

Progetto di dottorato:

Analisi spazio-temporale della fenologia delle praterie alpine attraverso l'uso di dati telerilevati

Luigi Ranghetti*¹,

Tutor: Prof. Giuseppe Bogliani¹, and Co-tutor: Achaz von Hardenberg²

¹Dip. di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università di Pavia, Via Ferrata 1, I-27100, Pavia
²Centro Studi Fauna Alpina, Parco Nazionale Gran Paradiso, Via della Rocca 47, I-10123 Torino

Sommario

La comprensione delle modalità con le quali i cambiamenti climatici influenzano la distribuzione e la fenologia delle comunità vegetali (o la life-history delle popolazioni animali) è un aspetto che sta assumendo sempre maggiore importanza negli studi ecologici. Questo studio vuole affrontare la questione nell'ambiente specifico della prateria alpina, dove vi sono evidenze non solo di uno spostamento verso le quote più alte di specie floristiche e associazioni vegetali (Parolo e Rossi 2008), ma anche di una modifica nei ritmi fenologici stagionali (Pettorelli et al. 2007). In particolare, si intende analizzare come i cambiamenti climatici abbiano alterato, negli ultimi decenni e nelle diverse condizioni morfologiche, le dinamiche stagionali delle praterie del Parco Nazionale Gran Paradiso. A questo scopo si utilizzeranno i dati provenienti da immagini satellitari, una risorsa il cui uso sta rapidamente crescendo negli studi ecologici a causa della loro facilità di reperimento, dell'omogeneità spaziale dei dati e dell'elevata frequenza temporale (Pettorelli et al. 2005c). Dopo aver verificato, mediante validazione sul campo, l'utilizzabilità di questi dati quali stimatori della qualità nutrizionale dei pascoli, si procederà ad analizzarli per modellizzare le variazioni fenologiche delle praterie in funzione delle covariate territoriali. Tali modelli saranno quindi applicati agli studi di dinamica di popolazione dei consumatori primari alpini.

Indice

1	Introduzione	2
2	Scopo della ricerca	4
3	Validazione dell'NDVI come indice di qualità delle praterie alpine	5
3.1	Scopo	5
3.2	Individuazione dei <i>plot</i> e disegno di campionamento	5
3.2.1	Area di studio	6
3.2.2	Periodo di campionamento	6
3.2.3	Scelta dei <i>plot</i>	6
3.2.4	Frequenza di campionamento	8

* Email: luigi.ranghetti@unipv.it

3.2.5	Numero di <i>plot</i> e di campionamenti	8
3.3	Analisi fenologiche e nutrizionali	10
3.3.1	Analisi nutrizionali	10
3.3.2	Rilievi fenologici	10
3.4	Materiali	11
4	Analisi spazio-temporale degli indici di vegetazione	11
4.1	Scopo	11
4.2	Area di studio	13
4.3	Metodi	13
4.4	Materiali	14
5	Dati telerilevati e dinamica di popolazione dei principali consu- matori primari	14
5.1	Dinamica di popolazione dello stambecco	14
5.2	Territorialità e strategia riproduttiva del camoscio alpino	15
5.3	Selezione dell'habitat e ritmi stagionali nella marmotta alpina	16
A	Scaletta di lavoro	17
B	Proposte di tesi per studenti collaboratori	17
	Riferimenti bibliografici	23

1 Introduzione

Il tema dei cambiamenti climatici è una materia di grande interesse conservazionistico, sia a livello descrittivo (l'analisi delle alterazioni climatiche può aiutare nello studio delle dinamiche di popolazioni vegetali e animali) che predittivo (in quanto la modellizzazione dei *trend* temporali conosciuti permette di effettuare previsioni per gli anni futuri). A livello globale, l'[Intergovernmental Panel on Climate Change \(2007\)](#) evidenzia un aumento delle temperature media annue di 0,74 °C nell'ultimo secolo, con un *trend* negli ultimi cinquant'anni quasi doppio (0,13 °C ogni decennio), e prevede un ulteriore aumento, per il prossimo secolo, tra i 2 e i 3,5 °C, a seconda del modello di stima preso in considerazione. Per quanto riguarda le regioni alpine si prevede, oltre all'aumento delle temperature, un'alterazione dei regimi idrici, con una riduzione del 20–40 % delle precipitazioni estive e un aumento del 15–35 % di quelle invernali ([Beniston 2006](#)), un inaridimento del suolo e il ritiro quasi totale (50–90 %) dei ghiacciai ([Haeberli e Beniston 1998](#)).

Dal punto di vista degli effetti sulle cenosi, l'IPCC stima, sempre per le aree alpine, una perdita in biodiversità che potrebbe raggiungere, per alcune aree e secondo i modelli più pessimistici, il 60 %. Il rischio è più accentuato nelle aree alpine a causa della presenza di numerosi *hotspots* di biodiversità, che potrebbero rapidamente sparire a causa dell'innalzamento di quota degli ambienti altitudinalmente sottostanti ([Dirnböck et al. 2011](#)). Un ulteriore fattore che potrebbe indurre una modifica alle comunità vegetali è rappresentato dall'aumento della deposizione atmosferica di biossido di azoto, capace di indurre un effetto eutrofizzante negli ambienti marini e sui suoli ([Clement et al. 2011](#); [Van Den Berg et al. 2005](#)): per quanto riguarda gli ecosistemi non forestali dell'Europa settentrionale, il tasso di deposizione è passato da 1–5 kg ha⁻¹ all'anno all'inizio del Novecento agli attuali 20–60 kg ha⁻¹ ([Asman et al. 1998](#); [Bobbink e Heil 1993](#); [Erisman 1993](#); [Harriman et al. 1998](#)), e se ne stima una triplicazione entro il 2050 ([Tilman et al. 2001](#)).

La scala utilizzata per ottenere queste previsioni è solitamente molto ampia, in quanto in genere vengono utilizzati dei modelli di circolazione globale (GCMs). Sebbene questi modelli risultino capaci di spiegare gran parte delle condizioni climatiche anche a scala regionale (Brunetti *et al.* 2002; Corte-Real e Xuebin Zhang 1995; Lopez-Bustins *et al.* 2008; Rodríguez-Puebla *et al.* 2001; Trigo e Palutikof 2001; Vicente-Serrano *et al.* 2009), l'applicazione alla situazione alpina risulta difficoltosa. Questo poiché, sebbene le variazioni annuali nell'oscillazione nordatlantica (NAO) siano fondamentali nel determinare le condizioni climatiche estive e invernali (López-Moreno *et al.* 2011; Stenseth *et al.* 2002), in ambienti montani la presenza di condizioni microclimatiche diverse tra loro anche a distanza ravvicinata (in quanto determinate dalla capacità della conformazione morfologica di influenzare le correnti e le precipitazioni) aggiunge una serie di ulteriori predittori non utilizzabili a larga scala (Beniston *et al.* 1994; Haeberli e Beniston 1998; Katz e Brown 1992; Pettorelli *et al.* 2005a).

Per valutare l'effetto dei cambiamenti climatici previsti da questi modelli sugli ecosistemi è quindi importante avere a disposizione anche una serie di dati spazio-temporali ad alta risoluzione spaziale, capaci di rilevare l'effetto dei parametri morfologici responsabili delle alterazioni negli ambienti e nelle relative cenosi. Per questo scopo i tradizionali metodi di raccolta dati sul campo risultano spesso insufficienti, in quanto i dati sono limitati a *plot* puntuali (o al più a transetti) e il più delle volte sono raccolti con bassa frequenza (e.g. nei piani di monitoraggio) o per un arco di tempo limitato alla durata di un progetto; inoltre, dati provenienti da studi diversi sono spesso raccolti con diversi metodi, che rendono difficoltoso il loro utilizzo congiunto.

Al contrario, possono essere molto utili i dati raccolti tramite telerilevamento (*remote sensing*) satellitare, grazie ai quali è possibile disporre di *dataset* spazialmente omogenei e completi, e caratterizzati da una maggior frequenza di raccolta; per queste ragioni sono sempre più usati negli studi ecologici (Kerr e Ostrovsky 2003; Turner *et al.* 2003). Il telerilevamento permette di ottenere, oltre alle classiche immagini satellitari nello spettro del visibile, anche informazioni sulla topografia, sulla temperatura del suolo, sul colore delle superfici oceaniche e sulla fenologia della vegetazione (Pettorelli *et al.* 2005c). Quest'ultima risulta particolarmente importante negli studi ecologici, in quanto dalla tipologia di copertura vegetale e dalla relativa fenologia dipende direttamente la distribuzione delle specie di consumatori primari, e indirettamente quella dei carnivori. Inoltre, questo tipo di informazione è direttamente utilizzabile per quanto riguarda lo studio dei due principali effetti dei cambiamenti climatici sulla vegetazione alpina: lo spostamento verso l'alto delle associazioni vegetali (Grabherr *et al.* 1994)¹ e l'alterazione dei ritmi fenologici, in particolare l'anticipo della stagione vegetativa (Badeck *et al.* 2004; Busetto *et al.* 2010; Chen *et al.* 2000; Chmielewski e Rötzer 2002). Sulle Alpi quest'ultima alterazione può avere serie conseguenze sulla *life history* dei consumatori primari, in quanto in molti di essi la stagione riproduttiva coincide con l'inizio di quella vegetativa, a vantaggio dello sviluppo dei piccoli che possono in questo modo beneficiare di foraggio di buona qualità nutrizionale (Pettorelli *et al.* 2005b; Rutberg 1987).

