			3.5	2			2			2	2
	25/5	145	308	0.21		4		5	3.5	2			3.5			3.5	2			3			3	2
	30/5	150	373	0.24		4.5		5	4	3			4			4	2			3.5			3.5	2
	4/6	155	436	0.28		5		5	5	3.5			4.5			5	2			4			3.5	3
	9/6	160	497	0.31		5		5	5	3.5			5			5	3			5			3.5	3.5
	15/6	166	576	0.33		5		6	5	5			5			5	3.5			5			4	4
	20/6	171	654	0.35		6		6	5	5			5			6	4			5.5			5	5
26/6	177	762	0.36		7		7	5	5			6			6	5			5.5			5	5	
30/6	181	822	0.36		8		8	6	5.5			6			6	6			6			6	5	
6/7	187	907	0.34		9		7.5	6	6			6			6	6			6			6	5.5	
11/7	192	1000	0.32		9		8.5	6	6			6.5			6	6.5			6.5			6.5	6	
18/7	199	1130	0.27		9		9	6	6.5			6.5			6	7			7.5			7	8	
23/7	204	1213	0.21		9		9	6.5	7.5			7			7	8			8			8.5	9	
Abbondanza					2		2	30	3				2			1	35			1			2	1
P u n t o 1 2	20/4	110	18	-0.06																				
	25/4	115	52	-0.03																				
	30/4	120	90	0.00																				
	5/5	125	132	0.03																				
	10/5	130	178	0.06		2		2	2	2						2	2			2			2	2
	15/5	135	208	0.10		2		3	2	2						3	2			2			2	2
	20/5	140	247	0.14		3		4	3	2						3.5	2			2			3	2
	25/5	145	312	0.17		4		5	3.5	2						3.5	2			3			3.5	2
	30/5	150	377	0.20		4.5		5	4	3						4	2			3.5			4	2
	4/6	155	441	0.24		5		5	5	3.5						5	2			4			5	3
	9/6	160	502	0.26		5		5	5	3.5						5	3			5			5	3.5
	15/6	166	582	0.29		5		6	5	4						5	3.5			5			5	4
	20/6	171	660	0.31		6		5.5	5	5						6	4			5			5	5
26/6	177	769	0.33		7.5		5	5.5	5						6	5			5.5			5.5	5	
30/6	181	829	0.34		9		8.5	6	5						6	6			6			6	5	
6/7	187	914	0.34		8.5		9	6	6						6	6			6.5			6	5.5	
11/7	192	1008	0.33		9		9	6	6.5						6	6.5			6.5			6.5	6	
18/7	199	1138	0.31		9		9	6	6.5						6	7			7.5			7	8	
23/7	204	1222	0.28		9		9	6.5	7.5						7	8			8			8.5	9	
Abbondanza					2		2	28	10							1	28			1		1		1
P u n t o 1 3	20/4	110	37	0.18																				
	25/4	115	77	0.23																				
	30/4	120	121	0.27																				
	5/5	125	170	0.31		2	2	2	2	2			2	2			2							2
	10/5	130	223	0.35		2	2	2	3	2			2	2			2			2				2
	15/5	135	259	0.39		2	3	3	3.5	2			2	3			3			3				2
	20/5	140	306	0.42		3	4	4	4	2			2	3			3.5			3				2
	25/5	145	378	0.45		4	5	5	5	3			2	3.5			3.5			3.5				2
	30/5	150	451	0.46		4.5	5	5	5	3.5			3.5	4			4			4				3
	4/6	155	523	0.48		5	5	5	5	5			4	5			5			5				3.5
	9/6	160	590	0.48		5	5	5	5	5			5	5			5			5				4
	15/6	166	679	0.47		6	5	6	5	5			6	5			5			5				4.5
	20/6	171	764	0.45		6.5	5.5	6.5	5	5			6	6			6			5				5
26/6	177	881	0.41		8.5	6.5	7.5	6	6			7	6			6			5.5				6	
30/6	181	947	0.38		9	7.5	9	6	6			8	6.5			6.5			6				6	
6/7	187	1040	0.31		9	7.5	9	6	6.5			8	6.5			6.5			7				6	
11/7	192	1141	0.23		9	8	9	7.5	8			9	8			8			7.5				7.5	
18/7	199	1280	0.10		9	8	9	7.5	8.5			9	8			8.5			7.5				8	
23/7	204	1371	-0.02		9	9	9	7.5	9			9	8			8.5			7.5				9	
Abbondanza					3	45	5	1	1			1	5			4			3					15
P u n t o 1 4	20/4	110	36	0.31																				
	25/4	115	76	0.34																				
	30/4	120	121	0.36																				
	5/5	125	170	0.38																				
	10/5	130	223	0.39		2	2									2							2	2
	15/5	135	259	0.40		2	3						2	2	3			3					2	2
	20/5	140	305	0.41		3	4						2	2	3.5			3.5					3	2
	25/5	145	378	0.41		4	5						2	2	3.5			3.5					3.5	2
	30/5	150	451	0.41		4.5	5						3	3.5	4			4					4	3
	4/6	155	522	0.40		5	5						3.5	4	5			5					5	3.5
	9/6	160	590	0.38		5	5						4	5	5			5					5	4
	15/6	166	678	0.35		6	5						5	6	5.5			5					5	4.5
	20/6	171	763	0.32		6.5	6						5	6.5	6			6					6	5
26/6	177	880	0.27		9	6.5						6	7	6			5.5			6		6	6	
30/6	181	946	0.22		9	7.5						6	8	6.5			6.5			6.5		6	5.5	
6/7	187	1039	0.15		9	7.5						6	8	6.5			6.5			7.5		7	6	
11/7	192	1140	0.08		9	8.5						7.5	9	8			8					7.5	7.5	
18/7	199	1279	-0.04		9	9						7.5	9	8			8.5					8.5	8.5	
23/7	204	1370	-0.14		9	9						8	9	8.5			9			8.5		9	9	
Abbondanza					3	2						35	0.2	2			1			20			1	15

DATA			GRAMINACEAE																					
Calen- dario	Giorni giuliani	Som- ma termi- ca	NDMI	Agros	Antho	Arrhe	Avena	Brac	Briza	Brom	Cyno	Brom	Dact	Desc	Festa	Festa	Coel	Loli	Nar	Phle	Poa	Poa	Poa	Trise
				tis	xanth	na	ula	hypod	a	er	ylis	hamp	uca	uca	eria	um	dus	um	alpi	prati	trivi	tum	ens	alis
				capilla	um	um	pube	pinna	med	ere	s	hor	glom	sia	prati	ru	pyra	per	stric	rhæ	na	ens	alis	escen
				ris	odora	elatius	scen	tum	ia	cus	cris	deus	erata	cespi	ens	a	mida	enne	ta	tum				
P u n t o 1 5	20/4	110	37	0.29																				
	25/4	115	77	0.32																				
	30/4	120	122	0.35																				
	5/5	125	171	0.38		2	2	2		2	2	2				2		2					2	2
	10/5	130	225	0.40		2	2	2		2	2	2				3		3					2	2
	15/5	135	261	0.42		2	3	3		2	2	2				3		3.5					2	2
	20/5	140	308	0.43		3	4	4		3	2	2				3.5		3.5					3	2
	25/5	145	381	0.44		4	5	5		3.5	3	2				3.5		4					3.5	2
	30/5	150	455	0.45		4.5	5	5		3.5	3.5	3				4		5					4	3
	4/6	155	526	0.45		5	5	5		5	5	3.5				5		5					5	3.5
	9/6	160	594	0.44		5	5	5.5		5	5	4				5		5					5	4
	15/6	166	683	0.42		6	5.5	6		5	5	5				5.5		5					5.5	4.5
	20/6	171	769	0.40		7	5.5	6.5		5	5	6				6		6					6	5
	26/6	177	886	0.36		9	6.5	8		6	6	6				6		6					6	5
30/6	181	952	0.32		9	8	9		6	6.5	6				6.5		7					6	5	
6/7	187	1046	0.26		9	8	9		6.5	6.5	6				7		7					6.5	6	
