

COLACEM SpA

ZSC (ex SIC) "Monte Sangiano" (IT2010018)

**monitoraggio della qualità dell'aria:
(5^a campagna post operam)**

Varese, novembre 2020

A cura di:

dott. Biologo **Guido Brusa**
via Corridoni 97
21100 Varese
tel. 0332 310807 / 329 2166897
guido.brusa@libero.it



INDICE

1.	Premessa.....	1
2.	Biomonitoraggio della qualità dell'aria	2
2.1.	Introduzione.....	2
2.1.1.	Tecniche di biomonitoraggio: bioindicazione e bioaccumulo	2
2.1.2.	La biodiversità lichenica	4
2.1.3.	Licheni come bioindicatori	4
2.1.4.	NO _x e piante.....	5
2.2.	Metodologia di monitoraggio della qualità dell'aria	6
2.2.1.	Bioindicazione.....	6
2.2.2.	Bioaccumulo.....	9
2.2.3.	Stazioni di controllo.....	11
2.2.4.	Considerazioni relative alle campagne nel post operam.....	14
2.2.5.	Analisi dei dati	16
2.3.	Risultati del monitoraggio della qualità dell'aria.....	19
2.3.1.	Analisi floristica.....	19
2.3.2.	Biodiversità lichenica	25
2.3.2.1.	Valori di biodiversità lichenica.....	25
2.3.2.1.1.	Analisi descrittiva.....	25
2.3.2.1.2.	Analisi distributiva.....	28
2.3.2.1.3.	Analisi statistica.....	30
2.3.2.2.	Composizione delle comunità licheniche.....	31
2.3.2.3.	Indice di nitrofilia	37
2.3.3.	Analisi chimiche	41
2.3.3.1.	Analisi delle cortecce	41
2.3.3.2.	Analisi dei talli lichenici	50
2.3.4.	Relazione tra bioindicazione e bioaccumulo.....	53
2.4.	Commenti e valutazioni sul monitoraggio della qualità dell'aria	54
2.4.1.	Sintesi delle analisi svolte	54
2.4.2.	Considerazioni sui risultati.....	55
2.5.	Conclusioni.....	57
3.	Bibliografia citata e di riferimento	58
4.	Appendici.....	61
4.1.	Schede per l'identificazione delle stazioni del biomonitoraggio.....	61
4.2.	Dati completi relativi alla bioindicazione	77
4.2.1.	Campagna ante operam: anno 2010.....	77
4.2.2.	1 ^a campagna post operam: anno 2012.....	79
4.2.3.	2 ^a campagna post operam: anno 2014.....	81
4.2.4.	3 ^a campagna post operam: anno 2016.....	83
4.2.5.	4 ^a campagna post operam: anno 2018.....	85
4.2.6.	5 ^a campagna post operam: anno 2020.....	87
4.3.	Dati completi relativi al bioaccumulo.....	90
4.3.1.	Campagna ante operam: anno 2010.....	90
4.3.2.	1 ^a campagna post operam: anno 2012.....	92
4.3.3.	2 ^a campagna post operam: anno 2014.....	94
4.3.4.	3 ^a campagna post operam: anno 2016.....	96
4.3.5.	4 ^a campagna post operam: anno 2018.....	98
4.3.6.	5 ^a campagna post operam: anno 2020.....	100

1. Premessa

Il presente documento riporta i monitoraggi eseguiti nell'ambito territoriale del Sito di Importanza Comunitaria (SIC) "Monte Sangiano" (IT2010018), designato attualmente come ZSC (Zona Speciale di Conservazione) con Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 30 aprile 2014.

Nel 2010 il monitoraggio della qualità dell'aria mediante l'impiego di indicatori biologici è stato finalizzato all'individuazione dello stato di fatto antecedente all'impiego di Combustibile Derivato dai Rifiuti (CDR), come fonte di energia nell'impianto di produzione di proprietà Colacem SpA localizzato nel Comune di Caravate (Provincia di Varese).

A partire dal 2012 e con una cadenza biennale sono state eseguite le campagne di monitoraggio post operam per la valutazione dello stato di qualità dell'aria mediante l'impiego di indicatori biologici.

Lo schema di seguito riportato riassume la sequenza cronologica degli eventi per il monitoraggio della qualità dell'aria mediante l'impiego di indicatori biologici:

- 2010: campagna ante operam di monitoraggio;
- 2011: messa in esercizio dell'attività di coincenerimento di CDR;
- 2012: 1^a campagna post operam (a 1 anno della messa in esercizio);
- 2014: 2^a campagna post operam (a 3 anni della messa in esercizio);
- 2016: 3^a campagna post operam (a 5 anni della messa in esercizio);
- 2018: 4^a campagna post operam (a 7 anni della messa in esercizio);
- 2020: 5^a campagna post operam (a 9 anni della messa in esercizio).

Al fine di fornire una documentazione completa di tutte le campagne di monitoraggio svolte e quindi riportare un quadro coordinato dei dati raccolti e nell'insieme esaustivo delle analisi comparative eseguite, la presente relazione riprende integralmente i report tecnici delle precedenti campagne di monitoraggio e le integra con i risultati della 5^a campagna di monitoraggio post operam della qualità dell'aria mediante l'impiego di indicatori biologici.

2. Biomonitoraggio della qualità dell'aria

2.1. Introduzione

Il monitoraggio dell'inquinamento dell'aria è una delle problematiche più complesse nel campo della salvaguardia ambientale. L'inquinamento, espresso in termini di concentrazioni misurate strumentalmente, è di semplice definizione operativa, ma il suo monitoraggio è di fatto complesso, per i seguenti motivi:

- le concentrazioni di inquinanti in atmosfera sono molto variabili nello spazio e nel tempo, il che implica studi condotti su base statistica, per lunghi periodi, e con dense reti di punti di misura;
- gli alti costi degli strumenti ne limitano fortemente il numero, per questo i dati strumentali hanno spesso una scarsa qualità statistica, nonostante la precisione delle singole misure;
- la strumentazione normalmente utilizzata rileva un numero esiguo di sostanze inquinanti;
- un monitoraggio puramente strumentale non permette di rilevare gli effetti dell'inquinamento sugli ecosistemi, in particolare quelli sinergici di più inquinanti.

Il biomonitoraggio, invece, permette di stimare gli effetti biologici dell'inquinamento. Le tecniche di biomonitoraggio producono dati biologici: misure di biodiversità, di variazioni nell'assetto morfologico, fisiologico o genetico degli organismi, misure delle concentrazioni di sostanze negli organismi. Essi hanno un interesse intrinseco, indipendente dall'eventuale correlazione con dati strumentali di inquinamento. Il biomonitoraggio non utilizza gli organismi come centraline, né fornisce stime di una non meglio definita "qualità dell'aria" (anche se tali termini sono di largo utilizzo e di indubbia forza comunicativa): esso misura deviazioni da condizioni normali di componenti degli ecosistemi reattivi all'inquinamento, utili per stimare gli effetti combinati di più inquinanti sulla componente biotica.

Il biomonitoraggio non è alternativo rispetto a quello strumentale, ma è un campo di ricerca autonomo, che può fornire informazioni importanti per il monitoraggio dell'inquinamento, individuando possibili zone a rischio e ottimizzando la localizzazione degli strumenti di misura.

2.1.1. Tecniche di biomonitoraggio: bioindicazione e bioaccumulo

Le tecniche di biomonitoraggio permettono di identificare lo stato di alcuni parametri ambientali sulla base degli effetti da essi indotti su organismi reattivi. Questi si manifestano a due livelli, che corrispondono ad altrettante categorie di tecniche:

- accumulo di sostanze: tecniche di bioaccumulo, che misurano le concentrazioni di sostanze in organismi in grado di assorbirle dall'ambiente e accumularle;
- modificazioni morfologiche, fisiologiche o genetiche a livello di organismo, di popolazione o di comunità: tecniche di bioindicazione, che stimano gli effetti di variazioni ambientali su componenti sensibili degli ecosistemi.

Le tecniche di bioindicazione si basano su misure biologiche, quelle di bioaccumulo su analisi chimiche ed entrambe sono comprese nella definizione del termine "biomonitoraggio", inteso come: "analisi di componenti degli ecosistemi reattivi all'inquinamento, per la stima di deviazioni da situazioni normali", secondo quanto proposto da Nimis (1999).

L'inquinamento è in grado di arrecare a tutti gli organismi due tipi principali di danno, identificabili come:

- danni acuti, spesso reversibili, causati normalmente da brevi esposizioni a concentrazioni molto elevate di determinati inquinanti;
- danni cronici, dovuti a esposizioni prolungate a concentrazioni relativamente basse di inquinanti.

In alcuni casi lunghi tempi di esposizione a basse concentrazioni possono influire negativamente sui processi fisiologici e biochimici degli organismi indicatori senza provocare alterazioni visibili esteriormente (Lorenzini, 1999).

Un valido bioindicatore dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

- sensibilità agli agenti inquinanti;
- ampia diffusione nell'area di studio;
- scarsa mobilità;
- lungo ciclo vitale;
- uniformità genetica.

Le caratteristiche fondamentali degli organismi bioaccumulatori possono essere così riassunte:

- elevata tolleranza agli inquinanti in esame;
- notevoli capacità di accumulo;
- ampia diffusione nell'area in esame;
- scarsa mobilità;
- lungo ciclo vitale.

L'attività di ricerca di strumenti di analisi ambientale ha condotto all'individuazione di alcuni indicatori biologici particolarmente efficaci e quindi capaci di integrare le informazioni ottenute dagli indicatori chimico-fisici già contemplati nella normativa nazionale ed europea.

