



## Direzione Generale per il Patrimonio Naturalistico

Scheda n. **1** di totali n. **1** Schede della Tipologia I

# ALLEGATO 1.I

## Scheda di dettaglio interventi Tipologia I

### ANAGRAFICA DELL'ENTE PARCO

DENOMINAZIONE ENTE PARCO	REGIONI INTERESSATE	PROVINCE INTERESSATE
PARCO NAZIONALE DELLO STELVIO	LOMBARDIA	SONDRIO
		BRESCIA
	TRENTINO ALTO ADIGE	BOLZANO
		TRENTO

Sede del Parco Lombardia (capofila del progetto)

Via: De Simoni

N. 42

Città: Bormio (SO)

CAP: 23032

Referente del progetto:	Luca Pedrotti		
Telefono:	0342 900842	Cell.:	348 5326833
E-mail:	luca.pedrotti@stelviopark.it		

PEC dell'Ente:	ersaf@pec.regione.lombardia.it
----------------	--------------------------------

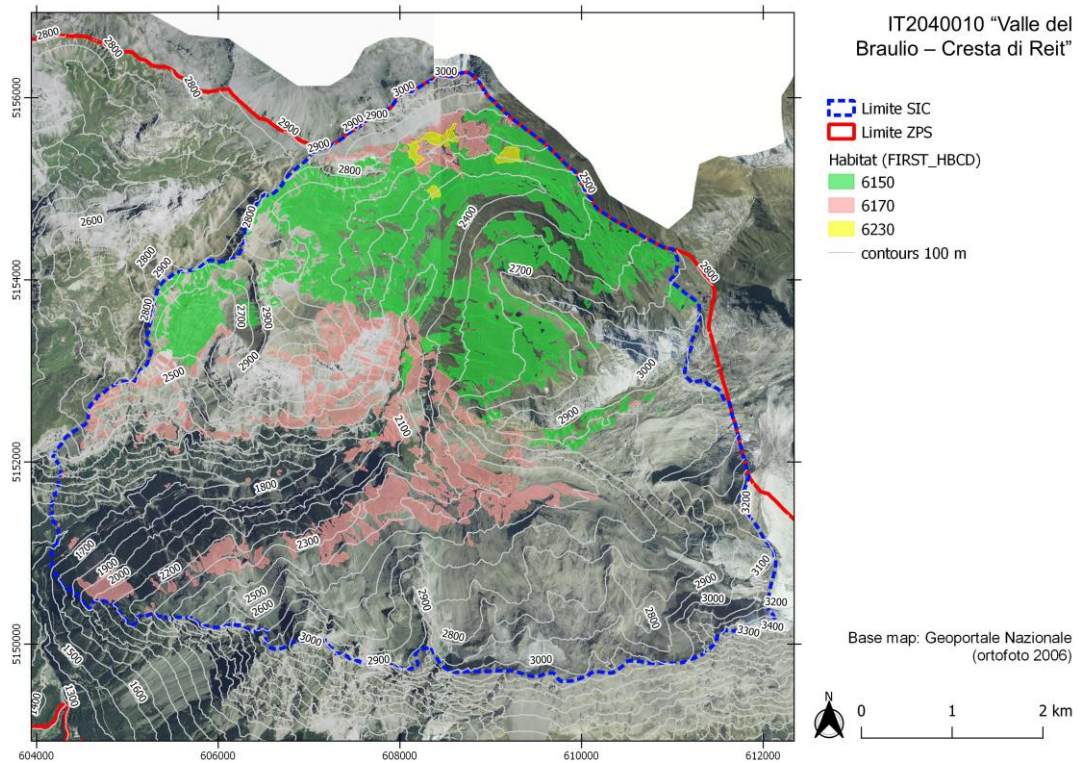
### INTERVENTO RELATIVO ALLA TIPOLOGIA I

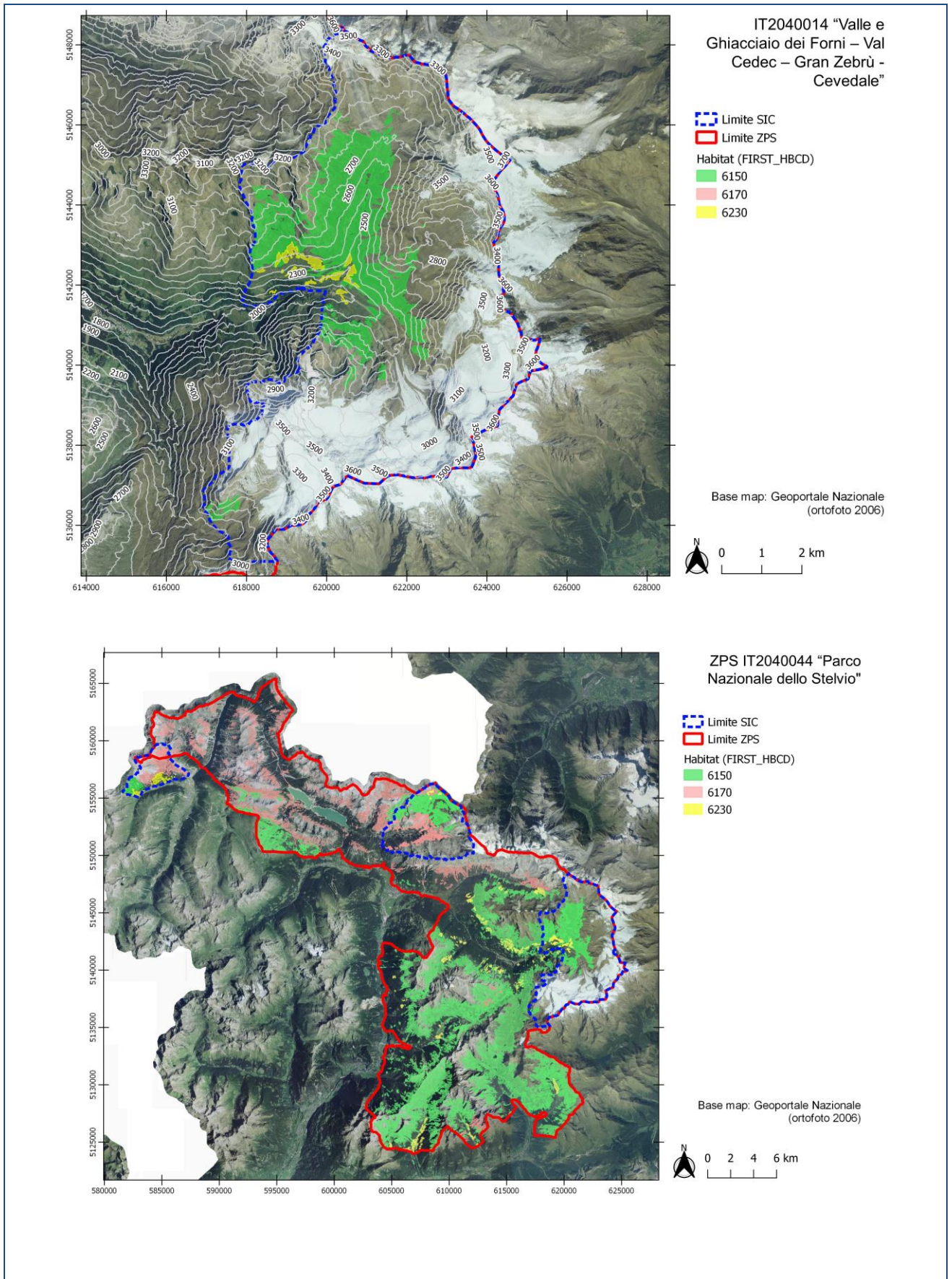
<b>Denominazione dell'intervento</b> <i>Back from the Future – interventi di ripristino di habitat di prateria alpina a mitigazione dell'impatto dei cambiamenti climatici</i>
<b>Localizzazione dell'intervento</b> L'intervento sarà effettuato in alcune aree selezionate all'interno delle seguenti ZSC, tutte localizzate nella porzione Lombarda del Parco Nazionale dello Stelvio, in particolare: ZSC IT2040010 "Valle del Braulio – Cresta di Reit", ZSC IT2040014 "Valle e Ghiacciaio dei Forni – Val Cedec – Gran Zebrù - Cevedale",

## ZPS IT2040044 "Parco Nazionale dello Stelvio"

Di seguito sono riportate le cartografie che illustrano la localizzazione degli habitat nei quali è avvenuta e sta avvenendo l'espansione degli arbusti e all'interno dei quali saranno identificate in fase di progettazione esecutiva le specifiche aree di intervento

La Priorità di intervento proposta riguarda in particolare la ZSC Valle del Braulio Cresta di Reit, la ZSC Valle e Ghiacciaio dei Forni – Val Cedec – Gran Zebrù – Cevedale e parte della ZPS Parco Nazionale dello Stelvio (area Gavia-Sforzellina).