Per lo studio dello sviluppo fenologico tramite telerilevamento è utile sfruttare la capacità della clorofilla di assorbire la luce rossa, contrapposta a quella delle

¹ Tuttavia si segnala che, a fronte di buoni risultati per quanto riguarda lo spostamento di singole specie floristiche (Parolo e Rossi 2008), non si riscontrano particolari evidenze sul breve termine per quanto riguarda le intere associazioni (Grabherr *et al.* 2010).

strutture del mesofillo di riflettere le radiazioni nella banda del vicino infrarosso (700–1000 nm). Dal momento che la quantità di clorofilla e mesofillo varia al variare dello stadio fenologico, sono stati costruiti degli indici di vegetazione sulla base delle riflettanze entro queste bande. Il più utilizzato di questi è l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}}$$

dove ρ_{nir} e ρ_{red} sono rispettivamente la quantità di luce riflessa dalla superficie nelle bande del vicino infrarosso e del rosso. Altri indici (*Weighted Difference Vegetation Index*, *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index*, *Perpendicular Vegetation Index*, *Global Environment Monitoring Index*) sono stati realizzati per minimizzare alcuni fattori di disturbo, come l'effetto del suolo o il disturbo atmosferico (Myneni *et al.* 1995).

La risoluzione spaziale e la frequenza temporale di rilevamento dipendono dal dato utilizzato per calcolare l'indice. Tra i dati liberamente accessibili si segnalano i due più frequentemente utilizzati, entrambi della NASA:

MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*)² in orbita dal 1999 sui satelliti Terra e Aqua, è in grado di fornire diversi livelli di risoluzione, tra i quali il migliore arriva a 250 m (per le bande del rosso e del vicino infrarosso) o a 500 m (per altre 5 bande comprese tra il blu e il tIR); sono reperibili i dati dal 2000 ad oggi.; a seconda del livello di risoluzione sono disponibili con diversa frequenza: i dati di livello 2 (relativi alle riflettanze nelle rispettive bande già corrette per gli aerosols) sono disponibili giornalmente, mentre quelli di livello 3 (indici di vegetazione) hanno frequenza di una rilevazione ogni 16 giorni; tra questi, quelli che risultano più utili sono il MOD09GQ (livello 2, bande 1 e 2, ris. 250 m, frequenza giornaliera) e il MOD13Q1 (livello 3, bande 1-7 più indici di vegetazione e altri dati derivati, ris. 250 m, frequenza di 16 giorni);

AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*)³ presenta una risoluzione minore (8 km) ma una serie storica più lunga (dal 1979); sono reperibili i dati dal 1981 al 2006, con frequenza quindicinale.

La correlazione del dato di riflettanza con la fenologia delle coperture vegetali è stata mostrata a livello globale (Myneni *et al.* 1995; Running 1990), anche se mai nello specifico per le praterie alpine; per questo specifico ambiente, tuttavia, è stata evidenziata un'elevata correlazione tra la qualità del foraggio e la riflettanza alla spettroscopia infrarossa (Confalonieri *et al.* 2004). Inoltre questo indice è stato utilizzato con successo per studi ecologici, in particolare sui grandi erbivori del nord Europa, del nord America e delle savane africane (Pettorelli *et al.* 2005a, 2007; per una *review*: Pettorelli *et al.* 2005c).

2 Scopo della ricerca

L'aspetto che questa ricerca si propone di approfondire è l'alterazione dei ritmi fenologici negli ultimi decenni (Chmielewski e Rötzer 2002) delle praterie alpine

² <http://modis.gsfc.nasa.gov>, accesso ai dati: <ftp://ladsweb.nascom.nasa.gov>

³ <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms>, accesso ai dati: <ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf/GIMMS/stow/stow/ft0001>

(nello specifico, delle praterie del Parco Nazionale Gran Paradiso), attraverso l'uso di dati telerilevati. La tesi sperimentale da testare è che l'aumento medio delle temperature (e le conseguenti alterazioni di spessore e durata della copertura nevosa invernale) abbia causato un anticipo nell'inizio della stagione vegetativa, un'alterazione nella rapidità dello sviluppo delle prime fasi fenologiche e uno spostamento del periodo in cui il contenuto nutritivo è massimo. Questa tesi è già stata in parte testata (Pettorelli *et al.* 2007), tuttavia questo studio vuole porre maggiore attenzione su due aspetti che non sono stati toccati: la risoluzione spaziale degli indici di vegetazione (e quindi l'utilizzo delle serie storiche in relazione alle caratteristiche morfologiche di ogni *pixel*) e la validazione dell'indice di vegetazione quale stimatore consistente della qualità nutrizionale dei prati. L'attenzione posta sulla qualità nutrizionale, e non solamente sui ritmi fenologici, è motivata dal maggior interesse conservazionistico di questa variabile in relazione alle dinamiche di popolazione dei principali consumatori primari selvatici alpini: lo stambecco (*Capra ibex*), il camoscio alpino (*Rupicapra rupicapra*) e la marmotta alpina (*Marmota marmota*).

Lo studio si propone quindi tre obiettivi principali:

- la validazione dell'NDVI come indice di qualità delle praterie alpine;
- l'analisi spazio-temporale degli indici di vegetazione;
- l'applicazione dei modelli risultanti alla dinamica di popolazione dei consumatori primari del Parco.

3 Validazione dell'NDVI come indice di qualità delle praterie alpine

3.1 Scopo

La prima parte del progetto ha lo scopo di individuare una correlazione tra le tre tipologie di informazioni da utilizzare: il dato telerilevato ottenuto dallo spettro riflesso dalla vegetazione, lo sviluppo fenologico della vegetazione e la relativa qualità nutrizionale (espressa in termini di contenuto proteico, di fibra e di digeribilità).

3.2 Individuazione dei *plot* e disegno di campionamento

La prima operazione da condurre è costituita dalla raccolta in campo di campioni di copertura vegetale erbacea. Tale operazione è possibile previa definizione di:

- estensione spaziale dell'area di studio entro la quale condurre i campionamenti;
- estensione temporale del periodo di campionamento;
- quantificazione del numero di *plot* e di campionamenti per ogni *plot*;
- disegno sperimentale per la scelta puntuale dei *plot*;
- definizione della frequenza di campionamento per ogni *plot*.

3.2.1 Area di studio

La superficie campionabile è costituita dalle aree del territorio del Parco Nazionale Gran Paradiso che rispondono a questi requisiti:

- copertura vegetale erbacea;
- distanza minima definita dal margine dei boschi, per evitare che il dato satellitare corrispondente ad ogni campionamento risulti falsato da una diversa copertura del suolo vicina (a tal fine si può rimuovere un *buffer* di ampiezza pari a una o due volte la risoluzione del dato telerilevato);
- esclusione di un *buffer* intorno alle vie di comunicazione e alle strutture antropiche.⁴

3.2.2 Periodo di campionamento

I campionamenti devono essere condotti durante l'intero periodo vegetativo annuale, che alle quote più basse inizia da aprile e si conclude a inizio ottobre.

3.2.3 Scelta dei *plot*

La scelta del disegno sperimentale deve essere effettuata a partire dagli obiettivi che si pone il campionamento: la validazione della relazione tra lo sviluppo fenologico delle praterie alpine e il dato telerilevato. La fenologia delle comunità erbacee oggetto dei campionamenti dipende dalle caratteristiche altitudinali, morfologiche, pedologiche e geografiche del suolo su cui sono insediate. Per questo motivo, un disegno completamente randomizzato, sebbene in grado di assicurare la più alta casualità nella scelta dei *plot*, rischierebbe di generare un campione non abbastanza rappresentativo della variabilità ambientale dell'area di studio (ovvero, affinché lo fosse sarebbe necessaria una dimensione campionaria eccessiva rispetto allo sforzo di campionamento sostenibile). Ad esempio, si rischierebbe di non avere nessun *plot* nelle fasce altitudinali estreme, in quanto presenti con densità inferiori rispetto a quelle intermedie. Un altro fattore da tenere in considerazione è l'esigenza pratica di raggiungere più *plot* in un'unica giornata, in quanto il periodo a disposizione tra due ripetizioni successive è limitato (v. par. 3.2.4 a pagina 8); questo fattore non sarebbe generalmente possibile con un disegno completamente *random*.