11/7	192	1147	0.20		9	8	9		8.5	8	7				7		8					7.5	7.5	
18/7	199	1287	0.09		9	8.5	9		9	8.5	7.5				8		8					7.5	8	
23/7	204	1378	0.00		9	9	9		9	9	8				8.5		8.5					9	9	
Abbondanza					2	43	4		2	1	20		2			1		1				1		1
P u n t o 1 6	20/4	110	37	0.08																				
	25/4	115	77	0.13																				
	30/4	120	122	0.18																				
	5/5	125	172	0.23		2	2	2	2		2					2		2					2	2
	10/5	130	225	0.28		2	2	2	3	2		2				2		2					2	2
	15/5	135	262	0.32		2	3	3	3.5	2		2				3		3					2	2
	20/5	140	309	0.36		3	4	4	4	2		2				3.5		3.5					3	2
	25/5	145	382	0.40		4	5	5	5	3		2				3.5		3.5					3.5	2
	30/5	150	456	0.43		4.5	5	5	5	3.5		3				4		4					3.5	3
	4/6	155	527	0.45		5	5	5	5	5		3.5				5		5					4	3.5
	9/6	160	595	0.46		5	5	5.5	5	5		4				5		5					5	4
	15/6	166	685	0.47		6	5.5	6	5	5.5		5				5		5					5	4.5
	20/6	171	770	0.46		6	5.5	7.5	5	5		5.5				6		5.5					5.5	5
	26/6	177	887	0.44		8	6.5	8	5.5	6		6				6		6					6	5.5
30/6	181	954	0.42		9	7.5	9	6	6.5		6				6.5		6.5					7.5	6	
6/7	187	1048	0.36		9	8	9	6	6.5		6				6.5		6.5					8	6	
11/7	192	1149	0.31		9	8	9	7.5	7.5		7				8		8					7.5	7.5	
18/7	199	1289	0.20		9	8.5	9	7.5	8		8				8		8.5					8	8.5	
23/7	204	1380	0.10		9	9	9	7.5	9		8				8		8.5					8.5	9	
Abbondanza					2	26	1	22	10		2		2			3		1					1	5
P u n t o 1 7	20/4	110	37	0.05																				
	25/4	115	77	0.08																				
	30/4	120	122	0.12																				
	5/5	125	172	0.16		2	2	2	2	2	2					2		2					2	2
	10/5	130	225	0.20		2	2	2	3	2	2					2		2					2	2
	15/5	135	262	0.24		2	3	3	3.5	2	2					3		3.5					2	2
	20/5	140	309	0.28		3	4	4	4	2	2					3.5		3.5					3	2
	25/5	145	382	0.31		4	5	5	5	3	3					3.5		4					3.5	2
	30/5	150	456	0.34		4.5	5	5	5	3.5	3.5					4		5					4	3
	4/6	155	527	0.37		5	5	5	5	5	5					5		5					5	3.5
	9/6	160	596	0.39		5	5	5	5	5	5					5		5					5	4
	15/6	166	685	0.40		5	5	6	5	5	5					5		6					5	4.5
	20/6	171	770	0.39		5.5	6	6.5	5	5	5					6		6					5	5
	26/6	177	887	0.38		8.5	7	8	6	6	6					6		6					6	5
30/6	181	954	0.36		9	7.5	9	6	6	8					6.5		6.5					6	5.5	
6/7	187	1048	0.31		9	7.5	9	6	6.5	6.5					6.5		6.5					7	6	
11/7	192	1149	0.25		9	8	9	7.5	8.5	8					8		8					8	7.5	
18/7	199	1289	0.15		9	8.5	9	7.5	9	8					8		9					8.5	8.5	
23/7	204	1380	0.05		9	9	9	7.5	9	9					8		9					9	9	
Abbondanza					1	5	1	30	5	30			1			1		1				1		1
P u n t o 1 8	20/4	110	37	0.14																				
	25/4	115	78	0.18																				
	30/4	120	123	0.22																				
	5/5	125	172	0.26		2	2	2	2	2		2				2		2					2	2
	10/5	130	226	0.30		2	2	2	3	2		2				2		3					2	2
	15/5	135	263	0.34		2	3	3	3.5	2	2					3		3.5					2	2
	20/5	140	310	0.38		3	4	4	4	2	2					3.5		3.5					3	2
	25/5	145	384	0.41		4	5	5	4.5	3	2					3.5		4					3.5	2
	30/5	150	457	0.43		4.5	5	5	5	3.5	3					4		5					3.5	3
	4/6	155	529	0.45		5	5	5	5	5	3.5					5		5					4	3.5
	9/6	160	598	0.46		5	5	5	5	5	4					5		5					5	4
	15/6	166	687	0.46		5.5	5.5	5.5	5	5	5					5.5		5					5	4.5
	20/6	171	773	0.45		8	5.5	6.5	5	5	5					6		6					5.5	5
	26/6	177	890	0.43		8.5	6.5	8	6	6	6					6		6					6	6
30/6	181	957	0.41		9	6.5	8.5	6	6.5	6					6.5		6					6	6	
6/7	187	1051	0.35		9	7.5	8.5	6.5	6.5	6					7		6.5					7	6.5	
11/7	192	1152	0.29		9	7.5	9	7	7.5	7					7		7					7	7	
18/7	199	1293	0.19		9	8	9	7	8	7					7.5		7.5					8	8	
23/7	204	1384	0.09																					

DATA			Somma termi ca	NDMI	ALTRE SPECIE 1																								
Calendario	Giorni giuliani				Achillea millefolium	Alchemilla vulgaris	Anthyllus vulneraria	Barbarea vulgaris	Bellis perennis	Betonica alopecurus	Bistorta officinalis	Campanula glomerata	Campanula sclerantha	Capsella bursapastoris	Carex flacca	Carex ornithopoda	Carex palestensis	Carum carvi	Cerastium holosteoides	Chenopodium album s-henricus	Cirsium arvense	Cirsium erophorum	Colchicum autumnale	Crocus vernus	Crucifera glabra	Crucifera levis	Crucifera zamaculata	Dactylorhiza sambucina	
Puo nto	30/4	120	16	0.02																									
	5/5	125	50	0.04																									
	10/5	130	89	0.07																									
	15/5	135	112	0.11																									
	20/5	140	143	0.16																									
	25/5	145	199	0.22																									
	30/5	150	256	0.27																			9						
	4/6	155	311	0.31																			9						
	9/6	160	364	0.35																			9						
	15/6	166	436	0.37	3	6				3													9						
	20/6	171	507	0.36	4	6				4													9						
	26/6	177	606	0.32	4.5	6				6.5													9			6			
	30/6	181	661	0.27	5.5	6				6													9			6			
	6/7	187	737	0.16	5.5	7				6													9			6			
	11/7	192	823	0.02	6	8				5.5	6								5				9			6.5			
	18/7	199	943	-0.25	6	8				6	6.5								5.5				9			7.5			
	23/7	204	1019	-0.50	6	8.5				6.5	6.5								6				9			7.5			
Abbondanza				0.2	1					0.1	7										0.2			0.2		0.2			
Puo nto	30/4	120	84	0.19																									
	5/5	125	123	0.24																									
	10/5	130	166	0.28																									
	15/5	135	194	0.32																									
	20/5	140	230	0.36																									
	25/5	145	291	0.39	4	5																							
	30/5	150	353	0.42	4	6																							
	4/6	155	414	0.44	5.5	5.5																							