**TIPOLOGIA I**  
**ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI**

**Attività di intervento**

<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Categoria 1. Riqualificazione dei corsi d'acqua e mitigazione rischio idrogeologico</b>	
<input type="checkbox"/>	I.1.1	Riqualificazione dei corsi d'acqua in considerazione del mantenimento dei deflussi vitali, della qualità ecologica e della continuità longitudinale in situazioni di variazioni dei regimi termo-pluviometrici attuali e futuri
<input type="checkbox"/>	I.1.2	Aumento dell'efficienza dell'impiego della risorsa idrica e riduzione della perdita nella rete di distribuzione
<input type="checkbox"/>	I.1.3	Rinaturalizzazione dei bacini imbriferi e degli alvei torrentizi e fluviali con interventi selvicolturali e sistemazioni idraulico-forestali dei pertinenti territori ad essi collegati dal punto di vista idrogeologico, per il controllo dei fenomeni di erosione del suolo, di dissesto franoso e di esondazione, favorendo nel contempo il trasporto solido a mare per il ripristino del ripascimento naturale degli arenili
<input type="checkbox"/>	I.1.4	Opere per il contenimento del rischio di esondazione
<input checked="" type="checkbox"/>	I.1.5	Recupero, ristrutturazione e manutenzione delle sistemazioni idraulico-agrarie in particolare negli ambienti collinari, attraverso la progettazione a scala di micro bacino (terrazzamenti e gradonamenti, ciglionamenti, impianti di filari a girapoggio, ecc) e interventi per il ripristino e il recupero di aree umide ove siano presenti habitat naturali e seminaturali.
<input type="checkbox"/>	<b>Categoria 2. Aree costiere</b>	
<input type="checkbox"/>	I.2.1	Rinaturalizzazione delle aree costiere attraverso il ripristino, conservazione e ampliamento dei cordoni dunali
<input type="checkbox"/>	I.2.2	Opere di contrasto della penetrazione dell'acqua salata in falde di acqua dolce e nei corsi d'acqua
<input type="checkbox"/>	I.2.3	Mantenimento e ripristino delle condizioni di naturalità della vegetazione della fascia ripariale degli estuari, delle aree umide costiere e delle zone dunali per aumentarne la stabilità favorendo nel contempo il trasporto solido a mare per il ripristino del ripascimento naturale degli arenili.

**RACCOMANDAZIONI:**

Tutti gli interventi della Tipologia I devono essere esplicitamente motivati da finalità di adattamento (o mitigazione) ai cambiamenti climatici, pertanto non sono ammessi al presente Programma di finanziamento interventi volti alla sola tutela della biodiversità o degli ecosistemi.

Le attività relative alla manutenzione dei sentieri e dei muretti a secco non sono ammissibili in quanto già finanziati da altri fondi.

### Descrizione generale dell'intervento

Riportare la descrizione dell'intervento progettuale, con riferimento all'ambito territoriale interessato, nonché degli obiettivi specifici che lo stesso intende perseguire. Dovranno essere riportati i riferimenti alle sub categorie interessate, all'ambito territoriale e agli Enti pubblici interessati, direttamente o indirettamente, alla realizzazione delle attività nonché le modalità di interazione/integrazione con le altre tipologie di intervento.

Il Progetto **Back from the Future** è finalizzato all'adattamento e mitigazione del cambiamento climatico sulle biocenosi vegetali degli orizzonti altitudinali subalpini ed alpini attraverso la realizzazione di interventi attivi nell'ambito della tipologia I "*Interventi per l'adattamento ai cambiamenti climatici*", con specifico riferimento alla voce "*1.1.5 Recupero, ristrutturazione e manutenzione delle sistemazioni idraulico-agrarie in particolare negli ambienti collinari, attraverso la progettazione a scala di micro bacino (terrazzamenti e gradonamenti, ciglionamenti, impianti di filari a girapoggio, ecc.) e interventi per il ripristino e il recupero di aree umide ove siano presenti habitat naturali e seminaturali*", a seguito della richiesta di poter includere in tale tipologia anche gli **habitat naturali e seminaturali degli ambienti alpini** (nota del MATTM, prot. n. 68507 del 3 settembre 2020).

### Obiettivi specifici del Progetto

Il presente Progetto ha come principale obiettivo l'adattamento e la mitigazione degli impatti del cambiamento climatico in un territorio nel quale sono ben documentate importate evidenze di impatti sulle biocenosi vegetali (si veda di seguito). Tale obiettivo sarà perseguito contrastando uno dei principali impatti del cambiamento climatico in aree alpine, ossia l'espansione della vegetazione arbustiva e arborea che nella sua migrazione verso quote superiori ha invaso (e sta invadendo) habitat di prateria, valletta nivale ed anche vegetazione pioniera, provocando significative alterazioni e feedback positivi che includono anche le emissioni di CO<sub>2</sub>. La ricerca scientifica prevede che il cambiamento climatico proseguirà in futuro anche se con diversi scenari a causa dell'incertezza sull'ammontare delle emissioni antropiche di gas serra (IPCC, 2014). In ogni caso, anche gli scenari più favorevoli prevedono la persistenza ed il peggioramento di tali impatti con rilevanti conseguenze ambientali (quali degradazione, perdita ed omogenizzazione degli habitat, alterazione di processi ecosistemici, perdita di servizi ecosistemici e di biodiversità) e ulteriori feedback positivi rispetto al cambiamento climatico.

Alla luce delle evidenze scientifiche, gli interventi qui proposti consistono nella rimozione manuale della vegetazione arbustiva nelle aree di prateria alpina e subalpina nelle quali si è verificato il processo di espansione degli arbusti in seguito agli impatti del cambiamento climatico, selezionando alcune aree target e riportandole in condizioni simili a quelle dei primi anni '90, quando l'espansione degli arbusti era già avviata ma non così estesa. In fase successiva, si prevede la possibilità, se ritenuta necessaria, di operare per il mantenimento delle aree di prateria mediante la definizione di specifici piani di pascolo opportunamente predisposti per superfici, tempi e carico in funzione degli obiettivi.

Tale progetto permetterà di ottenere i seguenti obiettivi specifici, in particolare:

- a) attivare un feedback negativo rispetto al cambiamento climatico aumentando la capacità di accumulo di CO<sub>2</sub> atmosferica da parte degli ecosistemi vegetali;
- b) promuovere l'adattamento e la mitigazione al cambiamento climatico contrastando uno dei suoi principali impatti in aree alpine, ossia l'espansione della vegetazione arbustiva e arborea, che si prevede proseguirà anche in futuro;
- c) promuovere l'adattamento delle specie alpine riportando lo stato delle biocenosi vegetali alle condizioni dei primi anni '90, quando l'espansione degli arbusti e degli alberi era ancora limitata nel territorio;
- d) promuovere la conoscenza e la consapevolezza dei cittadini e del contesto sociale locale sulle problematiche relative agli impatti del cambiamento climatico in aree caratterizzate da elevata fragilità ecologica quali gli ambiti alpini.