Appare quindi utile utilizzare un disegno randomizzato a blocchi con superficie di probabilità non uniforme, entro il quale condurre estrazioni aggregate di punti casuali; in altre parole, si determinerebbero prima i *settori* dove condurre dei "gruppi di *plot*" vicini tra loro e raggiungibili in un'unica uscita di campo, e poi, in ogni zona individuata, si estrarrebbe la posizione dei singoli *plot* da campionare.

Da una prima analisi delle ortofoto e della carta di uso del suolo del Parco⁵ sono stati individuati 25 possibili settori campionabili; ogni settore è costituito da un'area di prateria alpina percorribile in una giornata e sufficientemente

⁴ Si propone di escludere un *buffer* di diversi metri intorno alle strade e di pochi metri intorno ai principali sentieri; per quanto riguarda le strutture antropiche isolate (rifugi, dighe, malghe, zone ad alta affluenza turistica), per semplicità si propone un'esclusione a posteriori (immediatamente dopo ogni singola estrazione) dei *plot* inadatti eventualmente estratti (ciò non inficia la casualità dell'estrazione utilizzando un'estrazione con ripetizione, possibile in quanto la numerosità dei punti estraibili è molto maggiore di quella del campione da estrarre).

⁵ Purtroppo non è disponibile una carta fitosociologica.

estesa da garantire la presenza, al suo interno, di *pixel* “puri” (alla risoluzione di 250 m).

Il disegno proposto è quindi il seguente:

1. suddivisione dell'area di studio in due macroblocchi, corrispondenti ai versanti piemontese e valdostano, entro i quali condurre lo stesso numero di campionamenti (o comunque tra i quali campionare con ripartizione definita, ad esempio $\frac{2}{3}$ e $\frac{1}{3}$);
2. scelta dei settori da campionare;
3. estrazione, in ogni settore, dei singoli *plot* da campionare, condotta in modo casuale su una superficie di probabilità che tenga conto delle diverse densità di fasce altitudinali e caratteristiche morfometriche del terreno. Questa operazione è possibile, in linea teorica, con la seguente procedura:
 - (a) calcolo delle tre funzioni di densità di altitudine ($f(h)$), esposizione ($f(a)$) e pendenza ($f(s)$) all'interno dell'area (o, per semplicità, delle funzioni di ripartizione dei valori medi di questi tre valori calcolati su ogni *pixel* delle mappe telerilevate);
 - (b) realizzazione delle tre superfici di probabilità, nelle quali ogni *pixel* $P(x_p, y_p)$ abbia probabilità di campionamento pari alla funzione inversa della relativa funzione di ripartizione ($f^{-1}(h_p)$, $f^{-1}(a_p)$ e $f^{-1}(s_p)$);
 - (c) fusione delle tre superfici in una unica, assegnando un peso arbitrario ad ognuna a seconda dell'importanza relativa che si vuole attribuire a ciascuna grandezza (ad esempio, maggior importanza all'altitudine e minore ad esposizione e pendenza).

Considerate le difficoltà pratiche nell'effettuare estrazioni da distribuzioni non notevoli (quale sarebbe la funzione di densità ottenuta), se questa operazione non risulterà fattibile si procederà con un'estrazione randomizzata stratificata (stratificando in base ai tre parametri morfometrici).

In ogni caso, la posizione reale del *plot* sarà quella ottenuta dall'estrazione solo se quel punto risulterà rappresentativo del *pixel* del dato MODIS entro cui si trova; in caso contrario verrà spostato (rimanendo comunque all'interno dello stesso *pixel*).

Considerato che ciascun *plot* dovrà essere raggiunto diverse volte durante la stagione di campionamento (v. par. 3.2.4 nella pagina successiva), è utile pensare a un criterio oggettivo per scegliere i *plot* in considerazione anche del tempo necessario a raggiungerli.⁶ La realizzazione di una “superficie di tempo di raggiungimento” è esclusa in quanto troppo difficoltosa (o realizzabile ma con approssimazione eccessiva), dipendendo da troppi fattori. Le uniche vie percorribili sembrano le seguenti:

- esclusione a posteriori dei punti estratti e non ritenuti adatti: tale procedura non inficia la casualità delle estrazioni per i motivi detti nella nota 4 a fronte, a patto che il numero dei punti esclusi non sia molto maggiore di quelli accettati;

⁶ Questo per cercare un “ragionevole compromesso” tra il rigore dell'accettare tutti i punti estratti casualmente e la scorrettezza formale del selezionarli *de facto* in maniera arbitraria.

- accettazione di ogni punto estratto e scelta dell'effettivo punto di campionamento all'interno di un *buffer* centrato sul punto estratto (all'aumentare della dimensione del *buffer* diminuirebbe la casualità della scelta).

Inoltre, poiché non tutti i settori presentano caratteristiche uguali (raggiungibilità, estensione, presenza di *pixel* “puri”), ci si riserva la possibilità di sceglierli anziché estrarli; in particolare, sebbene questa parte del lavoro rappresenti una validazione (e risulti quindi indipendente da successivi studi legati alla dinamica di popolazione degli ungulati), ci si riserva di privilegiare le aree a maggior frequentazione da parte degli stambecchi (Valsavarenche, Valnontey, alto Orco), così da poter eventualmente ipotizzare, in un secondo tempo, il mantenimento di alcuni *plot* a scopo di monitoraggio.

3.2.4 Frequenza di campionamento

Per poter effettuare una correlazione ottimale, la frequenza di campionamento deve coincidere con quella di telerilevamento (o esserne multipla): con i dati MODIS questo è possibile qualsiasi sia la frequenza scelta, dal momento che il dato MOD09GQ (v. par. 1 a pagina 2) è disponibile con frequenza giornaliera. Una frequenza di 16 giorni appare più comoda, dal momento che è la frequenza con la quale viene rilasciato il dato MOD13Q1; tuttavia, esso è calcolabile facilmente a partire dal MOD09GQ.⁷ D'altra parte, una frequenza troppo elevata rischia di limitare il numero di *plot*: ad esempio, nell'ipotesi di un campionamento ogni 14 giorni per ogni *plot* e di due campionatori, non sembra sostenibile ipotizzare più di 12 settori da campionare (un numero maggiore rischierebbe di produrre come risultato un *dataset* estremamente *data deficient*, a causa delle prevedibili limitazioni dovute prevalentemente alle condizioni meteorologiche e agli spostamenti necessari tra i versanti del Parco).

3.2.5 Numero di *plot* e di campionamenti

In base al *budget* disponibile per le analisi di laboratorio, si prevede la raccolta di circa 300 campioni. Questa quantità rappresenta, al difetto,⁸ il prodotto del numero di *plot* che verranno campionati per il numero di campionamenti da ripetere presso ognuno di essi; pertanto risulta che

$$n_{\text{settori}} \cdot \bar{n}_{\text{plot}} \cdot \bar{n}_{\text{rip}} \simeq 300$$

dove n_{settori} e \bar{n}_{plot} sono rispettivamente il numero di settori da campionare e il numero medio di *plot* in ciascun settore; \bar{n}_{rip} rappresenta il numero medio di ripetizioni per ogni *plot*, e a sua volta è dato da

$$\bar{n}_{\text{rip}} = c_s \cdot \frac{\Delta t}{T}$$

dove Δt è la durata della stagione di campo, T è il periodo di campionamento (l'inverso della frequenza) e c_s è un fattore correttivo motivato nella nota 8.

⁷ Per verificarlo, si è provato a calcolare il raster NDVI sulla base delle bande nel rosso e nel vicino infrarosso contenute nel MOD09GQ; questo è risultato identico a quello presente nel MOD13Q1.

⁸ Al difetto perché il periodo di campionamento – e quindi il numero di ripetizioni presso ogni *plot* – varia in base al momento dello scioglimento della copertura nevosa.

Approssimando $\Delta t = 168$ (ipotizzando un inizio della stagione di campo il 15 aprile e un termine il 30 settembre) e $c_s = 0,83^9$ si propongono le seguenti possibilità.

1. Due campionatori indipendenti, uguale frequenza in tutti i settori.

- $n_{\text{settori}} = 6$, di cui 3 in val d'Aosta e 3 in Canavese
- $T = 7$ per tutti i settori $\Rightarrow \bar{n}_{\text{rip}} = 20$ (n_{rip} compreso tra 13 e 24)
- $\bar{n}_{\text{plot}} = 2,5$ (15 *plot* totali)

Questa soluzione ha il vantaggio di prevedere un periodo di 7 giorni per tutti i settori, sebbene 15 *plot* appaiano pochi (per ragioni statistiche sembra idoneo averne almeno 20); inoltre, il secondo campionatore dovrebbe essere automunito. A causa dell'elevata frequenza non si può pensare a una differenziazione di sforzo tra i versanti in termini di numero di settori; ciò non toglie che si possa prevedere un numero di *plot* minore nel versante canavesano rispetto a quello valdostano.