	9/6	160	472	0.45	5.5	6																							
	15/6	166	549	0.46	4	7																							
	20/6	171	624	0.45	5	8																							
	26/6	177	730	0.44	5	7.5																							
	30/6	181	788	0.42	6	8																							
	6/7	187	870	0.38	6	8																							
	11/7	192	961	0.34	6	9																							
	18/7	199	1087	0.26	6	9																							
	23/7	204	1168	0.19	6	9																							
Abbondanza				0.2	2		0.2										0.2		0.2	0.1		0.2				2			
Puo nto	30/4	120	86	0.34																									
	5/5	125	126	0.36																									
	10/5	130	170	0.38																									
	15/5	135	198	0.40																									
	20/5	140	235	0.41																									
	25/5	145	297	0.42	4	4																							
	30/5	150	361	0.43	4	5.5																							
	4/6	155	422	0.43	4	5.5																							
	9/6	160	481	0.42	4	6																							
	15/6	166	559	0.41	4	6																							
	20/6	171	635	0.39	5	6.5																							
	26/6	177	742	0.37	5	7.5																							
	30/6	181	800	0.34	6	6.5																							
	6/7	187	883	0.30	6	6.5																							
	11/7	192	975	0.25	6	4																							
	18/7	199	1103	0.17	6	4																							
	23/7	204	1184	0.10	6	9																							
Abbondanza				0.2	0.2		0.2																						
Puo nto	30/4	120	87	0.22																									
	5/5	125	128	0.24																									
	10/5	130	172	0.26																									
	15/5	135	201	0.28																									
	20/5	140	238	0.30																									
	25/5	145	301	0.32	4	4																							
	30/5	150	365	0.33	4	5.5																							
	4/6	155	427	0.34	4	5.5																							
	9/6	160	486	0.35	4	6																							
	15/6	166	565	0.35	5	7																							
	20/6	171	642	0.36	5	6.5																							
	26/6	177	748	0.35	6	6.5																							
	30/6	181	808	0.34	6	6.5																							
	6/7	187	891	0.33	6	6.5																							
	11/7	192	984	0.31	6	4																							
	18/7	199	1112	0.27	6	4																							
	23/7	204	1194	0.23	6	9																							
Abbondanza				0.4	0.8		1																						
Puo nto	20/4	110	18	0.00																									
	25/4	115	51	0.04																									
	30/4	120	89	0.08																									
	5/5	125	131	0.13																									
	10/5	130	176	0.18																									
	15/5	135	206	0.23																									
	20/5	140	244	0.28																									
	25/5	145	308	0.32	4	5																	9			5		6	
	30/5	150	373	0.36	4	5																	9			6		6	
	4/6	155	436	0.40	5.5	5																	9			6		6.5	
	9/6	160	496	0.42	5.5	5																	9			6		6.5	
	15/6																												

DATA			ALTRE SPECIE 1																								
Calendario	Giornigliani	Somma termini	NMI	Achillea millefolium	Alchemilla vulgaris	Anthyllis vulneraria	Barbarea vulgaris	Bellis perennis	Betonica alopecurus	Bistorta officinalis	Campanula glomerata	Campanula trachelium	Capsella bursa-pastoris	Carex flacca	Carex ornithopoda	Carex palestensis	Carum carvi	Cerastium hololeiodes	Chenopodium album	Cirsium arvense	Cirsium eriophorum	Colicium autumnale	Crocus vernus	Cruciataglabra	Cruciataglabres	Dactylorhiza maculata	Dactylorhiza sambucina
Puntolo1	20/4	110	18	-0.07																							
	25/4	115	51	-0.03																							
	30/4	120	89	0.00																							
	5/5	125	131	0.04																							
	10/5	130	176	0.08																							
	15/5	135	206	0.13																							
	20/5	140	244	0.17																							
	25/5	145	308	0.21	4	5											4		3			9	5	5			6
	30/5	150	373	0.24	4	6											4		3			9	6	6			6
	4/6	155	436	0.28	4	6											4		3			9	6	6			6
	9/6	160	497	0.31	4	6											5		3			9	6	6			6
	15/6	166	576	0.33	5	6.5											5		3			9	6	6	6		7
	20/6	171	654	0.35	5	6.5											6		4			9	6.5	6	6	6	8
	26/6	177	762	0.36	6	4											6		4			9	6	6	6	6.5	8
	30/6	181	822	0.36	6	4											6		5			9	6.5	6.5	6	6	8.5
	6/7	187	907	0.34	6	4											6		5			9	6.5	6.5	6	6	9
	11/7	192	1000	0.32	6	4						6					6.5		5.5			9	6.5	6.5	6	6	8.5
	18/7	199	1130	0.27	6	4						6					8		5.5			9	6.5	6.5	6.5	6	9
	23/7	204	1213	0.21	6	9						6					8		5.5			9	6.5	6.5	7	6	9
Abbondanza					0.8	0.8						0.8					0.8		0.2			1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8
Puntolo2	20/4	110	18	-0.06																							
	25/4	115	52	-0.03																							
	30/4	120	90	0.00																							
	5/5	125	132	0.03																							
	10/5	130	178	0.06																							
	15/5	135	208	0.10																							
	20/5	140	247	0.14																							
	25/5	145	312	0.17	4														3	3					5		6
	30/5	150	377	0.20	4														3	3					6		6.5
	4/6	155	441	0.24	4														3	3					6		6.5
	9/6	160	502	0.26	4														3	3					6		6.5
	15/6	166	582	0.29	5														3	3					6		7
	20/6	171	660	0.31	5.5		6												4	3					6		8
	26/6	177	769	0.33	6		6												4	3					6		8
	30/6	181	829	0.34	6		6												7.5						6.5		8.5
	6/7	187	914	0.34	6		6.5												9						6.5		9