Ogni tecnica che impiega organismi viventi possiede sia limiti sia vantaggi specifici da considerare in relazione agli obiettivi e alle scale territoriali.

Le limitazioni più frequenti possono essere così sintetizzate:

- difficoltà, soprattutto per le metodiche che utilizzano indicatori biologici autoctoni, di applicazione dove sia infrequente il substrato di crescita adatto;
- difficoltà, in molti casi, a stabilire una relazione univoca tra dati biologici e concentrazioni atmosferiche di specifici inquinanti a causa degli effetti sinergici determinati dalla presenza di più sostanze tossiche su alcuni componenti degli ecosistemi;
- drastica diminuzione della sensibilità di alcune tecniche per valori estremi di concentrazione atmosferica di determinati inquinanti;
- incapacità, in molti casi, di rilevare immediatamente fenomeni acuti di alterazione ambientale, in quanto la reazione degli organismi richiede un certo tempo per essere apprezzabile;
- impossibilità di elaborare un'unica scala d'interpretazione dei dati biologici in termini d'inquinamento valida per tutto il territorio nazionale, vista l'estrema variabilità climatica e geomorfologica che lo caratterizza.

I principali vantaggi sono rappresentati da:

- possibilità di ottenere rapidamente, a bassi costi e con una elevata densità di punti di campionamento, una stima degli effetti biologici indotti su organismi sensibili, dall'interazione di più sostanze nocive;
- individuazione rapida di zone con reale o potenziale superamento dei valori soglia stabiliti dalla legge per alcuni importanti inquinanti primari;
- valutazione dell'efficacia di misure adottate per la riduzione delle emissioni di inquinanti su lunghi periodi;
- localizzazione di aree potenzialmente a rischio e conseguente ubicazione ottimale delle stazioni automatiche di rilevamento;
- validazione di modelli di trasporto a lunga distanza e deposizione di inquinanti a diverse scale territoriali.

Data la sostanziale diversità delle informazioni, è evidente che l'uso di indicatori biologici non può essere considerato alternativo al monitoraggio strumentale. Esso fornisce utili informazioni per la valutazione globale dello stato ambientale di un'area ed è un valido strumento per l'individuazione preliminare di possibili zone a rischio e per la

pianificazione e distribuzione territoriale della rete di stazioni di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico.

2.1.2. La biodiversità lichenica

La biodiversità dei licheni epifiti ha dimostrato di essere un eccellente indicatore dell'inquinamento prodotto da sostanze gassose fitotossiche (Hawksworth & Rose, 1970; Ferry et al., 1973; Nash & Wirth, 1988; Richardson, 1992; Cislighi & Nimis, 1997; Purvis, 2000; Van Dobben et al., 2000).

I licheni rispondono con relativa velocità alla diminuzione della qualità dell'aria e possono ricolonizzare in pochi anni ambienti urbani e industriali qualora si verificano dei miglioramenti delle condizioni ambientali, come evidenziato in molte parti d'Europa (Rose & Hawksworth, 1981; Kandler & Poelt, 1984; Seaward & Letrouit-Galinou, 1991; Seaward, 1997).

I licheni sono anche sensibili ad altri tipi di alterazioni ambientali, tra queste l'eutrofizzazione rappresenta uno degli esempi più conosciuti (Van Dobben & De Bakker, 1996; Van Herk, 1999). Essendo molto sensibili ai cambiamenti delle condizioni microclimatiche e alle attività di gestione forestale, i licheni sono stati usati anche per stimare la continuità ecologica delle foreste (Rose, 1976; McCune, 2000) e perfino per stabilire reti di monitoraggio climatico (Insarov et al., 1999).

Negli ultimi decenni sono stati proposti molti metodi che, utilizzando opportune scale di interpretazione, valutano attraverso i licheni la qualità dell'aria. In Svizzera negli anni '80 è stato avviato un progetto, che ha condotto allo sviluppo di un modello oggettivo e riproducibile di bioindicazione sensibile all'effetto combinato di molti inquinanti atmosferici. La verifica, mediante analisi statistica multivariata, di 20 differenti tecniche utilizzate per il calcolo dell'IAP (Index of Air Purity), ha evidenziato come i campionamenti effettuati con una griglia di 10 unità rappresentino i migliori risultati e non richiedano nessuna assunzione riguardante la sensibilità delle specie (Amman et al., 1987; Herzig & Urech, 1991). Tale metodo è stato rapidamente adottato in molti paesi, specialmente Italia e Germania, spesso con l'introduzione di alcune modifiche riguardanti l'ampiezza della griglia.

Gli studi di qualità dell'aria mediante licheni hanno trovato in Italia larga diffusione a partire dagli anni '80, in concomitanza con la ripresa dell'interesse per gli studi lichenologici. Le numerose indagini realizzate sinora riguardano centri urbani, territori comunali e provinciali, zone di interesse naturalistico, e aree con presenza di attività antropiche alteranti.

È importante precisare che i licheni considerati per la valutazione della biodiversità sono essenzialmente quelli epifiti, il che consente di limitare la variabilità di parametri ecologici indipendenti dall'inquinamento, quali tenori in basi o capacità idrica, assai variabili nei substrati litici.

2.1.3. Licheni come bioindicatori

I licheni sono particolarmente sensibili agli stress ambientali, specialmente per quanto riguarda l'inquinamento, l'eutrofizzazione e i cambiamenti climatici (Galun, 1988; Richardson, 1992; Nash, 1996). Le ragioni principali sono:

- l'assorbimento delle sostanze da parte dell'intera superficie del lichene avviene esclusivamente attraverso l'atmosfera;
- diversamente dalle piante superiori i licheni non hanno la cuticola (strato con prevalente funzione protettiva) e pertanto gli inquinanti possono quindi penetrare inalterati all'interno delle cellule fungine e algali;
- i licheni hanno un lento tasso di accrescimento e scarsa capacità di riparare rapidamente ad eventuali danni;
- durante i periodi con più umidità i licheni aumentano la loro attività metabolica;

- i licheni continuano a metabolizzare a basse temperature, per questo possono anche subire danni durante i periodi invernali;
- le influenze esterne (come l'inquinamento atmosferico) possono gravemente danneggiare la fragile associazione simbiotica che li caratterizza.

I primi studi sulla sensibilità dei licheni all'inquinamento atmosferico risalgono all'Ottocento, ma solo da alcuni decenni essi sono stati utilizzati come bioindicatori su larga scala, grazie alla disponibilità di misure dirette dell'inquinamento, indispensabili per quantificare le relazioni tra concentrazione atmosferica di sostanze dannose e risposta biologica.

Nel biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico complessivo, i licheni permettono di realizzare indagini ambientali scientificamente valide e complete. Essi, infatti, possono essere impiegati sia come bioindicatori (correlando determinate intensità di disturbo ambientale a variazioni del loro aspetto esteriore e della loro copertura) sia come bioaccumulatori (sfruttando la loro capacità di assorbire sostanze dall'atmosfera).

In zone densamente antropizzate si assiste spesso ad una modificazione della flora lichenica locale legata:

- alla riduzione del numero totale di specie;
- alla diminuzione del numero di individui appartenenti a ciascuna specie.

Mentre le alterazioni morfologiche e fisiologiche sono difficilmente quantificabili e spesso di difficile interpretazione, le variazioni ecologiche permettono di tradurre le risposte dei licheni in valori numerici, riferibili ai diversi livelli di inquinamento atmosferico.

2.1.4. NO_x e piante

Gli ossidi di azoto (NO_x e in particolare NO₂) rappresentano inquinanti secondari dato che derivano, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono (O₃), l'acido nitrico, l'acido nitroso, ecc. Si stima che gli ossidi di azoto contribuiscano per il 30% alla formazione delle piogge acide (il restante è imputabile al biossido di zolfo e ad altri inquinanti). Gli NO_x sono solo parzialmente solubili in acqua e questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

La comparsa di sintomi sulle piante superiori è rara, essendo in genere necessarie concentrazioni elevate. Le lesioni sono di solito di aspetto idropico o "allessato": dapprima evidenti sulla pagina adassiale delle foglie, sono rapidamente seguite da collasso. Tendenzialmente più numerose nelle porzioni apicali, le aree interessate, in genere limitate dalle nervature principali, assumono contorno irregolare e necrotizzato; a maturazione il colore più frequente è biancastro o bruno. Nelle conifere gli effetti macroscopici sono inizialmente costituiti dalla comparsa di pigmentazioni bruno-rossastre nelle parti distali delle foglie aghiformi; spesso tra tessuti sani e danneggiati si evidenzia un confine netto.

I livelli di NO_x comunemente rinvenibili nell'ambiente sono responsabili eventualmente di manifestazioni di tipo cronico, di difficilissima individuazione perché assolutamente aspecifici. Gli indizi più frequenti sono ritardi di sviluppo, riduzioni di biomassa e modeste clorosi.

La diagnosi dei danni su base sintomatica è dunque quanto mai difficile, in quanto gli effetti macroscopici sono di norma indistinguibili da quelli causati da altri inquinanti. L'accertamento per le esposizioni croniche è praticamente impossibile per un'infinità di fattori che possono provocare clorosi di modeste entità e riduzioni di sviluppo.

I licheni, invece, sono comunemente impiegati come biomonitor dell'inquinamento atmosferico per la loro elevata sensibilità verso numerose sostanze inquinanti aerodisperse e soprattutto per la valutazione di esposizioni croniche.