2. Due campionatori indipendenti, frequenza diversa tra i settori.

- $n_{\text{settori}} = 6$, di cui 3 in val d'Aosta e 3 in Canavese
- $T = 7$ per 3 settori, $T = 14$ per i rimanenti $\Rightarrow \bar{n}_{\text{rip}} = 15$
- $\bar{n}_{\text{plot}} = 3,3$ (22-23 *plot* totali)

Questa soluzione permette di aumentare il numero di *plot*, tuttavia in questo modo si otterranno due serie di *plot* diverse; anche in questo caso il secondo campionatore dovrebbe essere automunito.

3. Due campionatori non indipendenti, uguale frequenza tra i versanti.

- $n_{\text{settori}} = 10$, di cui 6 in val d'Aosta e 4 in Canavese
- $T = 14$ per tutti i settori $\Rightarrow \bar{n}_{\text{rip}} = 10$
- $\bar{n}_{\text{plot}} = 3$ (30 *plot* totali)

Questa soluzione presenta un numero elevato di *plot* e una frequenza costante ma più limitata (ogni *plot* avrebbe un numero di ripetizioni variabile tra 6 e 12); il maggiore sforzo in val d'Aosta è dovuto al fatto che per il Canavese 6 settori sembrano eccessivi.

4. Due campionatori non indipendenti, sforzo diverso tra i versanti.

- $n_{\text{settori}} = 8$, di cui 5 in val d'Aosta, 2 in Canavese e uno in comune (Nivolet)
- $T = 7$ per il Nivolet, $T = 14$ per tutti gli altri $\Rightarrow \bar{n}_{\text{rip}} = 11,25$
- $\bar{n}_{\text{plot}} = 3,3$ (26-27 *plot* totali)

Questa soluzione, pur mantenendo una frequenza bassa per quasi tutti i settori (problema inevitabile senza l'ipotesi di due campionatori indipendenti), consente di monitorarne uno con frequenza più alta (poiché il Nivolet è raggiungibile anche dalla Valsavarenche, sebbene con minor comodità).

⁹ Tale valore è stato ricavato supponendo che al 15 aprile sia campionabile un quarto dei *plot* e che tale quantità cresca linearmente fino alla campionabilità totale il 30 giugno.

5. Un campionario.

- $n_{\text{settori}} = 6$, di cui 3 in val d'Aosta e 3 in Canavese
- $T = 14$ per tutti i settori $\Rightarrow \bar{n}_{\text{rip}} = 10$
- $\bar{n}_{\text{plot}} = 3,5$ (21 *plot* totali)

Soluzione pessimistica nel caso non si trovi un secondo campionario. In questo caso il fattore limitante non è il numero di campioni analizzabili (300) ma lo sforzo sostenibile, ovvero $T \geq 14$ e $n_{\text{settori}} \leq 6$; si è scelto di non indicare un $\bar{n}_{\text{plot}} > 3,5$ in quanto valori più alti, considerata l'estensione media dei settori rispetto alla risoluzione dei dati MODIS, sarebbero eccessivi e genererebbero dei *plot* autocorrelati, tuttavia in questo caso il numero di campioni totali raccolti a fine anno sarebbe di 210.

Potendo scegliere, la seconda soluzione appare preferibile; nel caso il secondo campionario non sia automunito, sembra più adatta la quarta (anche perchè, in questo caso, il secondo campionario potrebbe campionare “*part-time*” nel solo versante valdostano). In generale, comunque, le proposte sono indicative e non tassative, soprattutto nel numero di settori e di *plot* per settore.

3.3 Analisi fenologiche e nutrizionali

Le analisi condotte su ogni *plot* in ciascun campionamento sono finalizzate alla raccolta di dati relativi al valore nutrizionale delle praterie, ed eventualmente al relativo stadio fenologico. Per quanto riguarda il primo aspetto è necessario raccogliere campioni e condurre delle analisi di laboratorio, mentre per quanto riguarda la fenologia è sufficiente un'analisi sul campo.

3.3.1 Analisi nutrizionali

Le analisi nutrizionali saranno eseguite da laboratori esterni.

Presso ogni *plot* si individuano delle porzioni presso le quali raccogliere i campioni da analizzare (in numero maggiore o uguale al numero di campionamenti da condurre nella stagione); durante ogni campionamento viene asportata la copertura erbacea in una porzione. Poiché l'obiettivo è l'analisi del contenuto nutrizionale potenziale dei pascoli, i *plot* saranno recintati per impedire il foraggiamento da parte degli erbivori (che causerebbe l'asportazione delle piante più appetibili). In particolare, si prevede un recinto rinforzato con un filo elettrificato in presenza di pascolo bovino.

Il contenuto in fibra e in proteine viene eseguito da strutture esterne attraverso metodiche analitiche (metodo di Wendee o di Van Soest per le fibre, di Kjeldhal per le proteine); si intende inoltre analizzare la digeribilità dei grassi.

Questa parte delle analisi non viene per ora approfondita ulteriormente, in quanto sarà eseguita da laboratori esterni.

3.3.2 Rilievi fenologici

Sarebbe interessante condurre dei rilievi fenologici presso alcuni *plot* in quanto la correlazione riflettanza – qualità nutrizionale appare più logica in presenza della fenologia come anello intermedio (la riflettanza è espressione dello stadio

di maturazione della pianta, e ad ogni stadio di maturazione corrisponde una qualità nutrizionale caratteristica).

Per condurre dei rilievi fenologici è necessario disporre, presso ogni *plot*, di un'area delimitata e non accessibile ai consumatori primari, in modo da poter osservare lo sviluppo delle piante selezionate senza che questo sia interrotto o disturbato dal foraggiamento o dal calpestio di ungulati (domestici o selvatici) e marmotte. All'interno di quest'area, durante ogni campionamento verrebbe rilevato lo stadio fenologico della specie dominante, attraverso l'uso di apposite scale. Per i pascoli alpini è stato recentemente messo a punto un protocollo, realizzato sulla base di rilievi fenologici condotti in valle d'Aosta ([PhenoALP 2010](#)).

A differenza della raccolta dei campioni, questa parte presuppone una conoscenza approfondita in campo botanico, soprattutto in quanto le specie più abbondanti (Graminacee) sono anche le più complesse da determinare e monitorare. Per questo motivo si ipotizza un campionamento sono presso un numero limitato di *plot* e in via sperimentale. In alternativa si ipotizza di sfruttare recenti lavori che hanno già condotto rilievi fenologici, come il progetto *InterREG PhenoAlp* (<http://www.phenoalp.eu>), che ha riguardato il legame tra fenologia e dati satellitari¹⁰, oppure i rilievi condotti dal servizio botanico del Parco nel 2010.

3.4 Materiali

Per condurre questa parte del lavoro è necessario il seguente materiale di campo:

- GPS per la localizzazione puntuale dei *plot*;
- strutture atte all'esclusione delle aree da campionare: paletti, rete, filo elettrificato.

4 Analisi spazio-temporale degli indici di vegetazione

4.1 Scopo

Nel caso in cui, come si ipotizza, verrà trovata e modellizzata una relazione tra gli indici di vegetazione e i relativi valori fenologici e nutrizionali, sarà possibile utilizzare il primo dato quale stimatore della qualità delle praterie alpine. La seconda parte del progetto ha quindi lo scopo di utilizzare le serie storiche dei dati telerilevati per verificare l'ipotesi di una modifica nel ritmo fenologico negli ultimi anni. Più nel dettaglio, in questa fase si intende raggiungere i seguenti obiettivi.

- Analisi esplorativa dei *database* satellitari: si intende sondare, attraverso analisi grafiche e descrittive, alcune caratteristiche fondamentali dei dati telerilevati:

¹⁰ Di questo progetto, il cui *workshop* si è tenuto nell'ottobre 2011 a Torgnon, è stato pubblicato il legame per quanto riguarda i lariceti ([Busetto et al. 2010](#)), ma non ancora per i pascoli alpini.

- variazione stagionale: verifica di un andamento in cui il valore è minimo nel periodo invernale, crescente in primavera e in diminuzione in tarda estate e autunno (Pettorelli *et al.* 2005c);
 - localizzazione, in ogni fascia altitudinale, dell'intervallo di giorni in cui l'indice comincia a crescere, di quello in cui è massimo e di quello in cui ritorna ai valori minimi;
 - variazione dei periodi precedenti nell'intervallo temporale di disponibilità dei dati;
 - variazione dei valori centrali e massimi dell'indice al variare dell'altitudine e delle caratteristiche morfometriche del terreno.
- Correlazione tra i valori degli indici di vegetazione ricavati da diversi *dataset*; in particolare, risulta importante mostrare la correlazione tra i dati MODIS e AVHRR (operazione possibile: Tucker *et al.* 2005), in quanto contengono informazioni complementari (i primi sono utili a condurre le analisi spazio-temporali, ma essendo disponibili solo a partire dal 2001 non si può fare a meno dell'integrazione dei secondi per analizzare la serie storica trentennale).
 - Modellizzazione del valore degli indici di vegetazione sulla base delle covariate ambientali e dei predittori temporali (stagionalità e anno). In particolare, risulterebbe utile modellarne la variazione in base a:
 1. altitudine e caratteristiche morfometriche (esposizione e pendenza), in quanto fattori che determinano le temperature dell'aria e l'intensità luminosa;
 2. precipitazioni, per sondare eventuali differenze tra versanti con medie annue diverse;
 3. copertura nevosa, dal momento che una fusione anticipata della copertura nevosa rende le piante più esposte alle gelate primaverili (Baptist *et al.* 2010);
 4. versante (valdostano o canavesano), a causa delle notevoli differenze morfologiche che intercorrono tra di essi (e per confermare rigorosamente l'esattezza della tesi "*expert-based*" – della popolazione – di una migliore qualità dei pascoli valdostani);
 5. tasso di deposizione di nutrienti attraverso le precipitazioni, in quanto potenzialmente in grado di indurre un effetto eutrofizzante sulla vegetazione (Van Den Berg *et al.* 2005).