	11/7	192	1008	0.33	6		6.5												9						6.5		9
	18/7	199	1138	0.31	6		7.5												9						6.5		9
	23/7	204	1222	0.28	9		8.5												9						6.5		9
Abbondanza					0.2		3.6										0.1		0.2	0.5					0.2		0.2
Puntolo3	20/4	110	37	0.18																							
	25/4	115	77	0.23																							
	30/4	120	121	0.27																							
	5/5	125	170	0.31																							
	10/5	130	223	0.35																							
	15/5	135	259	0.39																							
	20/5	140	306	0.42																							
	25/5	145	378	0.45	3.5	5													3		3		7	9	5.5	5.5	
	30/5	150	451	0.46	3	6													3		3		8	9	6	6	
	4/6	155	523	0.48	4	6													4		3		8	9	6	6	
	9/6	160	590	0.48	4	6													5		3		8	9	6	6	
	15/6	166	679	0.47	4	7													6.5		3		9	9	6	6	
	20/6	171	764	0.45	5	8													6.5		4		9	9	6	6	
	26/6	177	881	0.41	6	9													6		5		9	9	6.5	6.5	
	30/6	181	947	0.38	6	9													6		5		9	9	6.5	6.5	
	6/7	187	1040	0.31	6	9													8		5		9	9	6.5	6.5	
	11/7	192	1141	0.23	6	9													9		5		9	9	6.5	6.5	
	18/7	199	1280	0.10	6	9													9		6.5		9	9	7	7	
	23/7	204	1371	-0.02	6	9													9		7.5		9	9	7.5	7.5	
Abbondanza					0.2	0.2												0.1		0.2		0.1	0.1	0.1	0.1		
Puntolo4	20/4	110	36	0.31																							
	25/4	115	76	0.34																							
	30/4	120	121	0.36																							
	5/5	125	170	0.38																							
	10/5	130	223	0.39																							
	15/5	135	259	0.40																							
	20/5	140	305	0.41																							
	25/5	145	378	0.41	3.5	5		5	6.5										3		3		7	9	5.5		
	30/5	150	451	0.41	3	6		5	6.5										3		3		7	9	5.5		
	4/6	155	522	0.40	4	6		5.5	6										4		3		7	9	6		
	9/6	160	590	0.38	4	6		5.5	6.5										5		3		8	9	6		
	15/6	166	678	0.35	4	7		6	6										6.5		3		9	9	6		
	20/6	171	763	0.32	5	8		8	6										6.5		4		9	9	6		
	26/6	177	880	0.27	6	8.5		8	6										6.5		5		9	9	6		
	30/6	181	946	0.22	6	9		8	6										6		5		9	9	6.5		
	6/7	187	1039	0.15	6	9		8.5	7										8		5		9	9	6.5		
	11/7	192	1140	0.08	6	9		9	8										8.5		5.5		9	9	7		
	18/7	199	1279	-0.04	6	9		9	9										9		6		9	9	7.5		
	23/7	204	1370	-0.14	6	9		9	9										9		6.5		9	9	7.5		
Abbondanza					1	2		0.2	0.2									0.2		0.2		0.2	0.2	0.2	0.2		

DATA			ALTRE SPECIE 1																										
Calendario	Giorniguliani	Somma termica	NDMI	Achillea millefolium	Alchemilla vulgaris	Anthyllus vulneraria	Barbarea vulgaris	Bellis perennis	Betonica alopecurus	Bistorta officinalis	Campanula glomerata	Campanula schneidleri	Capsella bursa-pastoris	Carex flacca	Carex ornithopoda	Carex pallescens	Carum carvi	Cerastium holosteoides	Chenopodium bonus-henricus	Cirsium arvense	Cirsium eriophorum	Colicium autumnale	Crocus vernus	Cruciataglabra	Cruciatalevis	Dactylorhizamaculata	Dactylorhizasambucina		
Puntolo 1 5	20/4	110	37	0.29																									
	25/4	115	77	0.32																									
	30/4	120	122	0.35																									
	5/5	125	171	0.38																									
	10/5	130	225	0.40																									
	15/5	135	261	0.42																									
	20/5	140	308	0.43																									
	25/5	145	381	0.44	3		5	6									3		3			7	9				5.5		
	30/5	150	455	0.45	3		5	6									3		3			7	9	9			6		
	4/6	155	526	0.45	4		5.5	6									3		3			7	9	9			6		
	9/6	160	594	0.44	4		5.5	6			4						3		4			8	9	9			6		
	15/6	166	683	0.42	4		8	6			5						6		4			8	9	9			6		
	20/6	171	769	0.40	4		8	6			5						6		4			9	9	9			6		
	26/6	177	886	0.36	6		8	6			6						6.5		5			9	9	9			6.5		
	30/6	181	952	0.32	6		8.5	6			6						6.5		5			9	9	9			6.5		
	6/7	187	1046	0.26	6		8.5	7			6						8		5			9	9	9			6.5		
	11/7	192	1147	0.20	6		9	8			6						8.5		5.5			9	9	9			7.5		
	18/7	199	1287	0.09	6		9	8.5			6						9		6			9	9	9			8		
	23/7	204	1378	0.00	6		9	9			7.5						9		7			9	9	9			8		
Abbondanza				0.2			0.2	0.2			0.2						0.2		0.2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
Puntolo 1 6	20/4	110	37	0.08																									
	25/4	115	77	0.13																									
	30/4	120	122	0.18																									
	5/5	125	172	0.23																									
	10/5	130	225	0.28																									
	15/5	135	262	0.32																									
	20/5	140	309	0.36																									
	25/5	145	382	0.40	3	5								6			3					7	9	5.5	5.5	3			
	30/5	150	456	0.43	3	6								6			3					7	9	6	6	5			
	4/6	155	527	0.45	3	6								7			3					7	9	6	6	5.5			
	9/6	160	595	0.46	4	6								7			5					8	9	6	6	6			
	15/6	166	685	0.47	4	7								8			6					8	9	6	6	6			
	20/6	171	770	0.46	5	8								8			6.5					9	9	6.5	6	6			
	26/6	177	887	0.44	6	9					6			8			6					9	9	6.5	6.5	6.5			
	30/6	181	954	0.42	6	9					6			8.5			6					9	9	6.5	6.5	6.5			
	6/7	187	1048	0.36	6	9					6			8.5			8					9	9	6.5	6.5	7			
	11/7	192	1149	0.31	6	9					6			9			8.5					9	9	7	7	7.5			
	18/7	199	1289	0.20	6	9					6.5			9			9					9	9	7.5	8	8.5			
	23/7	204	1380	0.10	6	9					6.5			9			9					9	9	8	8	9			
Abbondanza				0.1	0.1						0.1			0.1			1					0.2	1	0.2	1	0.2			
Puntolo 1 7	20/4	110	37	0.05																									
	25/4	115	77	0.08																									