### Background Scientifico/Razionale

Il cambiamento climatico attuale è ritenuto senza precedenti sia per velocità che per magnitudo (IPCC 2014) ed ha già prodotto importanti ed estesi impatti, in particolare nelle aree di alta quota e di alta latitudine, inducendo importanti risposte delle biocenosi vegetali, quali migrazione delle specie verso quote superiori, "termofilizzazione", accelerazione delle dinamiche successionali, espansione della vegetazione arbustiva (Walther et al., 2002; Cannone et al., 2007, 2008; Lenoir et al., 2008; Gottfried et al., 2012; Steinbauer et al., 2018).

Uno dei più evidenti impatti del cambiamento climatico riconosciuti a livello mondiale è la migrazione verso quote superiori e l'espansione areale degli arbusti (Elmendorf et al., 2012a, b; Myers-Smith & Hik 2018), che invadono aree precedentemente dominate da comunità vegetali erbacee climax (praterie e vallette nivali), provocandone la migrazione

verso quote superiori, e la progressiva regressione (Cannone et al., 2007; Cannone & Pignatti, 2014). Questi impatti sono ben evidenti nel territorio delle Alpi Europee, una delle tre aree del Pianeta che hanno subito il più alto tasso di riscaldamento durante il XX secolo, in particolare nel periodo 1950-2000 (Böhm et al., 2001; Auer et al., 2007).

L'espansione degli arbusti provoca non solo alterazioni della biodiversità e del paesaggio, ma anche importanti conseguenze sui processi ecosistemici producendo significativi feedback positivi al cambiamento climatico attraverso variazioni del bilancio energetico della superficie, alterazioni del ciclo del Carbonio e del ciclo idrologico (Sturm et al., 2001, 2005). Infatti, lo sviluppo degli arbusti provoca una riduzione dell'albedo delle superfici sia in estate (a causa della maggiore radiazione incidente assorbita, essendo gli arbusti di colore più scuro rispetto alla vegetazione erbacea) che in inverno (a causa del fatto che per la loro maggiore altezza gli arbusti possono in parte emergere dalla copertura nivale intercettando la radiazione incidente) producendo un importante effetto di ulteriore riscaldamento (Beringer et al., 2005; Chapin et al., 2005; Sturm et al., 2005). Inoltre, a causa della loro struttura, gli arbusti producono un maggiore e più prolungato accumulo della neve (rispetto alla vegetazione erbacea) inducendo un aumento delle temperature invernali del suolo tale da attivare un maggiore tasso di respirazione ecosistemica e di decomposizione della sostanza organica stoccata nel suolo, e con conseguenti e significative emissioni di CO<sub>2</sub> (Mack et al., 2004; Chapin et al., 2005; Sturm et al., 2005; Hallinger et al., 2010; Lüers et al. 2014). Inoltre, uno studio internazionale che ha coinvolto 13 siti alpini in 4 differenti continenti (di cui 1 sito è localizzato nel Parco Nazionale dello Stelvio) ha dimostrato come l'espansione degli arbusti in aree precedentemente occupate da praterie alpine climax induca una significativa alterazione del microbiota del suolo, oltre che delle sue caratteristiche chimico-fisiche con particolare riferimento al pH ed al rapporto C:N (Collins et al., 2020 in press).

Questi impatti del cambiamento climatico sulle biocenosi vegetali alpine sono stati documentati da studi scientifici svolti nel territorio del Parco Nazionale dello Stelvio dove, dal 1950 ad oggi, si è osservata l'espansione della vegetazione arbustiva, che ha invaso gli habitat di prateria alpina e valletta nivale con un rateo tra i più alti mai misurati a livello mondiale (+6.7% per decade, Cannone et al. 2007), la migrazione verso quote superiori, sia di specie che di intere comunità vegetali (Cannone et al., 2007), la quantificazione del debito di estinzione legato al cambiamento climatico che interessa il 33% delle specie native per il periodo 1950-2000 (Cannone & Pignatti, 2014), l'accelerazione delle dinamiche successionali anche in ambiti estremi come quelli proglaciali (Cannone et al., 2008), l'alterazione del microbiota e delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo nelle aree di prateria invase dagli arbusteti di Ericacee (Collins et al., 2020 in press).

Nel territorio del Parco Nazionale dello Stelvio è stato inoltre recentemente documentato come l'espansione della vegetazione arbustiva dominata da Ericacee sia stato seguito dalla successiva espansione della vegetazione arborea (Pino mugo e Larice), dovuta agli impatti del cambiamento del clima senza concause legate a eventuali cambiamenti di uso del suolo (Malfasi & Cannone, 2020). Si è inoltre dimostrato come il perdurare del *warming* negli ultimi 40 anni sia stato fondamentale per attivare l'encroachment delle specie arboree nell'orizzonte alpino (Malfasi & Cannone, 2020).

La dinamica di espansione della vegetazione arborea nell'orizzonte alpino può essere stata promossa anche dall'incremento del contenuto di CO<sub>2</sub> atmosferica, che è aumentato da 278 ppm in epoca pre-industriale (1750; Joos and Spahni, 2008) a 405 ppm nel 2017 (Dlugokencky and Tans, 2019) a causa delle emissioni antropogeniche. Infatti, si è osservato un effetto di fertilizzazione dovuto all'incremento di CO<sub>2</sub> atmosferica sull'espansione della foresta, ben documentato dall'orizzonte montano a quello subalpino (Körner, 2006; Huang et al., 2007; Piccinelli, Brusa, & Cannone 2020).

Mentre gli effetti dell'espansione degli arbusti sui flussi di CO<sub>2</sub> e sullo stoccaggio di Carbonio nel suolo sono ampiamente documentati in ambiti artici, sub-artici e per le montagne Scandinave, per quanto riguarda le Alpi Europee non vi sono specifici studi su questi argomenti e, da quanto risulta dalla letteratura scientifica (web of science), tali evidenze sono state individuate solo nell'ambito di specifici studi condotti nel territorio del Parco Nazionale dello Stelvio. I primi studi specifici su questo argomento risalgono al periodo 2008-2010 durante il quale le analisi dei flussi di CO<sub>2</sub>, confrontando le comunità di prateria alpina e di valletta nivale con le aree invase dagli arbusti di Ericacee, hanno mostrato come le praterie svolgessero una funzione di accumulo di CO<sub>2</sub> atmosferica inaspettatamente molto più efficiente rispetto agli arbusteti (Cannone 2010 a, b, 2013).

Sulla base di questi studi preliminari è stato sviluppato il progetto PRIN 2015 (Progetti di Rilevante Interesse Nazionale del Ministero dell'Università e della Ricerca) "RESACC - Risposta di Ecosistemi Sensibili Alpini ai Cambiamenti Climatici" nell'ambito del quale sono stati analizzati gli impatti del cambiamento climatico sui flussi di CO<sub>2</sub> degli ecosistemi alpini di alta quota.

Le misure dei flussi di CO<sub>2</sub> effettuate in campo hanno confermato come gli ecosistemi di arbusteto di Ericacee (*Vaccinio Rhododendretum* dominato da *Rhododendron ferrugineum*, RF) siano sempre meno efficaci degli ecosistemi di prateria

sia subalpina (*Caricetum firmae*, CF) che alpina (*Caricetum curvulae*, CC) come assimilatori di CO<sub>2</sub> atmosferica, mostrando valori di NEE (Net Ecosystem Exchange) meno negativi rispetto a quelli degli ecosistemi di prateria (Figura 1) (Cannone et al., in prep.). Si è anche evidenziato come questa minore capacità *sink* sia più evidente durante anni caratterizzati da stagioni molto calde e siccitose, come l'anno 2017 (in cui l'arbusteto mostra valori medi stagionali di NEE pari a -1 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, a fronte di valori medi di -2,3 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> per la prateria alpina d'alta quota), mentre sia più attenuata durante anni con condizioni climatiche meno estreme, come l'anno 2018 (Figura 1) (Cannone et al., in prep.), indicando come tale differente capacità possa esacerbarsi ulteriormente in un futuro caratterizzato da un ulteriore incremento delle temperature e da una maggiore frequenza di eventi estremi quali *heat waves* e periodi siccitosi (IPCC 2014).