È provato che, fino a qualche decennio fa, la bassa biodiversità lichenica in aree antropizzate (p. es. città) era causata principalmente dalla presenza di SO₂ la cui drastica diminuzione, dovuta alla rigida regolamentazione delle attività produttive, ha determinato un conseguente aumento della biodiversità. Tuttavia, la ricolonizzazione dei licheni in aree urbane sembra essere limitata dalle persistenti concentrazioni di NO_x.

I meccanismi di azione di questi inquinanti aerodiffusi sono tuttavia ancora poco conosciuti anche se è ipotizzabile che essi interferiscano sia nei processi fisiologici coinvolti nel metabolismo dell'azoto, essendo gli NO_x una fonte sia di eutrofizzazione sia di acidificazione del lumen cellulare.

Per quanto riguarda lo studio degli effetti di NO_x sulla fisiologia dei licheni, cresciuti o trapiantati presso insediamenti industriali mostrano evidenti danni ultrastrutturali, con formazione di corpuscoli elettrondensi e degenerazione delle cellule del micobionte e in particolare del fotobionte; in quest'ultimo caso si determina una perdita di pigmenti (clorofilla).

Numerosi studi (Hyvärinen & Crittenden, 1998; Gombert et al., 2003, 2006; Frati et al., 2008; Pinho et al., 2008) hanno infine dimostrato un rapporto significativo tra la concentrazione di N nei licheni con i livelli di deposizione atmosferica di questo elemento e le comunità licheniche.

2.2. Metodologia di monitoraggio della qualità dell'aria

2.2.1. Bioindicazione

Al fine di definire una proposta di monitoraggio mediante l'impiego dei licheni nella ZSC Monte Sangiano, si è seguito in linea di massima il protocollo riportato nel Manuale ANPA (2001).

Secondo il Manuale ANPA (2001) il sistema di campionamento dell'indagine sulla Biodiversità Lichenica (BL) è basato su una selezione del campione oggettiva, documentata, riproducibile e coerente con gli scopi dell'indagine. La distribuzione spaziale del campione e le sue dimensioni tengono comunque conto delle esigenze connesse al mappaggio e della variabilità dei dati.

Il manuale ANPA (2001) prevede che la popolazione di interesse dell'indagine sia costituita dai valori di BL di celle territoriali di forma e superficie definita. Il sistema di campionamento si basa su un insieme di Unità di Campionamento Primarie (UCP), costituite da un campione del totale delle celle territoriali costituenti la popolazione di interesse, e di Unità di Campionamento Secondarie (UCS), da selezionare all'interno delle UCP. UCP ed UCS sono quindi porzioni di territorio con superficie e forma definite all'interno delle quali, seguendo procedure standard, vanno individuati gli alberi su cui eseguire il rilevamento della Biodiversità Lichenica. UCP ed UCS hanno lo scopo di assicurare l'uniformità di selezione e l'omogeneità della distribuzione del campione. La forma delle UCP è quadrata, mentre le dimensioni variano, a seconda delle scale territoriali, da 1x1 km a 250x250 m (per indagini a scala locale). Gli alberi da campionare in ciascuna UCP vengono selezionati all'interno delle UCS individuate internamente alle UCP.

In relazione alla scala locale del presente monitoraggio, le UCP sono state individuate come maglie di 250x250 m coerentemente alla griglia nazionale (v. Manuale ANPA, 2001). Ciascuna UCP contiene dunque un'unica UCS, corrispondente ad un'area circolare di diametro pari a 250 m. Al fine della presente indagine, sono state considerate tutte le UCP almeno parzialmente incluse nell'ambito della ZSC (Figura 1). Nella ricerca degli alberi sono state evitate le zone delle UCS che nello Studio di Impatto Ambientale della Colacem SpA sono ricomprese nel possibile ampliamento della miniera di Sasso Poiano, al fine di evitare la perdita di questi alberi nel caso si procedesse all'ampliamento.

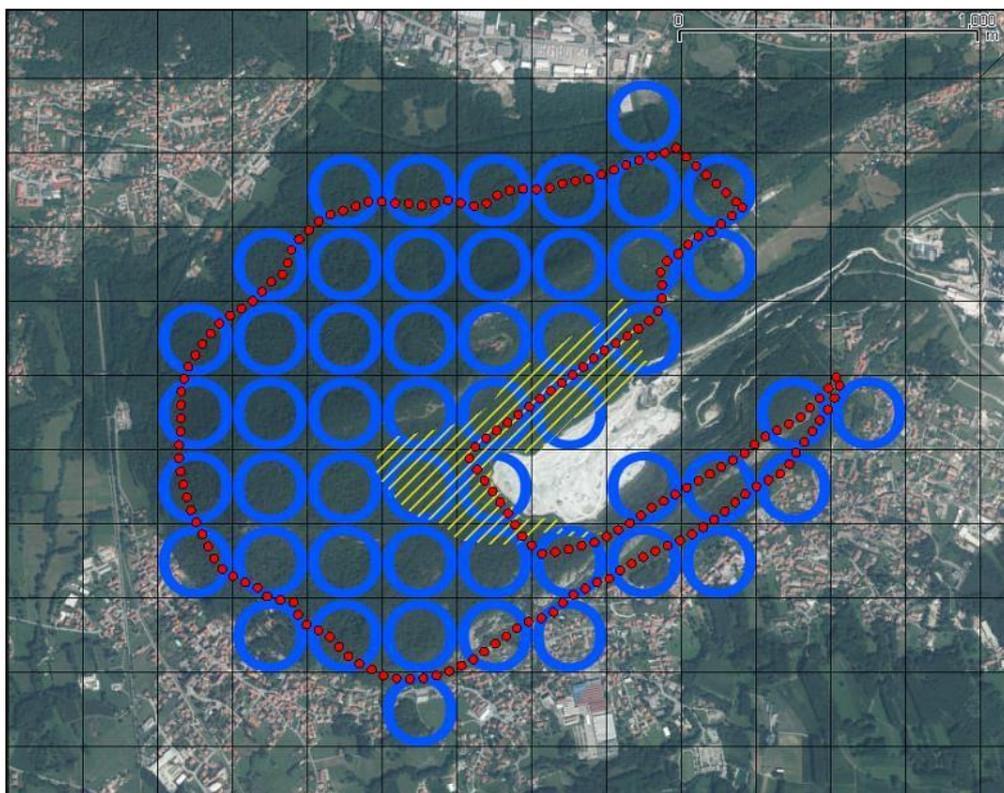


Figura 1. Localizzazione delle unità di campionamento: griglia nera, UCP di 250x250 m; cerchi blu, UCS di 250 m di diametro. Viene inoltre riportato il confine della ZSC (linea rossa) e le zone che nello Studio di Impatto Ambientale sono state identificate come possibile sede dell'ampliamento della miniera di Sasso Poiano della Colacem SpA (retinatura gialla).

Le specie di albero si ripartiscono in due gruppi (ANPA, 2001), distinti in primo luogo dal pH della scorza, ma anche da altri parametri (ritenzione idrica, durezza, tipo di scorza, ecc.). Preferibilmente, va utilizzata una sola specie d'albero nell'indagine. Quando questo non sia possibile, si può ricorrere ad altre specie nell'ambito dello stesso gruppo. In via eccezionale è possibile utilizzare specie di gruppi diversi, ma solo se si riesce ad individuare un congruo numero di stazioni con tutti gli alberi, per stabilire eventuali trasformazioni dei dati tramite adeguate giustificazioni statistiche.

In prima analisi, nell'ambito delle UCS identificate nella ZSC si sono ricercate le specie di alberi maggiormente frequenti, nonché con una distribuzione relativamente uniforme nella ZSC. Queste specie sono state individuate nelle seguenti: *Fraxinus excelsior* (a scorza subneutra), *Quercus pubescens* e *Q. cerris* (entrambe a scorza acida). La prima specie è stata scartata, in quanto in relazione alle particolari caratteristiche chimiche della corteccia ospita un discreto numero di specie nitrofile; inoltre, presenta una corteccia sottile, che rende difficoltosa l'asportazione di materiale per il bioaccumulo (v. Paragrafo 2.2.2). Le specie quercine sono ben distribuite nell'area di studio, quantunque la roverella presenta una maggior localizzazione su suoli poco profondi e manca quindi alle quote più basse del Monte Sangiano; inoltre, presenta spesso esemplari stentati, con tronco inclinato e/o circonferenza modesta, quindi non campionabili (v. di seguito nel testo le caratteristiche di un albero ritenuto come idoneo al campionamento). Il cerro risulta più omogeneamente ripartito nella ZSC, oltre a presentare normalmente esemplari con caratteristiche idonee al campionamento. Si è quindi preferito effettuare il campionamento unicamente su esemplari di cerro.

Una volta individuato sul campo il centro delle UCS, ne è stata verificata la condizione di rilevabilità. Gli alberi dovevano avere le seguenti caratteristiche per essere ritenuti idonei:

1. inclinazione del tronco non superiore ai 10°, per evitare effetti dovuti all'eccessiva eutrofizzazione di superfici molto inclinate;
2. circonferenza minima di 60 cm, per evitare situazioni con flora lichenica pioniera;
3. assenza di fenomeni evidenti di disturbo (verniciature, gravi malattie della pianta ecc.).