	30/4	120	122	0.12																									
	5/5	125	172	0.16																									
	10/5	130	225	0.20																									
	15/5	135	262	0.24																									
	20/5	140	309	0.28																									
	25/5	145	382	0.31	3.5		6							6					3			7		6	5.5				
	30/5	150	456	0.34	4		6							6					3			7		6	6				
	4/6	155	527	0.37	4		6.5							6					3			7		6.5	6				
	9/6	160	596	0.39	4		6.5							6					3			7		6.6	6				
	15/6	166	685	0.40	5		7							8					4			8		6	6				
	20/6	171	770	0.39	5.5		8							8					4			8		6	6				
	26/6	177	887	0.38	6		8							8					4			9		6.5	6.5				
	30/6	181	954	0.36	6		8							8					4			9		6.5	6.5				
	6/7	187	1048	0.31	6		8.5							8.5					5			9		6.5	6.5				
	11/7	192	1149	0.25	6		9							9					5.5			9		7	7				
	18/7	199	1289	0.15	6		9							9					6			9		7.5	8				
	23/7	204	1380	0.05	6		9							9					6.5			9		8	8				
Abbondanza				1			3							0.2								1		0.2	0.2				
Puntolo 1 8	20/4	110	37	0.14																									
	25/4	115	78	0.18																									
	30/4	120	123	0.22																									
	5/5	125	172	0.26																									
	10/5	130	226	0.30																									
	15/5	135	263	0.34																									
	20/5	140	310	0.38																									
	25/5	145	384	0.41	4	5								7								3	7		5.5	5.5			
	30/5	150	457	0.43	4	5								7								3	7		6	6			
	4/6	155	529	0.45	4	5.5								7								3	7		6	6			
	9/6	160	598	0.46	4	5.5								7								3	8		6	6			
	15/6	166	687	0.46	5	7								8								3	8		6	6			
	20/6	171	773	0.45	5	8								8								3	9		6.5	6			
	26/6	177	890	0.43	5	9								8								3	9		6.5	6.5			
	30/6	181	957	0.41	6	9								8.5								3.5	9		6.5	6.5			
	6/7	187	1051	0.35	6	9								8.5								5	9		6.5	6.5			
	11/7	192	1152	0.29	6	9								9								5.5	9		7	7			
	18/7	199	1293	0.19	6	9								9								6	9		7	7			
	23/7	204	1384	0.09	6	9								9								6.5	9		7.5	7.5			
Abbondanza				1	1									0.1									0.2	0.2		0.2	0.2		

DATA			ALTRE SPECIE 2																											
Calendario	Giorni giuliani	Somma termica	NDMI	Euphorbia cyparissia	Euphorbia verrucosa	Euphorbia spp	Fragaria vesca	Gallium lucidum	Gallium mollugo	Gallium verum	Gentiana cruciata	Geum montanum	Geum rivale	Giacobaea alpina	Helleborus viridis	Hypnicum maculatum	Hypnicum perforatum	Knautia drymeia	Leontodon hispidus	Leucanthemum vulgare	Lilium bulbiferum	Lotus corniculatus	Luzula campestris	Marrichia chamomilla	Myosotis sylvatica	Pilosella officinarum	Plantago lanceolata	Plantago major		
P	30/4	120	16	0.02																										
u	5/5	125	50	0.04																										
n	10/5	130	89	0.07																										
t	15/5	135	112	0.11																										
o	20/5	140	143	0.16																										
7	25/5	145	199	0.22																										
0	30/5	150	256	0.27																										
1	4/6	155	311	0.31																										
2	9/6	160	364	0.35																		6								
3	15/6	166	436	0.37					6			6.5			3							6								
4	20/6	171	507	0.36				6	6			7			3.5						6									
5	26/6	177	606	0.32				6	6			7.5			4.5						6									
6	30/6	181	661	0.27				6	6			7.5			4.5						6.5									
7	6/7	187	737	0.16				6	6			8			4.5						6									
8	11/7	192	823	0.02				6.5	6.5			8			5.5						6									
9	18/7	199	943	-0.25				6	6			8			6						6									
0	23/7	204	1019	-0.50				6	6			8.5			6.5						6.5									
Abbondanza									0.2			1			0.2						0.2	1.7								
P	30/4	120	84	0.19																										
u	5/5	125	123	0.24																										
n	10/5	130	166	0.28																										
t	15/5	135	194	0.32																										
o	20/5	140	230	0.36																										
7	25/5	145	291	0.39	5										8	4					4				6		4	4		
8	30/5	150	353	0.42	6										8	4					5				6		5	4		
9	4/6	155	414	0.44	6										8	4					6				6		6.5	4		
0	9/6	160	472	0.45	6										8	5					6				6		6.5	4		
1	15/6	166	549	0.46	7										9	4					6				6.5		7	4		
2	20/6	171	624	0.45	8										9	4					6				6		7	4		
3	26/6	177	730	0.44	8										9	4					6				6.5		7	4		
4	30/6	181	788	0.42	8										9	4.5					6				6.5		8	5		
5	6/7	187	870	0.38	8										9	6					6.5				6.5		8	5		
6	11/7	192	961	0.34	8										9	6					6.5				6.5		8.5	5		
7	18/7	199	1087	0.26	8.5										9	6.5					6.5				7		9	5.5		
8	23/7	204	1168	0.19	8.5										9	6.5					6.5				7.5		9	5.5		
Abbondanza															0.1	0.1					0.1				0.1			0.1	0.1	
P	30/4	120	86	0.34																										
u	5/5	125	126	0.36																										
n	10/5	130	170	0.38																										
t	15/5	135	198	0.40																										
o	20/5	140	235	0.41																										
7	25/5	145	297	0.42											9											6		4	3.5	
8	30/5	150	361	0.43											9										6		6	4		
9	4/6	155	422	0.43											9										6		6	4		
0	9/6	160	481	0.42											9										6		6	4		
1	15/6	166	559	0.41											9										6.5		6.5	4		
2	20/6	171	635	0.39											9										6.5		7	4		
3	26/6	177	742	0.37											9										6.5		7	4.5		
4	30/6	181	800	0.34											9										6.5		7.5	5		
5	6/7	187	883	0.30											9										6.5		8	5		