Tra questi fattori, il primo e il quarto possono essere rilevati puntualmente per ogni *pixel*, ed anche il terzo può essere estrapolato; per quanto riguarda precipitazioni e deposizione di nutrienti bisogna invece affidarsi a rilevazioni condotte in apposite stazioni, più o meno vicine e diffuse nell'area di studio, e l'area di studio dev'essere estesa per poter rilevare delle variazioni dovute a queste covariate (v. par. 4.2 nella pagina successiva).

- Riscrittura dei modelli precedenti con l'utilizzo della grandezza di interesse (fenologia o qualità) al posto del relativo stimatore (riflettanza).
- Interpretazione di questi modelli: dopo aver modellizzato l'andamento degli stadi fenologici dei prati alpini e la relativa qualità nutrizionale, risulterebbe possibile analizzare diversi aspetti di tipo spaziale (variazione della stagione

vegetativa alle diverse quote e nei diversi versanti; localizzazione dei prati con la miglior qualità nutrizionale) e soprattutto temporale (variazione del periodo di inizio della stagione vegetativa; variazione del periodo di massima qualità dei prati; spostamento altitudinale dei prati di maggior qualità e variazione nella relativa estensione). Questi aspetti, oltre ad essere trattati analiticamente, sarebbero anche utilizzabili per la realizzazione di una cartografia della fenologia e della qualità delle praterie alpine del Parco.

- Validazione dei modelli, a livello spaziale e temporale. Per la validazione spaziale li si può applicare ad aree limitrofe al territorio del Parco per verificarne la capacità predittiva; a livello temporale si può invece scegliere, alternativamente, di costruirli su un *dataset* in cui gli ultimi anni sono esclusi e verificarli sui dati di questi, oppure di verificarli sui dati satellitari dell'anno successivo alla costruzione dei modelli. In ogni caso, sia spaziale che temporale, la validazione si effettua attraverso estrapolazione a un intervallo spaziale e temporale più ampio rispetto a quello utilizzato per la costruzione.
- Utilizzo di questi modelli per effettuare previsioni future (anche attraverso rappresentazioni cartografiche).

4.2 Area di studio

L'area di studio per la costruzione dei modelli geostatistici coincide con quella utilizzata per i campionamenti, mentre deve essere estesa se si intende verificarne l'attendibilità attraverso estrapolazione a un'area più ampia (v. par. 4.1 a pagina 11).

Anche per la costruzione dei modelli si può rendere necessaria un'estensione dell'area di studio nel caso si voglia sondare l'effetto delle precipitazioni e della deposizione di nutrienti, in quanto si presume che, all'interno del Parco, la loro variazione sia troppo piccola. In questo caso, si può rendere necessario l'utilizzo di dati raccolti in aree esterne da enti terzi (stazioni meteo) e l'estensione dell'area di studio alle aree circostanti i punti per i quali si disporrà di questi dati. Risulterebbe particolarmente interessante l'utilizzo di dati provenienti da stazioni transalpine, ovvero dove la differente circolazione atmosferica potrebbe provocare un diverso tasso di deposizione dei nutrienti.

4.3 Metodi

Questa parte del progetto non richiede ulteriori metodi di campo, in quanto le variabili di risposta (i dati telerilevati) sono liberamente accessibili (dati MODIS e AVHRR) e non è quindi prevista una raccolta diretta, e i predittori sono o parametri morfometrici deducibili dai DEM dell'area di studio, o dati ambientali raccolti da strutture già esistenti.

L'unica eccezione è costituita dai tassi di deposizione dei nutrienti: sebbene esistano strutture che raccolgono questo tipo di dati (che si intenderebbe utilizzare), non ne sono presenti nell'area del Parco (la più vicina è situata a La Thuile a 1740 m, e fa parte del progetto CON.ECO.FOR.¹¹). In questo caso

¹¹ <http://www3.corpoforestale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/94>

sarebbe necessario predisporre dei campionatori passivi per la misura del biossido di azoto all'interno dell'area di studio (ad esempio in prossimità di alcuni *plot* vegetazionali), e prevederne l'analisi.

4.4 Materiali

Per quanto riguarda il materiale di campo, le uniche attrezzature di campo necessarie sono i campionatori per il biossido di azoto (sempre che questa parte del lavoro venga svolta).

Risulta invece fondamentale l'accesso alle banche dati necessarie a condurre le analisi. In particolare:

- dati satellitari: i *database* MODIS e AVHRR sono di libero accesso; se la loro risoluzione non dovesse risultare sufficiente, si renderebbe necessario il reperimento di ulteriori dati a pagamento a maggior risoluzione;
- dati meteorologici (soprattutto di piovosità) provenienti dalle stazioni presenti all'interno dell'area del Parco;
- eventuali dati meteorologici e di deposizione di nutrienti provenienti da aree esterne (da reperire).

5 Dati telerilevati e dinamica di popolazione dei principali consumatori primari

Nota: *Questa parte del lavoro è un'applicazione dei modelli di qualità delle praterie alpine allo studio di dinamica di popolazione di alcuni consumatori primari diffusi nell'area di studio. Pur rappresentando l'aspetto più interessante dal punto di vista conservazionistico, gli obiettivi e i metodi di lavoro devono essere definiti in collaborazione con chi lavora direttamente sulle specie oggetto dello studio: prima di tutto lo stambecco, ma anche il camoscio alpino e la marmotta alpina.*

Di seguito vengono solo indicati dei possibili indirizzi di lavoro, da modificare e integrare. L'applicazione comune a tutti i casi di studio è quella di effettuare un'analisi di vocazionalità, attraverso la stesura di mappe di idoneità attuale e di previsione futura; altri obiettivi variano in base alla specie studiata.

5.1 Dinamica di popolazione dello stambecco

Lo studio della dinamica di popolazione dello stambecco è agevolato dalla presenza di una serie storica molto corposa (più di 50 anni) relativa all'intera popolazione di ungulati del Parco, e non solo a un campione (l'errore stimato è inferiore al 5%). Grazie a questi dati è possibile descrivere con estrema precisione l'andamento demografico della popolazione; in particolare, risulta evidente il progressivo incremento a partire dagli anni '80, fino ai quasi 5000 individui del 1993, e il successivo dimezzamento avvenuto nel ventennio successivo. È possibile spiegare sia l'incremento che il crollo su base climatica: l'incremento della popolazione è da imputare al calo della mortalità degli adulti, conseguenza della diminuzione della nevosità invernale (Jacobson *et al.* 2004), mentre il successivo crollo è dovuto all'aumento della mortalità infantile, conseguente al progressivo anticipo della stagione vegetativa (Pettorelli *et al.* 2007).

Il secondo risultato è stato ottenuto proprio con l'uso di immagini telerilevate quali stimatori della qualità delle praterie alpine. L'analisi ha riguardato il confronto delle serie temporali dal 1982 al 2004 tramite *database* AVHRR, quindi con risoluzione temporale quindicinale. Considerata la bassa risoluzione spaziale del dato AVHRR (di 64 km²), l'analisi non ha potuto sondare le differenze intercorrenti tra aree con diverse condizioni morfometriche e ambientali all'interno di ciascuna area.

Questo lavoro potrebbe quindi fornire alcune utili integrazioni allo studio della dinamica di popolazione dello stambecco:

- la validazione dell'uso dell'indice di vegetazione quale stimatore della qualità nutrizionale potrebbe fornire una prova diretta di questa relazione per lo specifico ambiente delle praterie alpine; ciò costituirebbe una giustificazione più forte rispetto a una conoscenza bibliografica non riferita a un ambiente specifico (Laycock e Price 1970);
- l'uso di dati provenienti da un *database* a più alta risoluzione consentirebbe di eseguire un'analisi non solo temporale ma anche spaziale; in particolare, sarebbe interessante sondare:
 - la relazione tra la mortalità infantile delle singole metapopolazioni e l'indice di vegetazione dei relativi *home-range*;
 - lo spostamento dei singoli gruppi di maschi o femmine in relazione all'andamento delle serie stagionali dell'NDVI;
- lo studio temporale della variazione della qualità nutrizionale delle praterie pascolate dagli stambecchi potrebbe consentire di eseguire una previsione futura sulla variazione nella disponibilità di habitat potenziale per questa specie.