Le aree forestali sono state campionate, escludendo però alberi in vegetazione boschiva chiusa, scegliendo alberi siti in radure, margini di formazioni forestali e margini di strade. Dopo la prima campagna di monitoraggio (2010), alcune formazioni boschive di tipo aperto si sono progressivamente chiuse a seguito dello sviluppo della vegetazione arbustiva e della rinnovazione arborea (prevalentemente agamica). Nelle successive campagne di monitoraggio (soprattutto dal 2014) gli alberi in queste formazioni boschive sono stati campionati ugualmente.

In pochissimi casi, è stato rilevato un esemplare con una circonferenza inferiore a 60 cm, sebbene soltanto per pochi centimetri (valore minimo 53 cm).

Una volta individuati gli alberi adatti, si è proceduto al rilevamento. Il reticolo di campionamento è costituito da quattro subunità, ciascuna formata da una serie lineare di cinque quadrati di 10x10 cm, che devono essere disposte verticalmente sul tronco (Figura 2). La parte inferiore di ciascuna unità è stata disposta ad un metro dalla superficie del suolo. Il reticolo di campionamento è stato posizionato in corrispondenza dei quattro punti cardinali.



Figura 2. Le cinque subunità di campionamento del reticolo di rilevamento, posizionato sulla parte esposta a nord del tronco dell'albero 01a (anno 2010). Si osservi la corteccia che ad un esame superficiale sembra priva di licheni, in relazione alle piccole dimensioni dei talli (le colonie di colore verde scuro che si osservano sulla superficie del tronco sono muschi).

Il Manuale ANPA (2001) riporta come nel posizionamento devono essere evitate, anche se con forte copertura lichenica:

- parti del tronco danneggiate o decorticate,
- parti con presenza di evidenti nodosità,
- parti corrispondenti alle fasce di scolo con periodico scorrimento di acqua piovana,
- parti con copertura di briofite superiore al 25%.

Queste particolari situazioni non sono state riscontrate negli alberi campionati.

Sono state quindi annotate tutte le specie licheniche (inclusi i licheni crostosi sterili) presenti all'interno di ciascuna unità e la loro frequenza, calcolata come numero di subunità in cui ogni specie era presente. È stata evitata l'asportazione ed il danneggiamento dei licheni entro l'area del reticolo.

Per ciascuna UCS sono stati rilevati 3 alberi di cerro, individuati tra quelli idonei (v. criteri elencati in precedenza), più prossimi al centro dell'UCS stessa. Ciascuna UCS rilevata nella ZSC è stata numerata da 01 a 10, mentre gli alberi rilevati in una UCS sono stati identificati con le lettere a, b, c. Complessivamente sono state individuate 10 UCS nella ZSC.

Il valore di biodiversità lichenica relativo al singolo albero campionato (BLa) è stato calcolato sommando le frequenze licheniche rilevate in tutte le subunità del reticolo di rilevamento posizionato nei quattro punti cardinali. Il valore di biodiversità lichenica relativo a ciascuna UCS (BLs) è stato calcolato come media aritmetica dei tre valori di BLa.

2.2.2. Bioaccumulo

All'indagine di bioindicazione si è proposto di affiancare uno studio sul bioaccumulo di azoto (N) nei licheni, considerati come bioaccumulatori "attivi", e nelle cortecce degli alberi, valutate come campionatori "passivi" (Fрати et al., 2008). In questo modo è possibile avere dati analitici (% di N) in maggior misura confrontabili tra loro rispetto a quelli di Biodiversità Lichenica (BL), riducendo quindi la possibile influenza dovuta a esemplari di querce in ambiti di uso del suolo assai differenti tra loro e soggette a eventuali flussi di fonti di inquinamento differenti (autoveicoli sulle strade, impianti di riscaldamento delle abitazioni, ecc.), come riportato dalla recente letteratura scientifica sull'argomento (Cristofolini et al., 2008).

I campioni di cortecce sono stati raccolti sui medesimi alberi impiegati nello studio di bioindicazione, ma unicamente sulle parti di tronco che non sono state oggetto di rilevamento per la bioindicazione. I campioni di corteccia sono stati raccolti asportando porzioni non superiori a 1 cm² di superficie di scorza, sino ad una profondità massima di circa 2 mm (senza quindi raggiungere i tessuti "vivi" della scorza), in più punti del tronco ad un'altezza compresa tra 80 e 200 cm. I campioni sono stati eventualmente ripuliti da briofite e licheni che crescevano su di essi.

A seguito delle ricerche di bioindicazione nella ZSC, è stata osservata la presenza di alcune specie licheniche nitrofile, ritenute più sensibili al fine del biomonitoraggio (Gombert et al., 2003). Tuttavia la maggior parte era presente con piccolissimi talli (v. Paragrafo 2.3.1 e Figura 8) e comunque con una quantità non sufficiente di materiale (almeno 20 mg di tallo disidratato). Di fatto la copertura lichenica all'interno del reticolo di campionamento è stata quasi sempre inferiore all'1% della superficie del reticolo stesso (v. a titolo d'esempio Figura 2). Per non determinare un impatto significativo sulle comunità licheniche, anche al fine di ripetere la bioindicazione nel post operam, non è stato effettuato il campionamento delle specie licheniche nitrofile.

Su alcuni tronchi era comunque presente una sufficiente quantità di licheni (appartenenti a specie non nitrofile); anche in questo caso un loro prelievo avrebbe comportato la completa asportazione dei talli, inclusi quelli che crescevano nelle parti di tronco rilevate nell'indagine sulla bioindicazione (Figura 3, a sinistra). Soltanto su due alberi (stazione 07) è stata riscontrata la presenza di un quantitativo di materiale sufficiente per le analisi, appartenente ad un lichene foglioso non nitrofilo (*Flavoparmelia caperata*). Tuttavia, la quantità di materiale lichenico a disposizione è stata progressivamente minore nel proseguimento del monitoraggio durante il post operam (v. Paragrafo 2.2.4).

Al fine di mantenere comunque un numero sufficiente di campioni per il bioaccumulo, si sono campionate tutte le cortecce degli alberi considerati nello studio di bioindicazione (in totale trenta campioni di corteccia).



Figura 3. Differenti dimensioni del tallo del lichene foglioso *Flavoparmelia caperata* (a sinistra, stazione 05, anno 2010; a destra, stazione di controllo 11, anno 2010).

I licheni subiscono una rapida idratazione e disidratazione; durante questi processi alternano rispettivamente la diluizione e la concentrazione di inquinanti, in particolare di quelli maggiormente mobili tra cui l'azoto (Geissler, 2004). A tal fine il campionamento dei licheni dovrebbe essere effettuato durante il periodo di minor precipitazioni atmosferiche. Nel presente studio il campionamento dei licheni, ma anche quelle delle cortecce, è stato quindi effettuato tra la fine di luglio e la prima metà di agosto di ogni campagna di monitoraggio.

Nel 2018 (4^a campagna post operam) si sono verificate eccezionali elevate temperature e contemporaneamente scarse precipitazioni per tutto il periodo estivo e l'inizio dell'autunno (si vedano le statistiche meteorologiche di Varese per l'anno 2018, sul sito web del Centro Geofisico Prealpino: www.astrogeo.va.it). I rilevamenti sono stati quindi posticipati alla fine di settembre. Questa dilazione non ha determinato una violazione metodologica, in quanto le particolari condizioni meteorologiche sono state del tutto equivalenti a quelle che si erano normalmente verificate tra la fine di luglio e la prima metà di agosto nelle precedenti campagne di monitoraggio.

I campioni raccolti sono stati conservati in falcon ad una temperatura di circa -4°C sino al momento dell'analisi (mesi di settembre-ottobre). Successivamente i campioni sono stati polverizzati e analizzati in un laboratorio specializzato.

Nel 2010 i campioni sono stati analizzati presso il laboratorio dell'Unità di Ecologia Vegetale e Funzionale dell'Università degli Studi dell'Insubria (Varese). La concentrazione di azoto è stata misurata tramite tecniche di gas-cromatografia mediante un Nitrogen Analyzer (NA2000, Fisons Instruments). Un quantitativo di materiale pari a 2-3 mg è stato bruciato utilizzando come comburente O₂ puro ad una temperatura di 990°C. Successivamente i prodotti della combustione (CO₂, H₂O e NO_x), trasportati da un flusso di gas He, sono passati in una colonna in cui la presenza di Cu metallico converte NO_x a N₂. Quest'ultimo gas è stato misurato da una cella di conduttività termica (TCD detector) il quale genera un segnale elettrico proporzionale

alla quantità di sostanza in transito. Il risultato è stato riportato come peso percentuale di N su peso secco di materiale analizzato. La quantità di azoto in un campione raccolto è stata calcolata come media aritmetica di tre prove di analisi.

Dal 2012 le analisi del contenuto di azoto in cortecce e licheni sono state effettuate presso il laboratorio MAC - Minoprio Analisi e Certificazioni S.r.l. (Vertemate con Minoprio, CO), applicando una metodologia di analisi (metodo Dumas) e un analizzatore elementare (marca: Termoquest CE Instruments; modello: NC2500 model EA/NA) analoghi a quelli del 2010.

Per ciascun campione polverizzato di corteccia è stato misurato anche il pH e la conducibilità elettrica di una sospensione ottenuta ponendo 0.28 g di corteccia in 14 ml di acqua distillata per circa 2 ore.

Le misure di conducibilità sono risultate comunque fortemente correlate con quelle del pH. Per i dati raccolti nelle prime due campagne di monitoraggio (2010 e 2012), la correlazione è stata positiva (ρ di Spearman = +0.488) oltre che significativa sotto il profilo statistico ($p < 0.001$). Di conseguenza, anche al fine di ridurre il numero di variabili analizzate e rendere quindi più razionale l'analisi di tutti i dati raccolti e più funzionale la relativa interpretazione, si è preferito non considerare ulteriormente i dati sulla conducibilità a partire dalla seconda campagna di monitoraggio nel post operam.