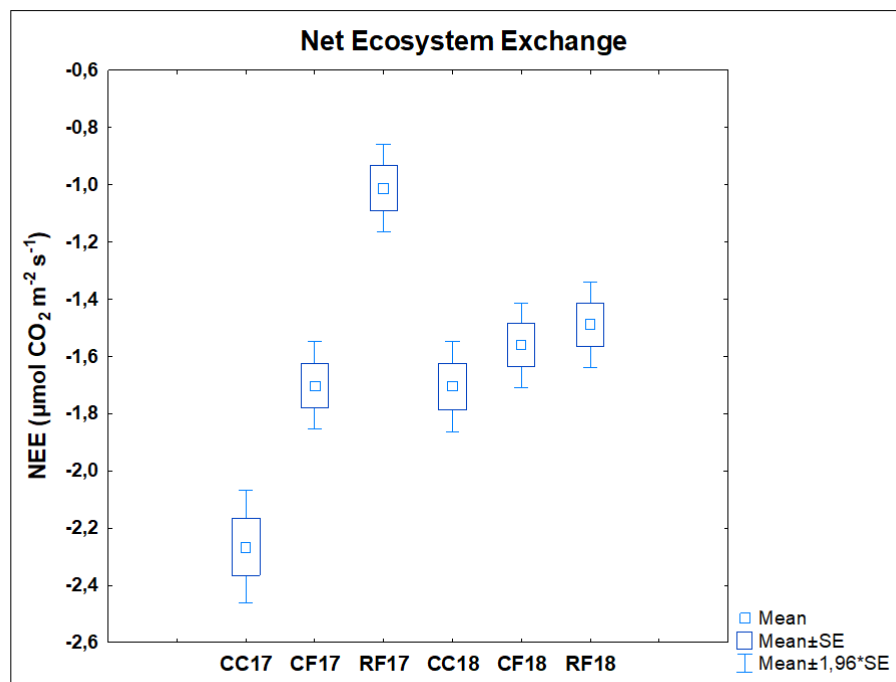


Figura 1. Valori medi stagionali di scambio netto ecosistemico (Net Ecosystem Exchange, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) confrontando gli ecosistemi di arbusteto ad Ericacee (*Vaccinio Rhododendretum*, RF) con gli ecosistemi di prateria subalpina (*Caricetum firmae*, CF) e di prateria alpina climax di alta quota (*Caricetum curvulae*, CC) confrontando l'anno 2017 (caratterizzato da una stagione vegetativa molto calda e siccitosa) con l'anno 2018 (caratterizzato da condizioni non estreme) nell'ambito della campagna di misure in situ del progetto MIUR PRIN "RESACC" (Cannone et al., in prep.).

Nel territorio del Parco Nazionale dello Stelvio è stata inoltre recentemente documentata una nuova evidenza di impatto del cambiamento climatico, con l'ingresso e l'espansione di vegetazione arbustiva del genere *Salix*, che coinvolge numerose specie pioniere di *Salix* caratteristiche di orizzonti dal collinare al subalpino (quali *S. purpurea*, *S. appendiculata*, *S. hastata*, *S. foetida*, *S. helvetica*) (Cannone et al., submitted a *Nature Climate Change*). Tali arbusti, normalmente presenti in aree disturbate o lungo il greto dei corsi d'acqua, stanno invadendo sia habitat zonali (climax) di brughiera subalpina (ad es., *Vaccinio/Rhododendreto*) e prateria alpina (ad es., *Caricetum curvulae*), fino ad habitat extra-zonali di alta quota quali vallette nivali (*Salicetum herbaceae*) e vegetazione pioniera (*Oxyrietum digynae*) anche in aree appena deglacciate site fino a 3000 m di quota (Cannone et al., submitted a *Nature Climate Change*) (Figura 2). L'espansione della vegetazione arbustiva a *Salix* in questi ambiti sia zonali che extra-zonali potrebbe provocare significative alterazioni dei *pattern* successionali con importati conseguenze e *feedback* ben superiori rispetto alla già documentata espansione degli arbusteti ad Ericacee, anche in termini di conseguenze sulle alterazioni dei processi ecosistemici e dei flussi di CO<sub>2</sub>.

A tale proposito, l'analisi dei flussi di Carbonio e del pool di sostanza organica stoccata nel suolo confrontando tre differenti comunità vegetali alpine (prateria, arbusteto ad Ericacee, arbusteto a *Salix*) delle montagne norvegesi ha dimostrato come gli habitat di prateria siano caratterizzati da maggiori capacità di accumulo di CO<sub>2</sub> atmosferica e dal massimo stoccaggio di Carbonio organico nel suolo seguiti dagli arbusteti ad Ericacee, mentre gli arbusteti a *Salix* presentano le minori capacità, in particolare di stoccaggio di Carbonio organico nel suolo (Sørensen et al., 2018). Questo studio conferma ulteriormente il fatto che tali arbusteti siano caratterizzati da alti tassi di respirazione e forte

turnover del Carbonio a causa dell'alta decomponibilità della lettiera da loro prodotta, producendo un effetto netto di rilascio di CO<sub>2</sub> rispetto alle praterie erbacee ed anche all'arbusteto di Ericacee (Cahoon et al., 2012; Parker et al., 2015).

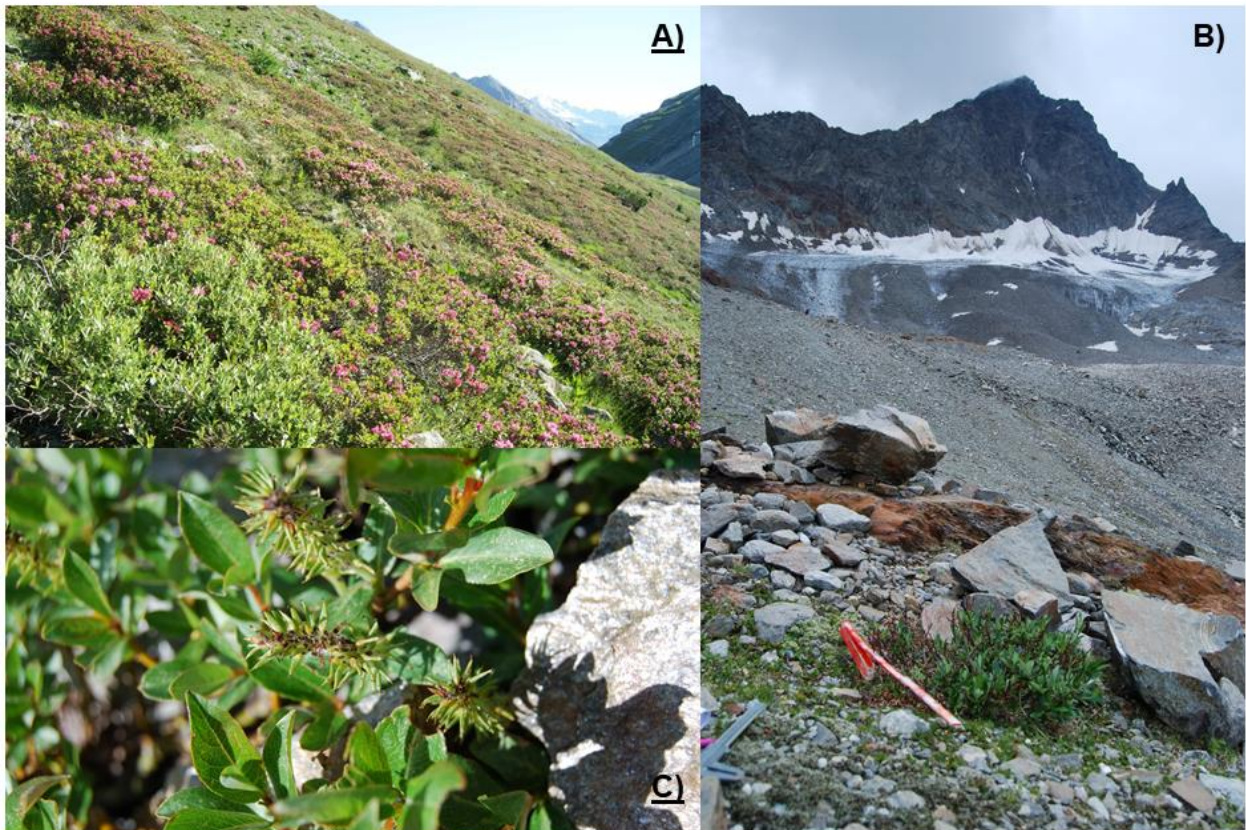


Figura 2. Invasione di arbusti *Salix* a) versante del Monte Scorluzzo dove è stata documentata l'espansione degli arbusti in Cannone et al., 2007, Cannone & Pignatti, 2014 e Malfasi & Cannone 2020 e dove hanno fatto il loro ingresso gli arbusti di *Salix* spp. su vegetazione arbustiva chiusa di *Rhododendron ferrugineum*; B) area proglaciale del Ghiacciaio della Sforzellina come esempio dell'invasione in aree extra-zonali (Cannone et al., submitted to Nature Climate Change); C) esempio dell'ottimo adattamento di questi arbusti che presentano nella maggior parte individui in fase riproduttiva.