5.2 Territorialità e strategia riproduttiva del camoscio alpino

Nel camoscio alpino, la distribuzione degli *home-range* estivi varia in base al sesso: nella femmina, infatti, si assiste ad uno spostamento a quote elevate, mentre i maschi si posizionano a quote inferiori (Shank 1985). Anche alcuni maschi si spostano a quote superiori: in questo caso, il loro *home-range* è sensibilmente maggiore rispetto ai maschi che permangono a bassa quota (Lovari *et al.* 2006). La permanenza a quote inferiori della maggior parte dei maschi contrasta con l'esigenza di spostarsi dove la disponibilità e la qualità del nutrimento è maggiore. La ragione di questo comportamento è legata alla strategia riproduttiva, dal momento che in queste aree si sposteranno le femmine in autunno: occupandole preventivamente, i maschi hanno un vantaggio riproduttivo rispetto ai maschi satellite (coloro i quali hanno occupato aree a quote superiori e che si sono spostati a queste quote più tardi) (Von Hardenberg *et al.* 2000).

Uno studio più approfondito della qualità vegetazionale potrebbe fornire ulteriori risposte; ad esempio, tra i maschi territoriali sarebbe interessante verificare se il successo riproduttivo è correlato con la qualità del territorio occupato.

5.3 Selezione dell'habitat e ritmi stagionali nella marmotta alpina

L'altitudine e la morfometria del terreno sono parametri fondamentali nella selezione e nell'uso dell'habitat. L'altitudine influenza direttamente la durata della stagione attiva, più breve alle quote più alte (Barash 1989); l'esposizione e la pendenza determinano la scelta delle zone in cui costruire il sistema di tane: la pendenza non dev'essere troppo elevata per il rischio di cedimenti, ma nemmeno nulla per evitare l'accumulo di neve invernale e il rischio di allagamento, mentre l'esposizione migliore è quella a sud – sud-ovest per massimizzare l'irraggiamento (Macchi *et al.* 1992; Rodrigue *et al.* 1992; Zelenka 1965).

Per la valle d'Aosta è già stata effettuata un'analisi di vocazionalità utilizzando questi parametri (Bassano *et al.* 1992); sarebbe interessante integrare il modello considerando anche la qualità nutrizionale. Un primo problema rispetto ai casi degli ungulati è che la risoluzione del dato MODIS (6,25 ha) è superiore alla dimensione media degli *home-range* familiari, calcolata in $(0,711 \pm 0,440)$ ha nelle famiglie delle aree di studio di Orvieilles e Tzaplanaz; la conseguenza è che non è possibile studiare la modifica stagionale delle aree di foraggiamento in relazione alla fenologia dei pascoli, ma solo correlare l'utilizzo del suolo (in termini di presenza/assenza o di densità) con la qualità della vegetazione dell'intero *home-range*. Un problema maggiore è dato dal fatto che tale risoluzione è di dimensione comparabile all'estensione delle due aree di studio citate, pertanto uno studio ecologico non potrebbe essere condotto sulle sole marmotte marcate del "progetto marmotta", in quanto la numerosità del campione (2) sarebbe troppo bassa (anche nell'ipotesi di un'analisi univariata con il solo dato MODIS quale predittore). L'utilizzo di animali non marcati pone una serie di problemi, in quanto non permette di conoscere la composizione dei gruppi familiari.

La possibilità di applicare i modelli di qualità nutrizionale dei pascoli allo studio della marmotta dipende quindi dagli obiettivi che ci si pone. Uno studio della presenza/assenza e della densità di utilizzo del suolo sarebbe possibile anche tramite osservazioni di animali non marcati (condotte ad esempio con il metodo del *distance sampling*); in questo modo si potrebbero effettuare delle stime di densità totale degli animali nel Parco e delle previsioni future. Obiettivi più ambiziosi (come lo studio della variazione nella composizione dei gruppi familiari, o qualsiasi ipotesi di natura etologica) non sembrano possibili senza la marcatura degli individui. In questo caso servirebbero individui marcati provenienti da famiglie insediate in territori che coprano una varietà di parametri ambientali sufficientemente vasta, il che implicherebbe uno sforzo di lavoro probabilmente non sostenibile.

A Scaletta di lavoro

Il progetto ha una durata triennale; in linea di massima, ciascuno dei tre obiettivi dovrebbe essere condotto in un anno di studio. Per quanto riguarda il primo anno si fissa la seguente scaletta di lavoro:

1. integrazione bibliografica e studio individuale di telerilevamento (in particolare riguardo alle applicazioni all'analisi vegetazionale);
2. scrittura della versione definitiva del progetto, con integrazioni bibliografiche e definizione dei punti in sospeso;
3. approfondimento sui metodi di campionamento;
4. introduzione all'analisi spaziale;
5. analisi esplorativa dei *database* satellitari;
6. raccolta dati.

I primi due punti sono stati svolti; si intende svolgere il terzo in febbraio e il quarto e il quinto prima dell'inizio del periodo di campo.

B Proposte di tesi per studenti collaboratori

Per lo svolgimento del lavoro di campo potrebbe rivelarsi prezioso l'aiuto di studenti tesisti, in particolare per due scopi: aumentare lo sforzo sostenibile (v. par. 3.2.4 a pagina 8) e svolgere i rilievi fenologici.

Nel primo caso, sarebbe fondamentale che lo studente interessato (o gli studenti interessati) sia in grado di muoversi autonomamente; uno studente di laurea specialistica potrebbe quindi consentire il raddoppio del lavoro rispetto alla presenza di un unico campionario, nonché l'equa divisione tra i due versanti del Parco; in alternativa, due studenti triennalisti potrebbero svolgere lo stesso lavoro alternandosi sul campo. Un unico studente triennale sarebbe comunque utile per aumentare lo sforzo del 50%, tuttavia in questo caso dovrebbe essere disponibile a svolgere un lavoro di campo non concentrato in un breve periodo, ma diluito durante tutto l'arco della stagione di campo (in quanto la frequenza tra due successivi campionamenti dovrebbe comunque essere quella definita al paragrafo 3.2.4 a pagina 8).

Nel secondo caso non sarebbe necessario uno spostamento autonomo, e lo sforzo richiesto sarebbe adattabile anche alle esigenze di un solo studente triennale; tuttavia, come nell'ultimo caso precedente, sarebbe fondamentale un campionamento con frequenza costante definita. Inoltre, poiché l'impegno e le conoscenze necessari a effettuare rilievi fenologici sono da definire (v. par. 3.3.2 a pagina 10), il lavoro sarebbe adatto a uno studente di laurea specialistica che abbia già avuto a che fare con studi del genere; in alternativa, la proposta di questo lavoro a un triennalista potrebbe essere possibile con sicurezza solo dopo la definizione precisa del lavoro da svolgere.

Al fine di proporre delle tesi che abbiano già uno scopo definito e un'impostazione di massima del lavoro, si indicano di seguito alcune proposte. In tutti i casi si propone una tesi sperimentale, che è comunque modificabile in base agli interessi dello studente.

Tesi di laurea triennale per un solo studente

Tesi sperimentale *Analisi della variazione della qualità nutrizionale delle praterie alpine*. Lo scopo della ricerca è quello di correlare i risultati delle analisi nutrizionali (par. 3.3.1 a pagina 10) con le caratteristiche morfologiche dei diversi *plot* sperimentali.

Impegno richiesto Lavoro di campo tra aprile e settembre, con frequenza costante (di 16 o 32 giorni), durante il quale effettuare la raccolta dei campioni. È richiesto il campionamento di circa un terzo dei *plot* del progetto, quindi l'impegno effettivo sarebbe di circa una sessione di mezza settimana ogni 16 giorni, o di una settimana al mese.

Spostamenti Considerata l'esigenza di minimizzare gli spostamenti tra i versanti del Parco, la soluzione più comoda è che lo studente si occupi dei campionamenti di un unico versante. Nella definizione del disegno di campionamento bisognerebbe quindi ripartire i settori in modo che in un versante ve ne sia circa il doppio che negli altri. Il lavoro si potrebbe svolgere anche nel caso lo studente non sia automunito.

Tempistiche Considerato che la stagione di campo termina a settembre e che per le analisi dei dati è necessario attendere i risultati di laboratorio, si consiglia questo progetto a studenti del secondo anno o del terzo che non intendano laurearsi prima di febbraio.

Possibili integrazioni Rilievi fenologici: in questo caso lo scopo della ricerca potrebbe essere la correlazione tra stadio fenologico e qualità nutrizionale, oppure tra fenologia e covariate ambientali (in questo caso non sarebbe necessario attendere i risultati delle analisi di laboratorio, tuttavia il lavoro di campo di raccolta dei campioni è comunque richiesto).