2.2.3. Stazioni di controllo

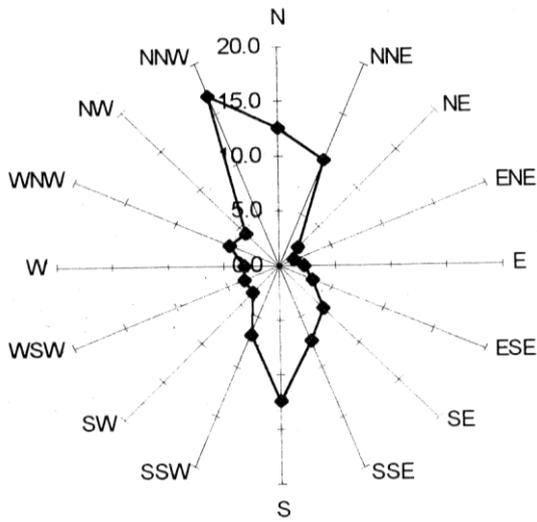
Nell'ambito del monitoraggio della qualità dell'aria devono essere individuate due stazioni di controllo ("bianco"). Tali stazioni devono ricadere in aree protette poste in un raggio massimo di 10 km dall'impianto produttivo di Caravate, fermo restando che tali località devono possedere caratteristiche ecologiche il più possibile simili a quelle delle località monitorate nella ZSC Monte Sangiano.

In relazione alla diffusione delle emissioni in atmosfera prodotte dalla cementeria, si è attentamente valutato il complessivo stato di "qualità dell'aria" nell'ambito territoriale in cui è ubicato il sito produttivo, in quanto essenziale per l'individuazione delle stazioni di controllo.

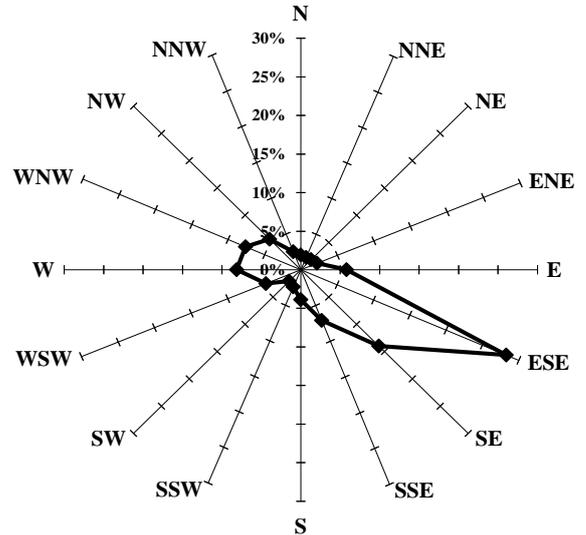
Questa valutazione è stata innanzitutto realizzata analizzando i dati anemologici delle stazioni di Brebbia, Laveno e Orino (Figura 4), in rapporto alla localizzazione territoriale rispetto all'impianto produttivo di Caravate (Figura 5).

Dall'analisi di queste figure emerge come i venti spirano lungo la direttrice nord-sud oppure verso il Lago Maggiore.

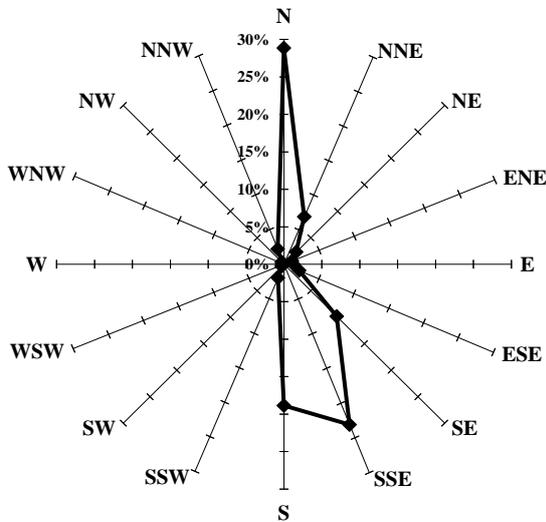
I dati sulla qualità dell'aria espressa tramite la bioindicazione lichenica (Roella et al., 1995) evidenziano per tutto il contesto analizzato un valore di IAP (Index of Air Purity) compreso tra 0 e 20, ovvero tra i più bassi registrati a livello provinciale. Valori di poco più elevati si osservano per le zone interne della Valcuvia e quindi progressivamente maggiori avvicinandosi agli abitati di Brinzio e Cunardo.



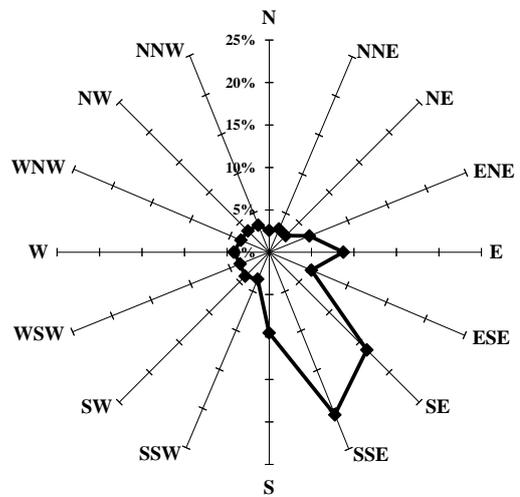
1) Brebbia (quota: 250 m s.l.m.; periodo 1993-1996; fonte: Dragone, 1997)



2) Laveno, molo (quota: 207 m s.l.m.; periodo 2004-2009; fonte: ARPA Lombardia, <http://ita.arpalombardia.it/meteo/dati/richiesta.asp>)



3) Poggio S. Elsa, Comune di Laveno (quota: 916 m s.l.m.; periodo 2004-2009; fonte: ARPA Lombardia, <http://ita.arpalombardia.it/meteo/dati/richiesta.asp>)



4) Orino (quota: 450 m s.l.m.; periodo 2009; fonte: ARPA Lombardia, <http://ita.arpalombardia.it/meteo/dati/richiesta.asp>)

Figura 4. Frequenze di direzione del vento per le quattro stazioni meteorologiche localizzate nelle immediate vicinanze all'impianto produttivo di Caravate.

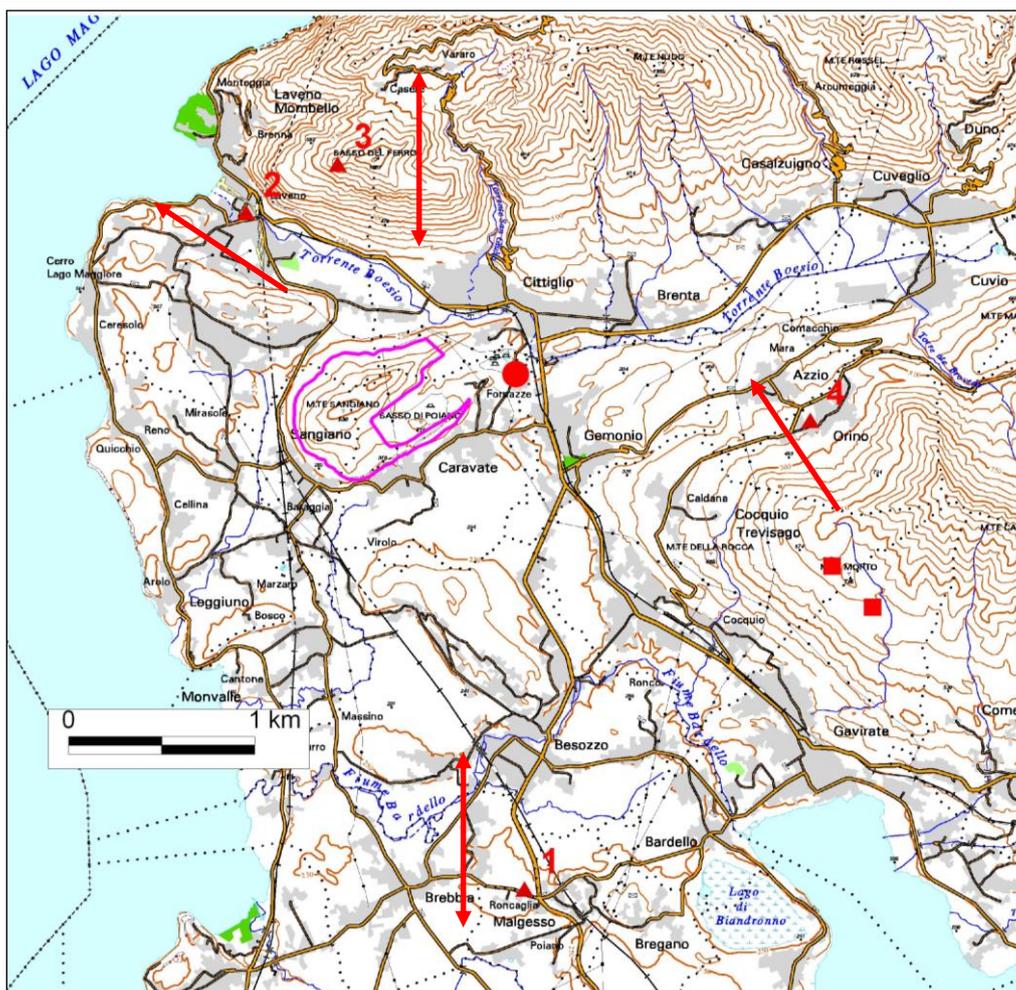


Figura 5. Direzione prevalente dei venti (freccette rosse) per le quattro stazioni meteorologiche analizzate (triangoli rossi; v. Figura 4) nel contesto territoriale della ZSC Monte Sangiano (linea rosa). Vengono inoltre evidenziate le due stazioni di controllo (quadrati rossi) per il monitoraggio della qualità dell'aria.