#### **Ambiti territoriali interessati: il territorio del Parco Nazionale dello Stelvio e la sua gestione**

Il territorio del Parco Nazionale dello Stelvio, con particolare riferimento al settore Lombardo del Parco, include nove Zone Speciali di Conservazione (ZSC), per le quali il Parco ha approvato specifiche misure di conservazione con D.g.r. 30 novembre 2016 - n. X/5928 Adozione delle misure di conservazione relative ai 9 siti Rete Natura 2000 compresi nel territorio del Parco Nazionale dello Stelvio e trasmissione delle stesse al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, ai sensi del d.p.r. 357/97 e s.m.i. e del d.m. 184/2007 e s.m.i., riprese nelle norme di attuazione del Piano del Parco all'art. 10 (e relativi allegati) riguardano specificatamente le ZSC e la ZPS Parco dello Stelvio (IT2040044).

In particolare, per le ZSC IT2040002 "Motto di Livigno – Val Saliente", IT2040008 "Cime di Plator e Monte delle Scale", IT2040010 "Valle del Braulio – Cresta di Reit", IT2040013 "Val Zebrù – Gran Zebrù – Monte Confinale", IT2040014 "Valle e Ghiacciaio dei Forni – Val Cedec – Gran Zebrù - Cevedale", oltre che per la ZPS IT2040044 "Parco Nazionale dello Stelvio", è stato previsto l'intervento attivo di Contenimento della vegetazione arboreo/arbustiva di invasione a fronte delle minacce "K02 Evoluzione delle biocenosi, successione (inclusa l'avanzata del cespuglieto)" e "K02.01 Modifica della composizione delle specie (successione)" con target relativo agli habitat Natura 2000 6150 (Formazioni erbose boreo-alpine silicicole), 6170 (Formazioni erbose calcicole alpine e subalpine), 6230 (Formazioni erbose a *Nardus*, ricche di specie, su substrato siliceo delle zone montane (e delle zone submontane dell'Europa continentale)).

Il Progetto **Back from the Future**, prevedendo la rimozione selettiva degli arbusti per contrastare gli impatti e

promuovere la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici con particolare riferimento alla mitigazione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, rispetta nel contempo anche queste specifiche indicazioni di interventi attivi previsti nelle diverse ZSC e nella ZPS del settore Lombardo del Parco Nazionale dello Stelvio. Lo stesso provvedimento prevede inoltre l'incentivo a misure di intervento di espansione del pascolo (finalizzato al miglioramento del pascolo e di altri ambienti aperti), nonché della prosecuzione e/o ripresa dello sfalcio, che possono coadiuvare la manutenzione nel tempo degli interventi di rimozione manuale della vegetazione arbustiva.

### **Interventi previsti e modalità di realizzazione**

Il Progetto prevede di realizzare nell'arco di un periodo di 36 mesi (pari a 3 annualità) gli interventi di rimozione e contenimento della vegetazione arbustiva ad Ericacee e soprattutto di arbusti appartenenti al genere *Salix* che hanno invaso gli habitat di prateria alpina e subalpina.

A tal fine le aree target proposte per tali interventi riguardano le seguenti ZSC e ZPS:

ZSC IT2040010 "Valle del Braulio – Cresta di Reit",

ZSC IT2040014 "Valle e Ghiacciaio dei Forni – Val Cedec – Gran Zebrù - Cevedale",

ZPS IT2040044 "Parco Nazionale dello Stelvio".

Gli interventi di rimozione degli arbusti saranno realizzati attraverso il taglio manuale degli stessi con ausilio di decespugliatore, ma senza l'impiego di mezzi meccanici quali semoventi o ragno), evitando così di intaccare l'integrità del suolo, con il taglio e/o la trinciatura (in funzione delle dimensioni dei singoli individui) degli individui arbustivi delle seguenti specie identificate come responsabili dello *shrub encroachment* dalla letteratura scientifica: *Rhododendron ferrugineum*, *R. hirsutum*, *Juniperus nana*, *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*, arbusti da collinari a subalpini del genere *Salix* (*S. purpurea*, *S. appendiculata*, *S. hastata*, *S. foetida*, *S. helvetica*). Una volta eseguito il taglio manuale il materiale sarà asportato manualmente da ciascun sito e smaltito altrove. In particolare per il taglio manuale sarà utilizzato il decespugliatore a lama o a disco rotante e localmente la motosega (per gli arbusti con sezione più grande); il taglio sarà effettuato a livello del colletto, in modo da non danneggiare la cortice erbosa e limitare il ricaccio di polloni (in particolare per *Salix*). Per gli interventi saranno necessari un operatore con lama ed un operatore con filo (per tagliare i giovani ricacci che potrebbero non essere tagliati dalla lama, perché flessibili). Gli arbusti di Rododendro e Ginepro richiederanno due passaggi consecutivi per assicurare che il taglio sia fatto a livello del colletto in modo da inibire la capacità di ricaccio.

In ciascun sito target le operazioni di taglio saranno effettuate a partire dalle quote inferiori verso le quote superiori per le seguenti motivazioni: le fonti principali della banca semi che sostengono la propagazione degli arbusti invasivi sono più abbondanti nell'orizzonte subalpino e al limite tra orizzonte subalpino e alpino e la loro riduzione in questo contesto avrà come primo effetto la riduzione del flusso di semi e propaguli verso le quote superiori; la realizzazione dei tagli a valle verso monte facilita l'asportazione del materiale dal sito.

Le operazioni di taglio e rimozione saranno ripetute per ogni annualità (quindi per tre stagioni vegetative consecutive) nei siti target selezionati durante la stagione estiva, possibilmente entro il periodo di fioritura e prima della produzione dei semi da parte delle specie interessate. La trinciatura sarà effettuata nelle aree di prateria alpina e subalpina invase dagli arbusti, salvaguardando l'integrità degli arbusteti ad Ericacee nelle aree in cui il loro sviluppo è coerente con le condizioni bioclimatiche e non è dovuto all'impatto del cambiamento climatico recente. Inoltre, tali interventi saranno condotti nel rispetto delle esigenze dell'avifauna nidificante evitando di arrecare disturbo alla stessa. È noto che la ripetizione del taglio in anni successivi riduce in modo sostanziale la vitalità degli arbusti rallentando anche di decenni la loro ricrescita (come ad esempio osservato nell'ambito del progetto LIFE+ T.E.N. Trentino Ecological Network, LIFE11/NAT/IT/000187 "T.E.N.").

In alcune situazioni (ad esempio, siti con maggiore pendenza) e per garantire il mantenimento della rimozione dello strato arbustivo sul medio-lungo termine si potrà effettuare in via sperimentale un breve pascolamento estensivo di tipo caprino a completamento e mantenimento degli interventi di taglio e rimozione degli arbusti, in particolare per i giovani individui arbustivi che possano essere palatabili per il pascolo caprino, in quanto il pascolamento caprino (o misto bovino-caprino) condotto con modalità turnate e con carichi e durata adeguati è ritenuto uno dei metodi più efficaci per il contenimento dello sviluppo della vegetazione indesiderata. In fase successiva, si prevede pertanto la possibilità, se ritenuta necessaria, di operare per il mantenimento delle aree di prateria mediante la definizione di specifici piani di pascolo opportunamente predisposti per superfici, tempi e carico in funzione degli obiettivi. Nelle aree ricomprese nella zona A del Parco, tali interventi di pascolamento estensivo saranno ridotti al minimo ed esclusivamente effettuati in

qualità di interventi volti a ridurre i fattori di degrado ambientale e paesaggistico ai sensi dell'art. 3 comma 4 del Piano del Parco, esplicitamente autorizzati in deroga dall'Ente Parco.