6	11/7	192	975	0.25											9										6.5		8	5.5		
7	18/7	199	1103	0.17											9										7		8.5	5.5		
8	23/7	204	1184	0.10											9										7.5		9	5.5		
Abbondanza															0.2										0.2			0.2	0.2	
P	30/4	120	87	0.22																										
u	5/5	125	128	0.24																										
n	10/5	130	172	0.26																										
t	15/5	135	201	0.28																										
o	20/5	140	238	0.30																										
7	25/5	145	301	0.32	6										4												6	4		
8	30/5	150	365	0.33	6										4											6	4			
9	4/6	155	427	0.34	6										4											6	4			
0	9/6	160	486	0.35	6										4											6	4			
1	15/6	166	565	0.35	7.5										4											7	4			
2	20/6	171	642	0.36	8										4											7	4			
3	26/6	177	748	0.35	8										4											7	4			
4	30/6																													

DATA				ALTRE SPECIE 3																										
Calendario	Giorni giuliani	Somma termini	NDMI	Plantago media	Potentilla aurea	Potentilla erecta	Primula veris	Ranunculus acris	Ranunculus bulbosus	Rhinanthus fruticosus	Rosa cespugliosa	Rumex acetosella	Salvia pratensis	Sanguisorba minor	Silene nutans	Silene vulgaris	Stellaria graminea	Taraxacum officinale	Thymus pulegioides	Trifolium campocampense	Trifolium pratense	Trifolium repens	Trollius europaeus	Urtica dioica	Veronica chamaedrys	Veronica officinalis	Vicia cassubica	Viola tricolor		
P u n t o 1	30/4	120	14	0.18																										
	5/5	125	44	0.22																										
	10/5	130	77	0.27																										
	15/5	135	95	0.32																										
	20/5	140	121	0.37																										
	25/5	145	171	0.41																										
	30/5	150	222	0.44															5.5				2							
	4/6	155	272	0.47															6.5				4							
	9/6	160	321	0.48															5.5				4							
	15/6	166	386	0.49	6														6				4							
	20/6	171	452	0.48	6			6											8				4							
	26/6	177	546	0.44	6			6.5											9				6							
	30/6	181	596	0.41	6			6											9				6							
	6/7	187	666	0.33	6.5			6.5											9				6							
11/7	192	748	0.25	6.5			6.5											9				6								
18/7	199	861	0.09	6.5			6.5											9				6	6.5							
23/7	204	932	-0.04	6.5			6.5											9				6								
Abbondanza				0.2				0.2										3					3							
P u n t o 2	30/4	120	14	0.07																										
	5/5	125	45	0.12																										
	10/5	130	79	0.16																										
	15/5	135	98	0.20																										
	20/5	140	124	0.25																										
	25/5	145	175	0.29																										
	30/5	150	227	0.33	6			5.5											6				2							
	4/6	155	277	0.36	6			5.5											6.5				4							
	9/6	160	327	0.38	6			6											6.5				4							
	15/6	166	393	0.40	6			6											8.5				6	6						
	20/6	171	459	0.40	6			6.5											9				6	6			6			
	26/6	177	554	0.39	6			6											5.5	9			6	6			6			
	30/6	181	605	0.37	6.5			6											5.5	9			6	6			6.5			
	6/7	187	676	0.32	6.5			6.5											5.5	9	6		6	6			6.5			
11/7	192	758	0.27	6			6.5											6	9	6		6.5	6			6.5				
18/7	199	872	0.16	6.5			6.5											6	9	6		6	6			6.5				
23/7	204	943	0.05	6.5			6.5											6	9	6.5		6	6			7.5				
Abbondanza				0.2				1										0.2	0.2	0.2		2	2			0.2				
P u n t o 3	30/4	120	15	0.25																										
	5/5	125	47	0.29																										
	10/5	130	83	0.34																										
	15/5	135	104	0.38																										
	20/5	140	132	0.42																										
	25/5	145	185	0.45																										
	30/5	150	240	0.47																										
	4/6	155	292	0.49				5											6.5				4				6			
	9/6	160	344	0.49				6											6.5				4				6			
	15/6	166	412	0.47				6											7.5				6				4	5.5		
	20/6	171	481	0.44				6.5											8				5	6			5	6		
	26/6	177	578	0.37				6											9				5	6			5	6		
	30/6	181	630	0.31				6.5											5.5	9			6	6			5	6.5		
	6/7	187	703	0.19				6.5											6	9			6	6			6	6.5		
11/7	192	787	0.07				6.5											6	9			6	6			6	6.5			
18/7	199	904	-0.15				6.5											6	9			6	6			6	6.5			
23/7	204	977	-0.34				6.5											6	9			6	6			7.5	6.5			
Abbondanza				0.2				0.2										0.2	2				3	3		0.8	0.8			
P u n t o 4	30/4	120	15	-0.01																										
	5/5	125	48	0.03																										
	10/5	130	85	0.07																										
	15/5	135	107	0.10																										
	20/5	140	136	0.14																										
	25/5	145	190	0.18																										
	30/5	150	245	0.21	6																									
	4/6	155	299	0.24	6																									
	9/6	160	351	0.27	6																									
	15/6	166	420	0.29	6																									
	20/6	171	489	0.30	6			6																						
	26/6	177	588	0.30	6			6.5												6			6	5.5			6			
	30/6	181	640	0.29	6			6.5												6			6	6			6.5			
	6/7	187	715	0.26	6			6.5												6			6	6			6.5			
11/7	192	800	0.22	6			6.5												6			6	6			6.5				
18/7	199	918	0.14	6			6.5												6			6	6			6.5				
23/7	204	992	0.06	6.5			6.5												6.5			6	6			7				
Abbondanza				0.8				0.2												0.2			3	1			0.8			