Sulla base di tutti questi riscontri, si è ritenuto opportuno individuare le stazioni di controllo in ambiti territoriali caratterizzati da una diffusa naturalità, ovvero in situazioni non interessate dalla presenza di aree industriali o urbanizzate, assicurando in tal modo una "neutralità" nelle condizioni ambientali delle stazioni di controllo.

Nello specifico si è quindi ritenuto di localizzare le due stazioni di controllo ad est dell'impianto, ovvero sul Monte Campo dei Fiori, nel Parco Regionale omonimo. Più precisamente si è deciso di localizzarle sulle pendici del Monte Morto (Figura 5), anche in relazione alla presenza di cospicui popolamenti di cerro (specie arborea individuata per lo studio di bioindicazione nella ZSC Monte Sangiano; v. Paragrafo 2.2.1). Entrambe le stazioni di controllo distano in linea d'aria circa 4.5 km dall'impianto produttivo di Caravate e circa 5 km dalla ZSC. Le stazioni di controllo sono state identificate con i numeri 11 e 12.

Differentemente dalle dimensioni dei talli riscontrate nella ZSC, in entrambe le stazioni di controllo erano presenti licheni con discrete dimensioni (v. Figura 3). È stato quindi possibile raccogliere quattro campioni di *Flavoparmelia caperata* per lo studio di bioaccumulo dell'azoto. Di conseguenza, il numero di campioni analizzati per le stazioni di controllo è, per forza maggiore, il doppio di quelli analizzati per la ZSC (unicamente due nella stazione 07).

In entrambe le stazioni di controllo sono state rispettate le modalità relative all'esecuzione delle indagini di bioindicazione e di bioaccumulo riportate rispettivamente nel Paragrafo 2.2.1 e 2.2.2.

2.2.4. Considerazioni relative alle campagne nel post operam

Ai fini della riproducibilità dei dati nel tempo, occorre evidenziare che in tutte le campagne di monitoraggio post operam sono stati campionati gli stessi alberi della campagna di monitoraggio ante operam. Per forza maggiore alcuni alberi campionati nella campagna ante operam sono stati tuttavia sostituiti, come di seguito riportato.

Nel 2012 è stato impossibile ritrovare l'albero identificato con lettera c nella stazione 10. Il bosco in questa stazione è stato oggetto di taglio, anche sulla componente quercina. Pertanto l'albero in oggetto (10c) è stato sostituito con un altro (10d) posto a pochissimi metri di distanza dal precedente (v. Appendice 4.1, relativamente alla scheda della stazione n. 10).

Nel 2012 erano state riscontrate condizioni di sofferenza negli alberi di cerro campionati, senza che tuttavia fosse pregiudicata l'idoneità al campionamento degli alberi coinvolti. Queste condizioni di sofferenza, legate a fitopatie, si sono ulteriormente aggravate nel 2014, al punto tale che l'albero 03b (v. Appendice 4.1, relativamente alla scheda della stazione n. 03) è stato riscontrato morto (Figura 6). Il tronco di questo albero presenta evidenti attacchi di funghi e la corteccia è in più punti scollata dal legno sottostante. Di conseguenza, non presenta più le caratteristiche di idoneità al campionamento ed è stato sostituito con un altro albero (03d), situato a pochi metri di distanza.



Figura 6. L'albero 03b riscontrato morto a causa di fitopatie (anno 2014).



Figura 7. Alberi caduti a seguito di eventi meteorologici eccezionali, nei pressi dell'UCS 08 (anno 2014).

Nelle campagne precedenti a quella del 2016, si segnalava come la diffusa presenza di fitopatie avrebbe potuto portare alla morte di altri alberi di cerro oggetto di monitoraggio, segnalando nello specifico gli alberi 03a, 06c, 10b e in minor misura quelli nella stazione 05 (v. Appendice 4.1 relativamente alle stazioni menzionate). Oltre a queste condizioni di sofferenza negli esemplari di cerro, si riscontrava lo stato di diffuso degrado nella struttura del bosco a seguito degli eventi meteorologici eccezionali nell'annata 2014 (Figura 7). Si segnalava che questa situazione di degrado avrebbe

potuto ulteriormente aggravare le complessive condizioni fitosanitarie nei boschi di cerro della ZSC.

Nel 2016 la condizione di sofferenza fitosanitaria è di fatto peggiorata. Infatti, si è osservata la morte dell'albero 06c, riportato in gravi condizioni fitosanitarie nelle precedenti campagne. Questo albero è stato sostituito con l'albero identificato come 06d, situato a pochi metri di distanza da 06c. Per la medesima motivazione, nel 2018 è stato sostituito l'albero 03a con un altro albero (03e) situato nelle vicinanze.

Occorre in particolar modo ribadire che le condizioni di degrado nella struttura del bosco si sono progressivamente aggravate dall'ante operam, in particolare nella zona di Sasso Poiano e più precisamente nelle stazioni 03, 08, 09 e 10. Questo degrado è dato primariamente dall'assenza di cure selvicolturali, in seguito a tagli d'utilizzo (es. nella stazione 10). Di conseguenza, in tutta la zona di Sasso Poiano si è sviluppato un rigoglioso sottobosco, soprattutto di rovi che in molti punti hanno superato l'altezza di 2 m. L'accesso alle aree di campionamento è quindi divenuto difficoltoso, anche soltanto percorrendo i sentieri tracciati. Questa situazione è ancor più grave nelle aree boscate. Nella stazione 10 i rovi hanno completamente avvolto il tronco degli alberi, rendendo 10b e 40d non più idonei al campionamento (tronco fortemente ombreggiato dai rovi). Si è quindi ritenuto opportuno sostituire entrambi questi alberi con altri due (10e e 10f) presenti nelle vicinanze. Occorre rilevare che al perdurare delle attuali condizioni, l'intera stazione 10 è a rischio di idoneità al monitoraggio nelle future campagne. Un'inapplicabilità del metodo di monitoraggio potrebbe ulteriormente manifestarsi per gli alberi nelle altre stazioni del Sasso Poiano (03, 08 e 09).

Nel 2020 permangono comunque condizioni di idoneità al campionamento per tutti gli alberi rilevati nella precedente campagna di monitoraggio. Si è inoltre rilevato che una parte del bosco nei pressi della stazione 10 è stata ripulita nel sottobosco, con la realizzazione di un percorso per raggiungere il punto panoramico sopra il Sasso Poiano. Infine, occorre evidenziare come sui tronchi di molti alberi della ZSC sta iniziando ad arrampicarsi dell'edera, che una volta sviluppatasi potrebbe mascherare completamente i tronchi e quindi renderli non più idonei al rilevamento. Di conseguenza, si è provveduto a recidere i tralci di edera alla base.

La Tabella 1 riassume gli alberi sostituiti durante le diverse campagne di monitoraggio.

Tabella 1. Elenco degli alberi sostituiti per impossibilità di applicare il protocollo di monitoraggio del Manuale ANPA (2001), causa forza maggiore.

Anno della sostituzione	Albero sostituito	Nuovo albero campionato	Causa della sostituzione
2012	10c	10d	abbattimento
2014	03b	03d	morte
2016	06c	06d	morte
2016	10b	10e	tronco ricoperto
2016	10d	10f	tronco ricoperto
2018	03a	03e	morte

Rispetto alla campagna ante operam sono stati complessivamente sostituiti 5 alberi (NB: l'albero 10c è stato sostituito dall'albero 10d, a sua volta sostituito da 10f). La sostituzione di questi alberi con altrettanti idonei al campionamento può essere considerata del tutto ininfluyente ai fini del presente monitoraggio, in quanto i presupposti metodologici, come stabiliti nel protocollo riportato nel Manuale ANPA (2001), rimangono sostanzialmente inalterati a livello sito-specifico. Il protocollo ANPA stabilisce, infatti, il campionamento degli alberi idonei più prossimi al centro della UCS. Se nelle campagne successive un albero, campionato in quelle precedenti, non fosse più

idoneo, può essere necessariamente sostituito con quello idoneo più vicino al centro della stessa UCS.

In definitiva, si ritiene che le analisi complessive siano indenni dagli effetti derivanti dalle sostituzioni, poiché dei 36 alberi campionati nel 2010 (ante operam), ne sono stati ricampionati 32 nel 2016 (pari all'89% di quelli campionati nell'ante operam) e 31 nel 2018 e nel 2020 (86%).

Per quanto concerne l'analisi della concentrazione di azoto in *Flavoparmelia caperata* (v. Paragrafo 2.2.2), nel 2016 la quantità disponibile di talli lichenici di questa specie è risultata modesta, così che non è stato possibile svolgere sempre tre prove di analisi di laboratorio (v. Appendice 4.3.4). La quantità di tallo è stata particolarmente ridotta sui due alberi delle stazioni nella ZSC. Nella raccolta dei talli si è infatti cercato di non asportare completamente *Flavoparmelia caperata* dagli alberi, in modo da garantire la sopravvivenza della specie e quindi non precludere futuri campionamenti. Tuttavia, si deve osservare come la crescita dei talli si è decisamente ridotta nell'ultimo periodo, così che l'equilibrio tra raccolta e ricrescita del lichene si è fortemente sbilanciato.