### **Fattibilità del Progetto**

Per garantire la fattibilità, la direzione ed il controllo degli interventi, la pianificazione e la gestione delle eventuali attività di pascolo e il lavoro di contatto e raccordo con le amministrazioni proprietarie dei pascoli, con gli enti responsabili della pianificazione e controllo delle attività zootecniche e con gli allevatori coinvolti, sarà affidato un incarico di consulenza agronomica per la progettazione esecutiva e la pianificazione e direzione lavori degli interventi, i quali saranno affidati al Consorzio Forestale Alta Valtellina. Il Direttore Lavori curerà anche gli aspetti di relazione con gli Enti pubblici interessati (Comuni di Bormio, Santa Caterina Valfurva, Comunità Montana Alta Valtellina) e con i pastori.

Il Direttore Lavori agirà in stretta collaborazione con il Direttore del Parco che sarà il responsabile del coordinamento e con il Coordinatore scientifico per il monitoraggio del Progetto.

### **Quantificazione dei costi di intervento**

Gli interventi di decespugliamento e rimozione degli arbusti saranno effettuati a misura su una superficie totale complessiva di 37 ettari includendo le tre aree target selezionate (Braulio, Cedec, Sforzellina) ed applicando il prezziario di Assoverde con una maggiorazione a compensazione delle condizioni di alta quota e adeguando le stime dei costi a quelli sostenuti dal personale della Provincia Autonoma di Trento per le azioni di decespugliamento manuale con finalità di conservazione degli habitat aperti. In particolare, rispetto alla tipologia di intervento "codice 2505017 - decespugliamento/ripulitura manuale con tagli eseguiti con mezzi manuali o al massimo decespugliatore meccanico a spalla, compreso allontanamento e/o bruciatura materiale di risulta su terreno mediamente infestato", è stata presa in considerazione la tipologia di intervento codice 2505018 (decespugliamento/ripulitura manuale con tagli eseguiti con mezzi manuali o al massimo decespugliatore meccanico a spalla, compreso allontanamento e/o bruciatura materiale di risulta su terreno fortemente infestato - costo medio stimato di 1.800 Euro/ha), che corrisponde alla condizione più disagiata. Il costo medio utilizzato per la quantificazione del lavoro a misura è stato valutato in 2.200 Euro/ha, tenuto anche conto del lavoro in alta montagna e delle necessità di trasporto del materiale eliminato. In base a tali stime il costo totale di 245.000 Euro comprende la ripetizione dell'intervento per 3 anni consecutivi sulle superfici interessate di ciascuna area target.

La direzione lavori sarà affidata tramite apposito incarico per un costo lordo di 30.000 ha complessivi per i 3 anni del progetto

Saranno inoltre previsti costi relativi al monitoraggio scientifico del progetto con particolare riferimento alla quantificazione dei benefici ambientali ottenuti (soprattutto per quanto riguarda i flussi di CO<sub>2</sub>) e per la divulgazione del progetto verso gli stakeholders interessati.

### **Bibliografia**

- Auer I, Böhm R, Jurkovic A et al. 2007. HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27:17– 46.
- Beringer J, Chapin F, Thompson C, McGuire A. 2005. Surface exchanges along a tundra-forest transition and feedbacks to climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 131: 143–161.
- Böhm R, Auer I, Brunetti M et al. 2001. Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series. *International Journal of Climatology* 21:1779–801.
- Cahoon SM, Sullivan PF, Shaver GR, Welker JM, Post E. 2012. Interactions among shrub cover and the soil microclimate may determine future Arctic carbon budgets. *Ecol Lett* 15:1415–22.
- Cannone N., 2010a. Conseguenze e feedback degli impatti del cambiamento climatico sulla vegetazione alpina sui flussi di CO<sub>2</sub>. 105 Congresso Società Botanica Italiana, Milano, 25-28 Agosto 2010, abstract.
- Cannone N., 2010b. Importanza degli habitat di prateria alpina per il mantenimento della biodiversità e la mitigazione degli impatti del cambiamento climatico e di uso del suolo. Società Italiana di Scienza della Vegetazione – 46° Congresso – Pavia 17-19 Febbraio 2010, Presentazione orale.
- Cannone N., 2013. L'implementazione di infrastrutture verdi nelle aree montane e il loro contributo per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Convegno "Infrastrutture verdi e capitale naturale nel quadro dell'adattamento e dell'attenuazione alla crisi climatica" Milano 3 Ottobre 2013, Presentazione orale.
- Cannone N, Pignatti S. 2014. Ecological responses of plant species and communities to climate warming: upward shift or range filling processes? *Climatic Change* 123(2):201–14.
- N. Cannone, Sgorbati S., Guglielmin M. 2007. Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Front Ecol Environ* 5(7), 360–365.

- N. Cannone, Diolaiuti G., Guglielmin M., Smiraglia C. 2008. Accelerating climate change impacts on alpine glacier forefield ecosystems in the European Alps. *Ecol Appl* 18, 637–648.
- Cannone N., Casiraghi C., Piccinelli S., Vidotto S., Onofri S., Malfasi F., (in prep). Actual and future climate change impacts on CO<sub>2</sub> fluxes across different alpine and subalpine vegetation communities. In preparation.
- Cannone N., Malfasi M., Guglielmin M. (submitted). The last frontier. Submitted to *Nature Climate Change*
- Chapin FS, Sturm M, Serreze MC, et al. 2005. Role of land-surface changes in Arctic summer warming. *Science* 310: 657–60.
- Collins CG, Spasojevic MJ, Alados CL, Aronson EL, Benavides JC, Cannone N, et al. 2020 in press. Belowground Impacts of Alpine Woody Encroachment are determined by Plant Traits, Local Climate and Soil Conditions. *Global Change Biology*, DOI: 10.1111/gcb.15340, in press.
- Dlugokencky, E., Tans, P., 2019. Trends in global CO<sub>2</sub>, National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research laboratory (NOAA/ESRL). Retrieved from <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>
- Elmendorf SC, Henry GHR, Hollister RD et al. 2012a. Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time. *Ecology Letters* 15:164–75.
- Elmendorf SC, Henry GHR, Hollister RD et al. 2012b. Plot-scale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming. *Nature Climate Change* 2:453–7.
- Gottfried M, Pauli H, Futschik A et al. 2012. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change* 2:111–5.
- Hallinger M., Manthey M, Wilmking M. 2010. Establishing a missing link: warm summers and winter snow cover promote shrub expansion into alpine tundra in Scandinavia. *New Phytologist*, 186: 890–899. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03223.x
- Huang, JG., Bergeron, Y., Denneler, B., et al., 2007. Response of forest trees to increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 26, 265–283. <https://doi.org/10.1080/07352680701626978>
- IPCC Working Group II. 2014. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Joos, F., Spahni, R., 2008. Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(5), 1425–1430. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707386105>
- Körner, C., 2006. Plant CO<sub>2</sub> responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytol.* 172, 393–411. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01886>
- Lenoir J, Ge'gout JC, Marquet PA et al. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320:1768–71.
- Lüers, J., Westermann, S., Piel, K., Boike, J., 2014. Annual CO<sub>2</sub> budget and seasonal CO<sub>2</sub> exchange signals at a high Arctic permafrost site on Spitsbergen, Svalbard Archipelago. *Biogeosciences* 11, 6307–6322.
- Mack MC, Schuur EAG, Bret-Harte MS, Shaver GR, Chapin FS. 2004. Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization. *Nature* 431: 440–443.
- Malfasi F., Cannone N. (2020) Climate Warming Persistence Triggered Tree Ingression After Shrub Encroachment in a High Alpine Tundra. *Ecosystems*, <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00495-7>
- Myers-Smith IH, Hik DS. 2018. Climate warming as a driver of tundra shrubline advance. *Journal of Ecology* 106:547–60.
- Parker TC, Subke JA, Wookey PA. 2015. Rapid carbon turnover beneath shrub and tree vegetation is associated with low soil carbon stocks at a subarctic treeline. *Global Change Biol* 21:2070–81.
- Piccinelli S., Brusa G., Cannone N. 2020. Climate warming accelerates forest encroachment triggered by land use change: A case study in the Italian Prealps (Triangolo Lariano, Italy). *Catena*, 195: 104870. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104870>
- Sørensen MV, Strimbeck R, Odden Nystuen K, et al. 2018. Draining the Pool? Carbon Storage and Fluxes in Three Alpine Plant Communities. *Ecosystems*, 21: 316–330
- Steinbauer MJ, et al., 2018. Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature* 556, 231-234.
- Sturm M, McFadden JP, Liston GE, Chapin FS, Racine CH, Holmgren J. 2001. Snow–shrub interactions in Arctic tundra: A hypothesis with climatic implications. *J Clim* 14:336–44.
- Sturm M, Douglas T, Racine C et al. 2005. Changing snow and shrub conditions affect albedo with global implications. *Journal of Geophysical Research* . <https://doi.org/10.1029/2005JG000013>.
- Walther G, Post E, Convey P, et al. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389–95.