P u n t o 5	30/4	120	15	0.04																										
	5/5	125	50	0.08																										
	10/5	130	87	0.11																										
	15/5	135	110	0.15																										
	20/5	140	140	0.19																										
	25/5	145	195	0.22																										
	30/5	150	252	0.25	6																									
	4/6	155	306	0.28	6																									
	9/6	160	359	0.30	6																									

DATA				ALTRE SPECIE 3																									
Calendario	Giorni giuliani	Somma termica	NDMI	Plantago media	Potentilla aurea	Potentilla erecta	Primula veris	Ranunculus acris	Ranunculus bulbosus	Rhinanthus freynii	Rosa cespuglio	Rumex acetosa	Salvia pratensis	Sanguisorba minor	Silene nutans	Silene vulgaris	Stellaria graminea	Taraxacum officinale	Thymus pulegioides	Trifolium campotestense	Trifolium pratense	Trifolium repens	Trolius europaeus	Urtica dioica	Veronica chamaedrys	Veronica officinalis	Vicia cassubica	Viola tricolor	
Puntolo 1	20/4	110	18	-0.07																									
	25/4	115	51	-0.03																									
	30/4	120	89	0.00																									
	5/5	125	131	0.04																									
	10/5	130	176	0.08																									
	15/5	135	206	0.13																									
	20/5	140	244	0.17																									
	25/5	145	308	0.21	4.5	5		6.5	4		4	4	5									4	4			5	4		
	30/5	150	373	0.24	4.5	6		6.5	5		5	4	5.5									4	4			5	4		
	4/6	155	436	0.28	5	6		7	5.5		5	4	5.5									4	4			5.5	4	6	
	9/6	160	497	0.31	5.5	7		7	6		5	4	6									4	4			5.5	5	6	
	15/6	166	576	0.33	5.5	8		8	6		5.5	4	7.5									4	4			6.5	6	6	
	20/6	171	654	0.35	6	8		8	6.5		6	4	8	6				6				6	4			6	6	6	
	26/6	177	762	0.36	6.5	8		8.5	6.5		6.5	4	8	6				6				6	6			6.5	6	6	
	30/6	181	822	0.36	6.5	9		8	6.5		6.5	4	8	6.5				6				6	6			6.5	6.5	6	
	6/7	187	907	0.34	6.5	9		8	6.5		6.5	4	8	6.5				6				6	6			6.5	6.5	6.5	
11/7	192	1000	0.32	6.5	9		8.5	6.5		7.5	4	8.5	6.5				6				6	6			6.5	6.5	6.5		
18/7	199	1130	0.27	6.5	9		9	6.5		7.5	4	8.5	6.5				6				6	6			6.5	6.5	6.5		
23/7	204	1213	0.21	7	9		9	6.5		7.5	4	8.5	7.5				6				6	6			6.5	7	7.5		
Abbondanza				0.2	0.2		0.8	0.8		0.2	0.2	0.2					0.2					2	1			0.2	0.2	0.8	
Puntolo 2	20/4	110	18	-0.06																									
	25/4	115	52	-0.03																									
	30/4	120	90	0.00																									
	5/5	125	132	0.03																									
	10/5	130	178	0.06																									
	15/5	135	208	0.10																									
	20/5	140	247	0.14																									
	25/5	145	312	0.17	4	5			6		4			4				7				4				5.5			
	30/5	150	377	0.20	5	5.5			6		5			4.5				7.5				4				6			
	4/6	155	441	0.24	5	6			6		5			4.5				8				4				5.5			
	9/6	160	502	0.26	6	6			6		5			4.5				8				4				6			
	15/6	166	582	0.29	6	7			6		5.5			6				8				6				6			
	20/6	171	660	0.31	6	8.5			6		6			6				8				6				6			
	26/6	177	769	0.33	8	8.5			6.5		6			6	6			9				6				6			
	30/6	181	829	0.34	6.5	9			6.5		6.5			6	6			9	6			6				6			
	6/7	187	914	0.34	6.5	9			6.5		6.5			8	6			9	6			6				6.5			
11/7	192	1008	0.33	6.5	9			6.5		7.5			8	7			9	6			6				6.5		6		
18/7	199	1138	0.31	6.5	9			6.5		7.5			8.5	7			9	6			6				7		7		
23/7	204	1222	0.28	7	9			6.5		7.5			9	8			9	6.5			6.5				7		7.5		
Abbondanza				0.2	0.2			0.2		2				0.2	0.1			3	1			3				0.2		1	
Puntolo 3	20/4	110	37	0.18																									
	25/4	115	77	0.23																									
	30/4	120	121	0.27																									
	5/5	125	170	0.31																									
	10/5	130	223	0.35																									
	15/5	135	259	0.39																									
	20/5	140	306	0.42																									
	25/5	145	378	0.45	4			6	6		3.5		6.5					6.5				4	4	5		6			6
	30/5	150	451	0.46	6.5			7	6.5		6		6.5					8				5	5	6.5		6			6.5
	4/6	155	523	0.48	6.5			7	6.5		6		6					8.5				5.5	5.5	6.5		6.5			6
	9/6	160	590	0.48	6.5			8	6.5		6		6.5					8.5				5.5	5.5	6.5		6.5			6.5
	15/6	166	679	0.47	7			8	6.5		6		7					9				6	6	6		6.5			6
	20/6	171	764	0.45	7.5			8	6.5		6.5		8					6	9			6	6	6.5		6.5			6
	26/6	177	881	0.41	8			8.5	6.5		6.5		8					6	9			6	6	7		8			6
	30/6	181	947	0.38	7			8	6.5		6.5		8					6	9			6	6	8		8.5			6
	6/7	187	1040	0.31	7			8	6.5		6.5		8.5					6	9			6	6	8		9			6
11/7	192	1141	0.23	6.5			9	6.5		6.5		9					6	9			6	6.5	9		9			6	
18/7	199	1280	0.10	8			9	6.5		7		9					7	9			6.5	6.5	9		9			6	
23/7	204	1371	-0.02	8.5			9	6.5		8.5		9					7.5	9			6.5	6.5	9		9			6	
Abbondanza				0.2			0.1	1		5		0.2					0.2	1				2	2	1		0.2			0.2
Puntolo 4	20/4	110	36	0.31																									
	25/4	115	76	0.34																									
	30/4	120	121	0.36																									
	5/5	125	170	0.38																									
	10/5	130	223	0.39																									
	15/5	135	259	0.40																									
	20/5	140	305	0.41																									
	25/5	145	378	0.41		5.5		6.5	6		5							8				6	4			5.5			6
	30/5	150	451	0.41		6		7	6.5		6							8				6	4			6			6
	4/6	155	522	0.40		6		7	6.5		6							8.5				6	4.5			6.5			6
	9/6	160	590	0.38		6		7	6.5		6							9				6	5			6.5			6
	15/6	166	678	0.35		6.5		8	6.5		6							9				6	6			6.5			6
	20/6	171	763	0.32		6.5		8	6.5		6.5							6	9			6	6			6.5			6