Nel 2018 e quindi nel 2020, la quantità disponibile di materiale sull'albero 07b è stata scarsissima e del tutto inadeguata per lo svolgimento delle analisi di laboratorio. Di conseguenza, non si è provveduto a raccogliere materiale da questo albero. Non essendo disponibili altri talli di *Flavoparmelia caperata* sul restante albero (c) nella stazione 07, l'analisi della concentrazione di azoto in *Flavoparmelia caperata* è stata ristretta al solo albero 07a (v. Appendici 4.3.5 e 4.3.6).

Per quanto concerne l'albero 11b, la quantità di materiale di *Flavoparmelia caperata* è risultata scarsa nel 2018 e nel 2020. Di conseguenza, questo lichene è stato raccolto sull'albero 11c.

Nel 2020, si è verificata una perdita accidentale del campione di corteccia dell'albero 11a e di conseguenza le analisi di laboratorio non sono state effettuate (v. Appendice 4.3.6). Poiché sono state comunque eseguite analisi sugli altri due alberi della stazione 11, si ritiene che questa singola mancanza incida in modo irrilevante sui risultati.

2.2.5. Analisi dei dati

I dati raccolti nel monitoraggio sono stati elaborati secondo le variabili di seguito descritte:

- biodiversità lichenica (BLs): è l'indice considerato nel Manuale ANPA (2001), corrispondente ad una valutazione complessiva della qualità dell'aria (considerata "migliore" all'aumentare dell'indice);
- specie di Xanthorion: contributo delle specie licheniche di Xanthorion al valore di BL; esprime una valutazione complessiva del grado di nitrofilia (= eutrofizzazione del substrato ad opera di composti azotati) nella comunità lichenica;
- specie di Parmelion: contributo delle specie licheniche di Parmelion al valore di BL; esprime una valutazione complessiva del grado di naturalità della comunità lichenica (le specie di Parmelion sono i licheni che crescono tipicamente su corteccia acida, che corrisponde alla naturale reazione della scorza di *Quercus cerris*); per affinità sinecologica, sono state considerate anche le specie di Cladonion e di Graphidion;
- indice di nitrofilia: esprime direttamente il grado di nitrofilia (= eutrofizzazione del substrato ad opera di composti azotati) nella comunità lichenica, tramite un indice strutturato su cinque livelli (compresi tra 1, nessuna eutrofizzazione, e 5, eutrofizzazione molto elevata); l'indice è stato calcolato secondo la metodica riportata nel Manuale ANPA (2001), considerando il grado di nitrofilia di ciascuna

specie riportato da Nimis & Martellos (2008); il significato del valore dell'indice è stato desunto da Nimis & Martellos (2008);

- percentuale di azoto (N) nelle cortecce: valore del contenuto in azoto totale degli strati più superficiali della corteccia; esprime il bioaccumulo di azoto nella corteccia di cerro (= bioaccumulatore "passivo");
- percentuale di azoto (N) nei licheni: valore del contenuto in azoto totale dei talli lichenici di *Flavoparmelia caperata*; esprime il bioaccumulo di azoto in questi organismi (= bioaccumulatori "attivi");
- pH nelle cortecce: grado di reazione degli strati più superficiali della corteccia; è indicatore di variazioni dovute a deposizioni atmosferiche o altre particelle, in quanto la corteccia delle specie quercine presenta un pH naturale di tipo acido (Barkman, 1958, riporta valori di norma compresi tra 3.7-5.0 per *Quercus robur*).

Nella trattazione dei risultati, queste variabili sono state dapprima esaminate qualitativamente (valutando, ad esempio, la loro distribuzione nella ZSC e le variazioni in termini assoluti). Si è quindi proceduto ad un'analisi statistica dei dati delle variabili, al fine di verificare se le variazioni intercorse siano effettivamente significative sotto il profilo statistico. Dal punto di vista dell'analisi tecnica finale, si terrà ovviamente conto in maggior misura dei risultati dell'analisi statistica, in quanto ritenuta maggiormente rispondente a requisiti di scientificità e obiettività.

Nello specifico l'analisi statistica ha considerato i due seguenti fattori di possibile variazione:

- ubicazione: localizzazione della stazione di monitoraggio, con due livelli:
 - ZSC: le 10 stazioni di monitoraggio localizzate nella ZSC;
 - controllo: le 2 stazioni di monitoraggio esterne alla ZSC;
 eventuali variazioni statisticamente imputabili a questo fattore indicherebbero una sostanziale differenza nella variabile analizzata tra le stazioni nella ZSC e quelle di controllo, a prescindere dell'anno di monitoraggio;
- anno: periodo di monitoraggio, con sei livelli:
 - 2010: campagna ante operam di monitoraggio;
 - 2012: 1^a campagna post operam (a 1 anno della messa in esercizio dell'attività di coincenerimento di CDR);
 - 2014: 2^a campagna post operam (a 3 anni della messa in esercizio);
 - 2016: 3^a campagna post operam (a 5 anni della messa in esercizio);
 - 2018: 4^a campagna post operam (a 7 anni della messa in esercizio);
 - 2020: 5^a campagna post operam (a 9 anni della messa in esercizio).
 eventuali variazioni statisticamente imputabili a questo fattore indicherebbero una sostanziale differenza tra le campagne di monitoraggio, a prescindere dall'ubicazione delle stazioni di monitoraggio.

È stata inoltre considerata anche l'interazione tra i due summenzionati fattori. L'eventuale significatività statistica di questa interazione indicherebbe una variazione tra l'ubicazione delle stazioni in relazione all'anno di monitoraggio. Nel caso in studio, risulta di particolare interesse un eventuale diverso "comportamento" tra il post operam e l'ante operam delle stazioni nella ZSC rispetto alle stazioni di controllo.

Ai fini dell'analisi statistica, si ritiene che i "soggetti" analizzati non siano sempre i medesimi nelle diverse campagne di monitoraggio. Infatti, si deve constatare che 5 alberi campionati nell'ante operam sono stati per forza maggiore sostituiti nel post operam (v. Paragrafo 2.2.4). Questa condizione viene a pregiudicare l'impiego di test statistici con misure ripetute sugli stessi "soggetti" (nel caso specifico i singoli alberi). Invece, è possibile considerare la stazione nel suo complesso come "soggetto".

I valori di ciascuna variabile (dipendente) sono stati trasformati in aligned ranks data considerando le trasformazioni suggerite con il programma ARTool (Wobbrock et al.,

2013), al fine di poter utilizzare test parametrici a dati non distribuiti normalmente e quindi sfruttare la robustezza e la varietà di analisi di questo tipo di test (Wobbrock et al., 2011). I test repeated measures ANOVA sono stati eventualmente seguiti dal calcolo di test post hoc (metodo "False Discovery Rate", FDR). Nel caso delle interazioni tra i due fattori, sono stati considerati soltanto i contrasti tra gli anni di monitoraggio nel post operam e l'ante operam, ma in modo separato per le stazioni di controllo e per quelle della ZSC; in questo caso non è stato considerato alcun metodo di aggiustamento della probabilità nel test post hoc.

Poiché nel 2018 è stato raccolto un unico campione di *Flavoparmelia caperata* nella stazione 07 (albera a; v. Paragrafo 2.2.4), nell'analisi sono stati considerati il valore massimo e minimo ottenuto nelle analisi di laboratorio (v. Appendice 4.3.5) e non il valore medio delle tre repliche. Inoltre, nel test ANOVA la stazione non è stata considerata come "soggetto". In tal modo è stato possibile continuare a svolgere l'analisi statistica dei dati di bioaccumulo in questo lichene. Il test ANOVA è stato seguito dal calcolo di test post hoc, senza aggiustamento della probabilità.

Tutti i test statistici sono stati eseguiti nella piattaforma software R, utilizzando diversi packages tra cui ARTool.

2.3. Risultati del monitoraggio della qualità dell'aria

Nell'Appendice 4.1 sono riportati i dati completi per l'identificazione delle stazioni e degli alberi rilevati nella presente indagine.

2.3.1. Analisi floristica

In tutte le campagne di monitoraggio effettuate, la maggior parte delle specie fogliose sono state riscontrate con piccoli talli, in genere con diametro inferiore a 5 mm, incluse le specie nitrofile (Figura 8). Per tale motivo non si è sempre chiaramente distinta l'appartenenza di ciascun tallo a specie tassonomicamente molto vicine tra loro, come ad esempio tra *Physcia adscendens* (Fr.) H.Olivier e *P. tenella* (Scop.) DC. Pertanto in alcuni casi si è preferito determinare l'aggregato oppure soltanto il genere. A seguito dell'accrescimento dei talli nel post operam, è stato possibile identificare alcuni talli lichenici con maggior accuratezza tassonomica (in particolare nel caso di talli appartenenti alla famiglia delle Parmeliaceae).



Figura 8. Piccolo tallo della specie nitrofila *Physcia* gr. *adscendens*; si osservino anche le dimensioni dei talli di colore giallo di *Candelaria concolor*, specie nitrofila rinvenuta comunemente nella ZSC (stazione 09, anno 2010).

Per le specie con forma leprosa si sono seguite le informazioni sulle differenze di morfologia e di reazione ai reagenti chimici riportate nella "Key B" di Baruffo et al. (2006).