Altri enti pubblici coinvolti nella realizzazione dell'intervento				
	Ente Pubblico	Eventuale Atto convenzionale/ Accordo sottoscritto (ai sensi del d. lgs. 267/2000)		Eventuale cofinanziamento (€)
		del/il	gg/mm/aaaa	
1	Comune di Bormio	del/il	gg/mm/aaaa	
2	Comune di Valfurva	del/il	gg/mm/aaaa	
3	Comunità Montana Alta Valtellina	del/il	gg/mm/aaaa	
	Ersaf – Direzione Parco Nazionale dello Stelvio			30.500,00
<b>TOTALE</b>				<b>30.500,00</b>

Livello di progettazione dell'intervento (ai sensi del d. lgs. 18 aprile 2016, n. 50 e s.m. e i.):		
<input checked="" type="checkbox"/> Scheda progettuale		
<input checked="" type="checkbox"/> Fattibilità tecnica ed economica	<input type="checkbox"/> Progettazione Definitiva	<input type="checkbox"/> Progettazione Esecutiva

Autorizzazioni necessarie per la realizzazione dell'intervento	
• Autorizzazione al pascolo in Zona A per mantenimento interventi	•
• Valutazione di incidenza degli interventi nelle ZSC e nella ZPS interessate	•

Localizzazione dell'intervento	
Comuni e località interessati	Siti Natura 2000 eventualmente interessati, anche indirettamente (DPR 357/1997 e s.m.)
• Bormio	• ZSC IT2040010 "Valle del Braulio – Cresta di Reit"
• Valfurva	• ZSC IT2040014 "Valle e Ghiacciaio dei Forni – Val Cedec – Gran Zebrù – Cevedale"
• Bormio, Valfurva	• ZPS IT2040044 "Parco Nazionale dello Stelvio"

Correlazione con altre tipologie di intervento:			
<input type="checkbox"/> II	<input type="checkbox"/> III	<input type="checkbox"/> IV	<input type="checkbox"/> V

Azioni di monitoraggio dei benefici ambientali previste per l'intervento
Descrivere la metodologia e le modalità di monitoraggio che si intendono adottare al fine di garantire un controllo efficace sul conseguimento degli obiettivi dell'intervento, prevedendo anche un supporto cartografico GIS.
<p><b>Monitoraggio e quantificazione dei benefici ambientali derivanti dall'intervento</b></p> <p>Le attività di monitoraggio scientifico saranno di tipo multidisciplinare e permetteranno di quantificare il successo ed i benefici degli interventi effettuati sulle biocenosi vegetali, il suolo, la componente microclimatica, ed i flussi di CO<sub>2</sub> nelle tre aree target individuate (Braulio, Cedec, Sforzellina) dove, nel master site Braulio, le attività di monitoraggio e finalizzate alla quantificazione del sequestro di CO<sub>2</sub> saranno realizzate a diverse scale spaziali, in particolare: a) a livello di plot, b) a livello areale.</p> <p><b>a) Monitoraggio scientifico a livello di plot</b></p> <p>Per ciascuna area target (Braulio, Cedec, Sforzellina) saranno individuati 3 plot di controllo indisturbati e 3 plot soggetti a trattamento nei quali saranno effettuate le attività di monitoraggio. Nel master site Braulio saranno realizzate tutte le attività di monitoraggio di dettaglio che riguarderanno: i) la componente vegetale; ii) il suolo, iii) i parametri microclimatici; iv) i flussi di CO<sub>2</sub>.</p> <p>E' infatti necessario quantificare sia per il comparto biotico che per quello abiotico le conseguenze degli interventi effettuati in termini di variazione di bilancio energetico della superficie e di feedback positivi o negativi rispetto alle forzanti del cambiamento climatico in particolare all'emissione di CO<sub>2</sub>.</p>

Le analisi della componente vegetale includeranno il rilievo della composizione floristica e copertura della vegetazione (rilievo fitosociologico e fisionomico), l'analisi della eventuale persistenza, demografia ed eventuale rinnovazione spontanea delle specie rimosse. Tali analisi saranno effettuate in tutti i plot di tutte le aree interessate (Braulio, Cedec, Sforzellina).

Per quanto riguarda il suolo ed i parametri microclimatici, la quantificazione degli impatti sarà effettuata nell'area zonale del sito Braulio con l'installazione di 6 termoigrometri (uno per ciascun plot) per misurare durante tutto l'anno la temperatura del suolo (alla profondità di 2 cm, GST – ground surface temperature) e l'umidità del suolo. La misura della GST è necessaria per quantificare sia a livello annuale che stagionale l'effetto sul bilancio energetico della superficie della rimozione degli arbusti, in particolare per quanto riguarda l'influenza sul regime termico invernale del suolo che, con presenza di copertura arbustiva, è caratterizzato da temperature più elevate legate all'intrappolamento della neve da parte degli arbusti, e che permette l'attivazione dei processi di respirazione ecosistemica e degradazione della sostanza organica con maggiore emissione di CO<sub>2</sub> anche durante il periodo invernale nelle aree dove sia presente vegetazione arbustiva. L'installazione dei termoigrometri permetterà di misurare in contemporanea alla GST and l'effetto degli interventi sul regime di umidità del suolo con la misurazione in continuo di tale parametro. Infatti, la temperatura e l'umidità del suolo sono fattori di grande importanza nella regolamentazione in particolare del processo di respirazione del suolo (Cannone et al., 2016, 2019).

Inoltre, nell'area target sarà quantificata la variazione di copertura nivale (spessore e persistenza) attraverso la realizzazione di uno snow grid costituito da una griglia di misura della neve (individuata in situ da paline nivometriche) e dall'impiego di due snow cam per la registrazione fotografica giornaliera della presenza e accumulo della neve.

Nel master site di Braulio saranno analizzati e quantificati a livello di plot (quindi comprendendo il sistema pianta-suolo) i flussi di CO<sub>2</sub> con particolare riferimento alla misura di NEE (Net Ecosystem Exchange), ER (Ecosystem Respiration), GEP (Gross Ecosystem Productivity) del sistema pianta-suolo in funzione anche della variabilità del PAR (Photosynthetically Active Radiation) e delle variazioni della temperatura del suolo, confrontando plot di controllo e plot trattati (e.g. Cannone et al., 2012, 2016, 2019); questi dati saranno integrati con la quantificazione della biomassa epigea, del LAI (leaf area index) dei plot selezionati. Le misure dei flussi di CO<sub>2</sub> saranno ripetute durante la stagione vegetativa.