Tesi di laurea triennali per due studenti

Tesi sperimentale – 1 Periodo di *green-up* e BGS (*beginning of growing season*): analisi sul campo e confronto con dati telerilevati. È già stato dimostrato (Pettorelli *et al.* 2007) che l'analisi dei dati telerilevati mostri come negli ultimi decenni si sia verificata una riduzione del periodo di *green-up* nei prati alpini del Parco. Considerata l'importanza delle fasi fenologiche precoci, si intende verificare la relazione tra la qualità nutrizionale e l'indice di vegetazione nella prima parte della stagione, e analizzare poi le modifiche temporali intercorse negli ultimi dieci anni attraverso l'uso dei dati satellitari.

Impegno richiesto – 1 Lavoro di campo tra aprile e inizio luglio, con frequenza costante (di 16 o 32 giorni), durante il quale effettuare la raccolta dei campioni. È richiesto il campionamento della metà dei *plot* del progetto, quindi l'impegno effettivo sarebbe di circa la metà del periodo di campo (una settimana ogni 16 giorni).

Tesi sperimentale – 2 La stessa proposta nel caso vi sia solo uno studente disponibile (con l'utilizzo anche dei dati di qualità nutrizionale raccolti nella prima parte della stagione).

Impegno richiesto – 2 Lavoro di campo tra metà luglio e settembre, nelle stesse condizioni del lavoro precedente. Se i due studenti preferiscono, possono anche pensare di non svolgere il periodo di campo concentrato in mezza stagione ciascuno, ma di diluirlo sull'intera stagione.

Spostamenti In questo caso il lavoro sarebbe condotto in entrambi i versanti, e gli spostamenti tra un versante e l'altro avverrebbero una o due volte al mese. Non è indispensabile che gli studenti siano automuniti.

Tempistiche Nel secondo caso sarebbero le stesse indicate nella proposta per un solo studente; la prima proposta potrebbe invece essere adatta anche a uno studente che intende laurearsi a dicembre (previa verifica che le analisi di laboratorio possano essere pronte in tempo).

Possibili integrazioni Anche in questo caso si può pensare di integrare il lavoro con la raccolta e l'analisi di dati fenologici (previa verifica della fattibilità).

Tesi di laurea magistrale – 1

Tesi sperimentale *Modellizzazione della variazione della qualità nutrizionale delle praterie alpine.* Lo scopo della ricerca è simile a quello della prima proposta per studenti triennalisti, con la differenza che l'analisi non si limiterebbe a un aspetto descrittivo, ma i modelli realizzati avrebbero anche un valore predittivo. Il lavoro consisterebbe nella raccolta dei campioni, e nella realizzazione di modelli multivariati con i parametri ambientali come predittori. Tali modelli verrebbero utilizzati per realizzare delle carte della vegetazione. La verifica della capacità di estrapolazione dei modelli verrebbe effettuata tramite confronto, per alcuni *pixel* estratti casualmente, con i dati satellitari.¹²

Impegno richiesto Lavoro di campo tra aprile e settembre, con frequenza costante (di 16 o 32 giorni), durante il quale effettuare la raccolta dei campioni. È richiesto il campionamento di circa la metà dei *plot* del progetto, quindi l'impegno effettivo sarebbe di circa una sessione di una settimana ogni 16 giorni.

Spostamenti In tutto il territorio del Parco, con frequenza quindicinale.

Tempistiche Anche in questo caso il lavoro è adatto a studenti del primo anno, o del secondo che non intendono laurearsi prima di febbraio.

Tesi di laurea magistrale – 2

Tesi sperimentale *Fenologia, composizione floristica e qualità nutrizionale delle praterie alpine del Parco Nazionale Gran Paradiso.* Lo scopo di questo lavoro è quello di legare i dati di qualità nutrizionale delle specie vegetali campionate in ogni associazione con i relativi stadi fenologici. L'obiettivo è quello di verificare l'influenza di alcune specie appetibili ma non dominanti nella determinazione complessiva della qualità nutrizionale.

¹² Lo scopo è simile a quello della prima parte del progetto di dottorato, tuttavia l'approccio è opposto: qui il dato satellitare viene utilizzato per validare il modello costruito sui dati di qualità nutrizionale, e non viceversa. In questo modo l'analisi non includerebbe il trattamento di dati spazio-temporali, in quanto si utilizzerebbero dati riferiti a una singola stagione, e non autocorrelati spazialmente (si considerano alcuni *pixel* casuali invece dell'intera superficie).

Impegno richiesto Lavoro di campo tra aprile e settembre, con frequenza costante (di 16 o 32 giorni), durante il quale effettuare la raccolta dei campioni. Lo studente in questo caso non si sposterebbe autonomamente, in quanto i rilievi floristici verrebbero effettuati contemporaneamente alla raccolta dei campioni.

Conoscenze richieste Lo studente deve avere già un'esperienza precedente di tipo botanico.

Spostamenti In tutto il territorio del Parco, con frequenza quindicinale.

Tempistiche Come per il precedente.

Riferimenti bibliografici

- Asman, W., M. Sutton e J. Schjørring (1998), «Ammonia: Emission, atmospheric transport and deposition», *New Phytologist*, 139, 1, pp. 27–48. (Citato a p. 2.)
- Badeck, F.-W., A. Bondeau, K. Böttcher, D. Doktor, W. Lucht, J. Schaber e S. Sitch (2004), «Responses of spring phenology to climate change», English, *New Phytologist*, 162, 2, pp. 295–309. (Citato a p. 3.)
- Baptist, F., C. Flahaut, P. Streb e P. Choler (2010), «No increase in alpine snowbed productivity in response to experimental lengthening of the growing season», English, *Plant Biology*, 12, 5, pp. 755–764. (Citato a p. 12.)
- Barash, D. (1989), *Marmots: social behavior and ecology*, Stanford books in natural history, Stanford University Press. (Citato a p. 16.)
- Bassano, B., I. Grimod e V. Peracino (1992), «Distribution of Alpine marmot (*Marmota marmota*) in the Aosta Valley and suitable analysis», in *First International Symposium on Alpine Marmot (*Marmota marmota*) and on genus *Marmota**, a cura di B. Bassano, P. Durio, U. Gallo Orsi e E. Macchi, Università di Torino; Centro Ricerche in Ecologia Applicata; Parco Nazionale Gran Paradiso, pp. 111–116. (Citato a p. 16.)
- Beniston, M. (2006), «August 2005 intense rainfall event in Switzerland: Not necessarily an analog for strong convective events in a greenhouse climate», English, *Geophysical Research Letters*, 33, 5, p. L5701. (Citato a p. 2.)
- Beniston, M., M. Rebetez, F. Giorgi e M. Marinucci (1994), «An analysis of regional climate change in Switzerland», English, *THEOR.APPL.CLIMATOL.*, 49, 3, pp. 135–159. (Citato a p. 3.)
- Bobbink, R. e G. Heil (1993), «Atmospheric deposition of sulphur and nitrogen in heathland ecosystems», *Heathlands: Patterns and Processes in a Changing Environment*, pp. 25–50. (Citato a p. 2.)
- Brunetti, M., M. Maugeri e T. Nanni (2002), «Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years», English, *International Journal of Climatology*, 22, 12, pp. 1455–1471. (Citato a p. 3.)
- Busetto, L., R. Colombo, M. Migliavacca, E. Cremonese, M. Meroni, M. Galvagno, M. Rossini, C. Siniscalco, U. Morra Di Cella e E. Pari (2010), «Remote sensing of larch phenological cycle and analysis of relationships with climate in the Alpine region», English, *Global Change Biology*, 16, 9, pp. 2504–2517. (Citato alle pp. 3, 11.)