	26/6	177	880	0.27		6.5		9	6.5		6.5							6	9			6	6			8			6
	30/6	181	946	0.22		6.5		9	7		6.5							6	9			6	6			8.5			6
	6/7	187	1039	0.15		6.5		9	7.5		6.5							6.5	9			6	6.5			9			6
11																													

DATA				ALTRE SPECIE 3																									
Calendario	Giorni giuliani	Somma termica	NDMI	Plantago mediana	Potentilla aurea	Potentilla erecta	Primula veris	Ranunculus acris	Ranunculus bulbosus	Rhinanthus freynii	Rosa cespugliosa	Rumex acetosa	Salvia pratensis	Sanguisorba minor	Silene nutans	Silene vulgaris	Stellaria graminea	Taraxacum officinale	Thymus pulegioides	Trifolium campylostrum	Trifolium pratense	Trifolium repens	Trollius europaeus	Urtica dioica	Vernonia chamaedrys	Vernonia officinalis	Vicia cassubica	Viola tricolor	
P u n t o 1 5	20/4	110	37	0.29																									
	25/4	115	77	0.32																									
	30/4	120	122	0.35																									
	5/5	125	171	0.38																									
	10/5	130	225	0.40																									
	15/5	135	261	0.42																									
	20/5	140	308	0.43																									
	25/5	145	381	0.44	5			6.5	6	6	5		5	5			3		8.5		5	6	4				5.5		6
	30/5	150	455	0.45	6			6.5	6.5	6	6		6	6			3		9		6	6	5				6		6
	4/6	155	526	0.45	6.5			7	6.5	6	6		6	5.5			4		9		5.5	6	5				6.5		6
	9/6	160	594	0.44	6.5			7	6.5	6	6		6	6			4		9		5.5	6	5				6.5		6
	15/6	166	683	0.42	7			8	6.5	6.5	6.5		6.5	6			5		9		6	6	6				6.5		6
	20/6	171	769	0.40	7.5			8.5	6.5	7	6.5		7	6			5		9		6.5	6	6				6.5		6
	26/6	177	886	0.36	8			9	6.5	8	6.5		8	6			6		9		9	6	6				8		6
	30/6	181	952	0.32	8			9	6.5	9	7		8	6.5			6		9		9	6	6				8.5		6
6/7	187	1046	0.26	8.5			9	6.5	9	6.5		8.5	6.5			5.5		9		9	6	6				9		6	
11/7	192	1147	0.20	9			9	7	9	7		9	7			5.5		9		9	6.5	6.5				9		6	
18/7	199	1287	0.09	9			9	7	9	8		9	7.5			6.5		9		9	6.5	6.5				9		6	
23/7	204	1378	0.00	9			9	7	9	8.5		9	7.5			8		9		9	6.5	6.5				9		6	
Abbondanza				0.2			0.2	0.2	0.2	9.2		0.2	0.2			0.2		0.2		0.2	2	2	2				0.2		0.2
P u n t o 1 6	20/4	110	37	0.08																									
	25/4	115	77	0.13																									
	30/4	120	122	0.18																									
	5/5	125	172	0.23																									
	10/5	130	225	0.28																									
	15/5	135	262	0.32																									
	20/5	140	309	0.36																									
	25/5	145	382	0.40	4			6.5	6		4							6.5			4	4	5			6			
	30/5	150	456	0.43	6			7	6.5	6							7				4	4	6.5			6.5			
	4/6	155	527	0.45	6			7	6.5	6							7.5				5.5	5	6.5			6.5			
	9/6	160	595	0.46	6			7	6.5		6.5						7.5				5.5	5	6.5			6.5			
	15/6	166	685	0.47	6			8	6.5	6							9				6	6	6.5			7			
	20/6	171	770	0.46	6.5			8	6.5	6.5							9				6	6	6.5			6.5			
	26/6	177	887	0.44	8			8.5	6.5	7							9				6	6	8			8			
	30/6	181	954	0.42	6.5			8.5	6.5	6.5							9				6	6	8			8.5			
6/7	187	1048	0.36	6.5			8.5	6.5	6.5							9				6	6	8			9				
11/7	192	1149	0.31	6.5			9	6.5	6.5							9				6.5	6.5	9			9				
18/7	199	1289	0.20	7.5			9	6.5	8							9				6.5	6.5	9			9				
23/7	204	1380	0.10	7.5			9	6.5	8.5							9				6.5	6.5	9			9				
Abbondanza				1			0.2	1		5						0.2		2		2	1	5			0.2				
P u n t o 1 7	20/4	110	37	0.05																									
	25/4	115	77	0.08																									
	30/4	120	122	0.12																									
	5/5	125	172	0.16																									
	10/5	130	225	0.20																									
	15/5	135	262	0.24																									
	20/5	140	309	0.28																									
	25/5	145	382	0.31				6.5	6	5.5	4		5													6	4	6	
	30/5	150	456	0.34				7	6	6	5		5.5													6.5	4.5	6	
	4/6	155	527	0.37				7	6.5	6	5		5.5													6.5	4.5	6	
	9/6	160	596	0.39				7	6.5	6	6		6													6.5	5	6	
	15/6	166	685	0.40				8	6	6.5	6		7									6				6.5	5.5	6	
	20/6	171	770	0.39				8	6.5	7	6		8									6				6.5	5.5	6	
	26/6	177	887	0.38				9	6.5	8	6		8									6				7.5	6	6	
	30/6	181	954	0.36				8	6.5	8	6.5		8									6				8.5	6	6	
6/7	187	1048	0.31				8.5	6.5	9	6.5		8.5									6				8.5	6	6		
11/7	192	1149	0.25				9	7	9	6.5		9									6.5				9	6.5	6		
18/7	199	1289	0.15				9	7	9	7		9									7				9	7	6		
23/7	204	1380	0.05				9	7.5	9	7.5		9									7				9	7	6		
Abbondanza							0.2	0.2	0.2	5		0.2									4					0.2	0.2	0.2	
P u n t o 1 8	20/4	110	37	0.14																									
	25/4	115	78	0.18																									
	30/4	120	123	0.22																									
	5/5	125	172	0.26																									
	10/5	130	226	0.30																									
	15/5	135	263	0.34																									
	20/5	140	310	0.38																									
	25/5	145	384	0.41	4			6.5	6			4	6					6.5	4			4		5		6	3.5	6	
	30/5	150	457	0.43	5			6.5	6			4	6					7	4			4		6		6	6	6	
	4/6	155	529	0.45	5			6.5	6.5			4	6					7.5	4			4.5		6.5		6.5	6	6	
	9/6	160	598	0.46	6			6.5	6.5			4	6					7.5	4			6		6.5		6.5	6	6	
	15/6	166	687	0.46	6			7	6.5			4	7					8.5	4			6		7		7	6	6	
	20/6	171	773	0.45	6			7.5	6.5			5	8					9	4			6		8		7	4	6	
	26/6	177	890	0.43	6			8.5	6.5			6	8					9	4			6		8		8	6	6	
	30/6	181	957	0.41	6.5			9	6.5			6.5	7	8				6.5	9	5		6		8		8.5	6	6	
6/7	187	1051	0.35	6.5			9	6.5			6.5	8	8.5				6.5	9	6		6		8.5		8.5	6	6		
11/7	192	1152	0.29	6.5																									