Il monitoraggio effettuato a livello di plot permetterà quindi di quantificare per ogni singola stagione durante le tre annualità, confrontando le aree di controllo con quelle trattate, l'effetto degli interventi in termini di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, fornendo dati quantitativi che permetteranno di modellare l'impatto sulle intere aree oggetto degli interventi in termini di sequestro di CO<sub>2</sub> per ettari di superfici recuperate. Per il perfezionamento di questi dati e l'*upscaling* dal livello di plot a quello areale sarà opportuno e necessario integrare le analisi a livello di plot con quelle a livello areale.

#### **b) Monitoraggio scientifico a livello areale**

Le attività di monitoraggio a livello areale saranno effettuate con l'impiego di droni per quantificare a livello areale l'effetto benefico interventi realizzati. In particolare nel master site Braulio il drone verrà utilizzato con due voli il primo anno (prima e dopo gli interventi) e un volo per ciascuno dei due successivi anni, per un totale di quattro voli. Nelle altre due aree (Cedec, Sforzellina) sarà realizzato un volo il primo anno ed uno al termine del terzo anno per quantificare l'effetto complessivo degli interventi.

Durante ciascun volo (con una risoluzione di 2,5 cm) saranno forniti i seguenti dati:

- NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (che permetterà di quantificare la biomassa vegetale e quindi di modellare la produzione primaria e le sue variazioni a seguito de ground truthing ottenuto con i monitoraggi a livello di plot);
- albedo delle superfici;
- stress idrico della copertura vegetale;
- situazione termica della vegetazione;
- variazioni di estensione e copertura della vegetazione arbustiva prima e dopo la conclusione degli interventi.

L'impiego del drone permetterà quindi di valutare a scala areale il feedback degli interventi su alcune componenti fondamentali del bilancio energetico della superficie, tra cui la già citata variazione di albedo confrontando la vegetazione prima e dopo la rimozione della vegetazione arbustiva (Sturm et al., 2001, 2005; Beringer et al., 2005;

Chapin et al., 2005), gli effetti sul regime termico del suolo e sul bilancio idrico che risultano di fondamentale importanza nel guidare i processi di respirazione ecosistemica e decomposizione della sostanza organica (Mack et al., 2004; Chapin et al., 2005; Sturm et al., 2005; Hallinger et al., 2010; Lüers et al. 2014).  
Tutti i dati rilevati avranno una restituzione cartografica tramite GIS.

### **Quantificazione dei costi di monitoraggio**

Strumentazione per il monitoraggio della temperatura e umidità del suolo, analisi copertura nivale con snow grid nel master site di Braulio, = 10.000 Euro.

Rilievi botanici ed ecosistemici includendo per ciascuna area target (Braulio, Cedec, Sforzellina) il rilievo vegetazionale (con 2 rilievi il 1° anno (pre e post intervento), 1 rilievo per anno durante il 2° e 3° anno); le analisi dei flussi di CO<sub>2</sub> e dei dati relativi a suolo e microclima solo per il master site Braulio = Euro 50.000 Euro.

Realizzazione voli drone per ciascuna area target - due voli il primo anno (pre e post intervento) ed un volo per ciascuno degli altri due anni su una superficie di 10 ha con risoluzione di 2,5 cm per il master site di Braulio; un volo il primo anno (post intervento) ed un volo il terzo anno su una superficie di 10 ha per Cedec e Sforzellina = 30.000 Euro

Le attività di monitoraggio e di comunicazione e promozione delle attività verranno svolte attraverso convenzione con un ente universitario. Trattandosi di attività istituzionali relative ad obiettivi comuni il costo di tali attività risulta fuori campo IVA ai sensi dell'art.4 del DPR 633/72.

### **Bibliografia**

- Beringer J, Chapin F, Thompson C, McGuire A. 2005. Surface energy exchanges along a tundra-forest transition and feedbacks to climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 131: 143–161.
- Cannone N, Binelli G, Worland MR, Convey P, Guglielmin M (2012) CO<sub>2</sub> fluxes among different vegetation types during the growing season in Marguerite Bay (Antarctic Peninsula). *Geoderma*, vol. 189-190, p. 595-605.
- Cannone N, Augusti A, Malfasi F, Pallozzi E, Calfapietra C, Brugnoli E 2016. The interaction of biotic and abiotic factors at multiple spatial scales affects the variability of CO<sub>2</sub> fluxes in polar environments. *Polar Biology*, 39(9): 1581-1596.
- Cannone N, Ponti S, Christiansen HH, Christensen TR, Pirk N, Guglielmin M 2019. Effects of active layer seasonal dynamics and plant phenology on CO<sub>2</sub> land-atmosphere fluxes at polygonal tundra in the High Arctic, Svalbard. *Catena*, 174: 142 – 153.
- Chapin FS, Sturm M, Serreze MC, et al. 2005. Role of land-surface changes in Arctic summer warming. *Science* 310: 657–60.
- Hallinger M., Manthey M, Wilmking M. 2010. Establishing a missing link: warm summers and winter snow cover promote shrub expansion into alpine tundra in Scandinavia. *New Phytologist*, 186: 890–899. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03223.x
- Lüers, J., Westermann, S., Piel, K., Boike, J., 2014. Annual CO<sub>2</sub> budget and seasonal CO<sub>2</sub> exchange signals at a high Arctic permafrost site on Spitsbergen, Svalbard Archipelago. *Biogeosciences* 11, 6307–6322.
- Mack MC, Schuur EAG, Bret-Harte MS, Shaver GR, Chapin FS. 2004. Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization. *Nature* 431: 440–443.
- Sturm M, McFadden JP, Liston GE, Chapin FS, Racine CH, Holmgren J. 2001. Snow–shrub interactions in Arctic tundra: A hypothesis with climatic implications. *J Clim* 14:336–44.
- Sturm M, Douglas T, Racine C et al. 2005. Changing snow and shrub conditions affect albedo with global implications. *Journal of Geophysical Research* . <https://doi.org/10.1029/2005JG000013>.

SINTESI VOCI DI COSTO DELL'INTERVENTO			IMPORTO (€)
<b>SOMME A BASE D'ASTA</b>			
A.01) Lavori a misura, a corpo, in economia			
A.01.01	a misura	222.727,27	
A.01.02	a corpo		
A.01.03	in economia		
		<b>Sommano A.01</b>	<b>222.727,27</b>
A.02) Oneri della sicurezza, non soggetti a ribasso d'asta			
		<b>TOTALE LAVORI</b>	<b>222.727,27</b>

SOMME A DISPOSIZIONE DELLA STAZIONE APPALTANTE			
B.01) Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto			
B.02) Rilievi, accertamenti e indagini			
B.03) Allacciamenti ai pubblici servizi			
B.04) Imprevisti			
B.05) Acquisizione aree o immobili e pertinenti indennizzi e oneri a discarica ove di pertinenza			
B.06) Accantonamenti			
B.07) Spese art. 24 del d.lgs 50/2016, spese tecniche progettazione, attività preliminari, coordinamento sicurezza, conferenze di servizi, D.L., assistenza giornaliera e contabilità, incentivi art. 113 del d.lgs 50/2016			25.000,00
B.08) Spese per attività tecnico amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento e di verifica e validazione			
B.09) Eventuali spese per commissioni giudicatrici			
B.10) Spese per pubblicità di gara e per promozione risultati			
B.11) Spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche			
B.12) Forniture e servizi			
B.12.01			
B.12.02			
B.12.03			
B.12.04			
B.12.05			
B.12.06			
B.12.07			
B.12.08			
B.12.09			
		<b>Sommano B.12</b>	
B.13) Azioni di comunicazione e promozione delle attività			15.000,00
B.14) Azioni di monitoraggio dei benefici ambientali			90.000,00
<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE AL NETTO DI IVA</b>			<b>130.000,00</b>
B.15) I.V.A e contributi dovuti per legge			
B.15.01	IVA lavori (10%)	22,272,73	
B.15.02	IVA somme a disposizione (22%)	5.500,00	
		<b>Sommano IVA B.15</b>	<b>27.772,73</b>
<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE COMPRESA IVA</b>			<b>157.772,73</b>
<b>TOTALE INTERVENTO</b>			<b>380.500,00</b>