- Chen, X., Z. Tan, M. Schwartz e C. Xu (2000), «Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in Northern China», English, *International Journal of Biometeorology*, 44, 2, pp. 97–101. (Citato a p. 3.)
- Chmielewski, F.-M. e T. Rötzer (2002), «Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes», English, *Climate Research*, 19, 3, pp. 257–264. (Citato alle pp. 3, 4.)
- Clement, J., T. Robson, R. Guillemin, P. Saccone, J. Lochet, S. Aubert e S. Lavorel (2011), «The effects of snow-N deposition and snowmelt dynamics on soil-N cycling in marginal terraced grasslands in the French Alps», English, *Biogeochemistry*, pp. 1–19. (Citato a p. 2.)
- Confalonieri, M., G. Lombardi, M. Bassignana e M. Odoardi (2004), «Analysis of quality constituents of natural alpine swards with near infrared reflectance spectroscopy», English, *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 12, 6, cited By (since 1996) 3, pp. 411–417. (Citato a p. 4.)
- Corte-Real, J. e X. W. Xuebin Zhang (1995), «Large-scale circulation regimes and surface climatic anomalies over the Mediterranean», English, *International Journal of Climatology*, 15, 10, pp. 1135–1150. (Citato a p. 3.)
- Dirnböck, T., F. Essl e W. Rabitsch (2011), «Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change», English, *Global Change Biology*, 17, 2, pp. 990–996. (Citato a p. 2.)
- Erismann, J. (1993), «Acid deposition to nature areas in the Netherlands: Part I. Methods and results», *Water, Air, and Soil Pollution*, 71, 1-2, pp. 51–80. (Citato a p. 2.)
- Graherr, G., M. Gottfried e H. Paul (1994), «Climate effects on mountain plants [7]», English, *Nature*, 369, 6480, p. 448. (Citato a p. 3.)
- Graherr, G., M. Gottfried e H. Pauli (2010), «Climate change impacts in alpine environments», English, *Geography Compass*, 4, 8, pp. 1133–1153. (Citato a p. 3.)
- Haeberli, W. e M. Beniston (1998), «Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps», English, *Ambio*, 27, 4, pp. 258–265. (Citato alle pp. 2, 3.)
- Harriman, R., C. Curtis e A. Edwards (1998), «An empirical approach for assessing the relationship between nitrogen deposition and nitrate leaching from upland catchments in the United Kingdom using runoff chemistry», *Water, Air, and Soil Pollution*, 105, 1-2, pp. 193–203. (Citato a p. 2.)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report*. (Citato a p. 2.)
- Jacobson, A., A. Provenzale, A. Von Hardenberg, B. Bassano e M. Festa-Bianchet (2004), «Climate forcing and density dependence in a mountain ungulate population», English, *Ecology*, 85, 6, pp. 1598–1610. (Citato a p. 14.)
- Katz, R. e B. Brown (1992), «Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages», English, *Climatic Change*, 21, 3, pp. 289–302. (Citato a p. 3.)
- Kerr, J. e M. Ostrovsky (2003), «From space to species: Ecological applications for remote sensing», English, *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 6, pp. 299–305. (Citato a p. 3.)
- Laycock, W. e D. Price (1970), «Factors influencing forage quality. Environmental influences on nutritional value of forage plants», in *Range and Wildlife Habitat Evaluation - A Research Symposium*, Miscellaneous publication, 1147,

- United States. Forest Service. Branch of Range, Wildlife Habitat Ecology e Management Research, pp. 37–47. (Citato a p. 15.)
- Lopez-Bustins, J.-A., J. Martin-Vide e A. Sanchez-Lorenzo (2008), «Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns», English, *Global and Planetary Change*, 63, 2-3, pp. 171–176. (Citato a p. 3.)
- Lovari, S., F. Sacconi e G. Trivellini (2006), «Do alternative strategies of space use occur in male Alpine chamois?», English, *Ethology Ecology and Evolution*, 18, 3, pp. 221–231. (Citato a p. 15.)
- López-Moreno, J., S. Vicente-Serrano, E. Morán-Tejeda, J. Lorenzo-Lacruz, A. Kenawy e M. Beniston (2011), «Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: Observed relationships and projections for the 21st century», English, *Global and Planetary Change*, 77, 1-2, pp. 62–76. (Citato a p. 3.)
- Macchi, E., B. Bassano, P. Durio, M. Tarantola e A. Vita (1992), «Ecological parameters affecting the settlement's choice in alpine marmot (*Marmota marmota*)», in *First International Symposium on Alpine Marmot (*Marmota marmota*) and on genus *Marmota**, a cura di B. Bassano, P. Durio, U. Gallo Orsi e E. Macchi, Università di Torino; Centro Ricerche in Ecologia Applicata; Parco Nazionale Gran Paradiso, pp. 123–127. (Citato a p. 16.)
- Myneni, R. B., F. G. Hall, P. J. Sellers e A. L. Marshak (1995), «Interpretation of spectral vegetation indexes», English, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33, 2, pp. 481–486. (Citato a p. 4.)
- Parolo, G. e G. Rossi (2008), «Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps», English, *Basic and Applied Ecology*, 9, 2, pp. 100–107. (Citato alle pp. 1, 3.)
- Pettorelli, N., A. Mysterud, N. Yoccoz, R. Langvatn e N. Stenseth (2005a), «Importance of climatological downscaling and plant phenology for red deer in heterogeneous landscapes», English, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272, 1579, pp. 2357–2364. (Citato alle pp. 3, 4.)
- Pettorelli, N., R. Weladji, O. Holand, A. Mysterud, H. Breie e N. Stenseth (2005b), «The relative role of winter and spring conditions: Linking climate and landscape-scale plant phenology to alpine reindeer body mass», English, *Biology Letters*, 1, 1, pp. 24–26. (Citato a p. 3.)
- Pettorelli, N., J. Vik, A. Mysterud, J.-M. Gaillard, C. Tucker e N. Stenseth (2005c), «Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change», English, *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 9, pp. 503–510. (Citato alle pp. 1, 3, 4, 12.)
- Pettorelli, N., F. Pelletier, A. Von Hardenberg, M. Festa-Bianchet e S. Côté (2007), «Early onset of vegetation growth vs. rapid green-up: Impacts on juvenile mountain ungulates», English, *Ecology*, 88, 2, pp. 381–390. (Citato alle pp. 1, 4, 5, 14, 18.)
- PhenoALP (2010), *Protocol for phenological observations in alpine grasslands*. (Citato a p. 11.)
- Rodrigue, I., D. Allainé, R. Ramousse e M. Le Berre (1992), «Space occupation strategy related to ecological factors in Alpine marmot (*Marmota marmota*)», in *First International Symposium on Alpine Marmot (*Marmota marmota*) and on genus *Marmota**, a cura di B. Bassano, P. Durio, U. Gallo Orsi e E. Macchi, Università di Torino; Centro Ricerche in Ecologia Applicata; Parco Nazionale Gran Paradiso, pp. 135–141. (Citato a p. 16.)

- Rodríguez-Puebla, C., A. Encinas e J. Sáenz (2001), «Winter precipitation over the Iberian peninsula and its relationship to circulation indices», English, *Hydrology and Earth System Sciences*, 5, 2, pp. 233–244. (Citato a p. 3.)
- Running, S. (1990), «Estimating terrestrial primary productivity by combining remote sensing and ecosystem simulation», *Remote Sensing of Biosphere Functioning*, pp. 65–86. (Citato a p. 4.)
- Rutberg, A. (1987), «Adaptive hypotheses of birth synchrony in ruminants: an interspecific test», English, *American Naturalist*, 130, 5, pp. 692–710. (Citato a p. 3.)
- Shank, C. (1985), «Inter- and intra-sexual segregation of chamois (*Rupicapra rupicapra*) by altitude and habitat during summer», *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 50, 2, pp. 117–125. (Citato a p. 15.)
- Stenseth, N., A. Mysterud, G. Ottersen, J. Hurrell, K.-S. Chan e M. Lima (2002), «Ecological effects of climate fluctuations», English, *Science*, 297, 5585, pp. 1292–1296. (Citato a p. 3.)
- Tilman, D., J. Fargione, B. Wolff, C. D'Antonio, A. Dobson, R. Howarth, D. Schindler, W. Schlesinger, D. Simberloff e D. Swackhamer (2001), «Forecasting agriculturally driven global environmental change», English, *Science*, 292, 5515, pp. 281–284. (Citato a p. 2.)
- Trigo, R. e J. Palutikof (2001), «Precipitation scenarios over Iberia: A comparison between direct GCM output and different downscaling techniques», English, *Journal of Climate*, 14, 23, pp. 4422–4446. (Citato a p. 3.)
- Tucker, C., J. Pinzon, M. Brown, D. Slayback, E. Pak, R. Mahoney, E. Vermote e N. El Saleous (2005), «An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data», English, *International Journal of Remote Sensing*, 26, 20, pp. 4485–4498. (Citato a p. 12.)
- Turner, W., S. Spector, N. Gardiner, M. Fladeland, E. Sterling e M. Steininger (2003), «Remote sensing for biodiversity science and conservation», English, *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 6, pp. 306–314. (Citato a p. 3.)
- Van Den Berg, L., H. Tomassen, J. Roelofs e R. Bobbink (2005), «Effects of nitrogen enrichment on coastal dune grassland: A mesocosm study», English, *Environmental Pollution*, 138, 1, pp. 77–85. (Citato alle pp. 2, 12.)
- Vicente-Serrano, S., S. Beguería, J. López-Moreno, A. El Kenawy e M. Angulo-Martínez (2009), «Daily atmospheric circulation events and extreme precipitation risk in northeast Spain: Role of the North Atlantic Oscillation, the Western Mediterranean Oscillation, and the Mediterranean Oscillation», English, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 114, 8, p. D08106. (Citato a p. 3.)
- Von Hardenberg, A., B. Bassano, A. Peracino e S. Lovari (2000), «Male Alpine chamois occupy territories at hotspots before the mating season», English, *Ethology*, 106, 7, pp. 617–630. (Citato a p. 15.)
- Zelenka, G. (1965), «Observations sur l'écologie de la marmotte des Alpes», *La terre et la vie*, 19, pp. 238–256. (Citato a p. 16.)