Le specie licheniche censite nelle tre campagne di monitoraggio sono riportate nella

Tabella 2. La nomenclatura delle specie segue Nimis & Martellos (2008), mentre l'inquadramento a livello di famiglia segue Roskov et al. (2016). Viene inoltre riportata la frequenza percentuale di ritrovamento nei 144 rilievi complessivamente eseguiti (12 stazioni x 3 alberi x 4 punti cardinali) in ciascun anno di monitoraggio.

Tabella 2. Elenco delle specie licheniche rilevate e relativa frequenza percentuale nei 144 rilievi complessivamente eseguiti in ciascun anno di monitoraggio. Nella colonna "fitosoc." viene riportato il significato fitosociologico di ciascuna specie lichenica. Nella colonna "Δ Frequenza %" sono riportate le variazioni percentuali tra due campagne consecutive di monitoraggio e nell'ultima colonna tra la campagna ante operam e l'ultima post operam (differenze in rosso se negative, in verde se positive).

Famiglia Specie	fitos.*	Frequenza %						Δ Frequenza %					
		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
Candelariaceae													
Candelaria concolor (Dicks.) Stein	X	35.4	42.4	41.0	36.8	36.1	27.1	+7.0	-1.4	-4.2	-0.7	-9.0	-8.3
Candelariella reflexa (Nyl.) Lettau	X	52.1	64.6	68.1	68.1	70.1	65.3	+12.5	+3.5	0.0	+2.0	-4.8	+13.2
Cladoniaceae													
Cladonia parasitica (Hoffm.) Hoffm.	C	22.2	21.5	23.6	23.6	24.3	24.3	-0.7	+2.1	0.0	+0.7	0.0	+2.1
Lecanoraceae													
Lecanora gr. subfusca	-	7.6	6.9	9.0	8.3	7.6	7.6	-0.7	+2.1	-0.7	-0.7	0.0	0.0
Parmeliaceae													
Hypogymnia sp.	P	2.8	3.5	2.1	1.4	0.7	1.4	+0.7	-1.4	-0.7	-0.7	+0.7	-1.4
Melanelixia sp.	P	2.8	4.2	7.6	6.9	4.9	4.2	+1.4	+3.4	-0.7	-2.0	-0.7	+1.4
Flavoparmelia caperata (L.) Hale	P	16.0	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	+4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	+4.8
Punctelia subrudecta (Nyl.) Krog	P	1.4	1.4	2.1	0.7	0.7	1.4	0.0	+0.7	-1.4	0.0	+0.7	0.0
Parmelia sulcata Taylor	P	13.2	12.5	16.7	9.7	12.5	11.1	-0.7	+4.2	-7.0	+2.8	-1.4	-2.1
Phlyctidaceae													
Phlyctis argena (Spreng.) Flot.	G	9.7	10.4	9.7	11.8	10.4	11.1	+0.7	-0.7	+2.1	-1.4	+0.7	+1.4
Physciaceae													
Hyperphyscia adglutinata (Flörke) H.Mayrhofer & Poelt	X	20.1	29.2	29.9	25.0	26.4	26.4	+9.1	+0.7	-4.9	+1.4	0.0	+6.3
Physcia gr. adscendens	X	9.7	11.8	9.0	6.9	10.4	12.5	+2.1	-2.8	-2.1	+3.5	+2.1	+2.8
Phaeophyscia endophoenicea (Harm.) Moberg	P	2.1	1.4	2.8	0.0	0.0	0.0	-0.7	+1.4	-2.8	0.0	0.0	-2.1
Phaeophyscia chloantha (Ach.) Moberg	X	0.7	0.7	0.7	0.7	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	+0.7	0.0	+0.7
Phaeophyscia sp.	X	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	+1.4	0.0	+1.4

Famiglia	Specie	fitos.*	Frequenza %					Δ Frequenza %						
			2010	2012	2014	2016	2018	2020	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
Stereocaulaceae														
	Lepraria lobificans Nyl.	L	34.7	42.4	42.4	43.8	38.9	37.5	+7.7	0.0	+1.4	-4.9	-1.4	+2.8
	Lepraria incana (L.) Ach.	L	9.7	13.9	19.4	18.8	22.2	24.3	+4.2	+5.5	-0.6	+3.4	+2.1	+14.6
	Lepraria umbricola Tønsberg	L	2.8	5.6	6.3	4.9	4.2	3.5	+2.8	+0.7	-1.4	-0.7	-0.7	+0.7
	Lepraria membranacea (Dicks.) Vain.	L	2.1	2.8	2.8	2.8	3.5	3.5	+0.7	0.0	0.0	+0.7	0.0	+1.4
	Lepraria vouauxii (Hue) R.C.Harris	L	4.2	5.6	7.6	7.6	6.9	8.3	+1.4	+2.0	0.0	-0.7	+1.4	+4.1
Teloschistaceae														
	Caloplaca pyracea (Ach.) Th.Fr.	X	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	+0.7	-0.7	0.0	0.0
	Xanthoria parietina (L.) Th.Fr.	X	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	+0.7	-0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
"non assegnata"														
	Normandina pulchella (Borrer) Nyl.	P	5.6	5.6	10.4	21.5	36.1	37.5	0.0	+4.8	+11.1	+14.6	+1.4	+31.9

* Alleanze fitosociologiche:

- C, Cladonion: comunità su legno marcescente;
- G, Graphidion: comunità di licheni crostosi pionieri su scorza liscia, con elevate esigenze igriche;
- L, Leprarion: comunità sciafile, in genere su scorza al riparo dall'acqua piovana;
- P, Parmelion: comunità mesofile, subacidofile, poco xerofile e poco nitrofile;
- X, Xanthorion: comunità relativamente eliofile, xerofile, neutro-basifile e nitrofile.

Nel 2012 la maggior parte delle specie ha avuto un incremento nella frequenza rispetto al 2010. In particolare hanno presentato un complessivo e deciso aumento le specie della famiglia delle Candelariaceae, ovvero *Candelaria concolor* e *Candelariella reflexa* (Figura 9). Per quest'ultima si è riscontrato il maggior incremento (12.5%) tra tutte le specie. Anche tra le specie della famiglia delle Physciaceae si è riscontrato un rilevante aumento, come in *Physcia* gr. *adscendens* e soprattutto in *Hyperphyscia adglutinata*. Tutti questi licheni che hanno presentato un rilevante incremento appartengono a specie di Xanthorion. Tra le specie di questa alleanza, si è osservata anche *Xanthoria parietina*, non riscontrata nel 2010.

Per le altre specie, con eccezione di *Lepraria lobificans*, si sono registrati modesti incrementi. Pochissime sono le specie che hanno avuto una diminuzione, tra l'altro molto contenuta (al più in un albero, pari allo 0.7% della frequenza rilevata).

Nel 2014 le specie della famiglia delle Candelariaceae hanno presentato un incremento (*Candelariella reflexa*) o viceversa un lieve decremento (*Candelaria concolor*). Si deve inoltre sottolineare che su alcuni alberi nella ZSC i talli di molte specie di Xanthorion, in particolare di *Candelaria concolor*, risultano decolorati o persino deteriorati, tanto da far supporre dubbi sulla vitalità dei talli stessi. Queste condizioni sono state in particolare riscontrate nelle stazioni 03, 08, 09 e 10, corrispondenti a tutte le UCS rilevate lungo il Sasso Poiano a Caravate (v. Figura 13).

La specie per la quale si è riscontrato il decremento più consistente è stata *Physcia* gr. *adscendens*, una specie di Xanthorion. *Xanthoria parietina*, specie comparsa nel 2012 con un'unica presenza, non è stata invece più osservata. L'incremento maggiore è stato invece riscontrato per *Lepraria incana*. Anche altre specie hanno registrato un incremento, tra cui alcune specie legate alle comunità di Parmelion, come ad esempio *Normandina pulchella*, *Cladonia parasitica* e molte delle specie della famiglia Parmeliaceae.



Figura 9. Piccoli talli di *Candelariella reflexa*: è la specie nitrofila di Xanthorion che tra ante e post operam ha mostrato il più elevato incremento della frequenza nei rilievi eseguiti.

Nel 2016 si è riscontrata una diminuzione nella frequenza della maggior parte delle specie. Questa diminuzione ha riguardato molte specie di Xanthorion, tra cui *Candelaria concolor*, i cui talli erano stati osservati nel 2014 come dubitativamente vitali. Tuttavia

la specie di Xanthorion che ha mostrato la maggior diminuzione è stata *Hyperphyscia adglutinata*. Per questa specie nel 2012 si era osservato un forte incremento, pressoché arrestatosi nel 2014 e infine nel 2016 una forte diminuzione. Questa variazione nella frequenza relativa è del tutto simile a quella riscontrata in *Candelaria concolor*. Anche *Candelariella reflexa* mostra una tendenza simile. Come riportato nel 2014, i talli di molte specie di Xanthorion sono sembrati poco vitali, ancora una volta presso le stazioni 03, 08, 09 e 10, corrispondenti a tutte le UCS presenti lungo il Sasso Poiano a Caravate (v. Figura 13). Occorre infine evidenziare una riduzione della dimensione dei talli; ad esempio, i talli di *Physcia gr. adscendens*, già notevolmente piccoli nel 2010 (Figura 8), nel 2016 sono stati osservati ancor più ridotti in dimensione (1-2 m di diametro).

Nel 2018 si è riscontrato un discreto aumento delle specie di Xanthorion, in particolare di *Physcia gr. adscendens* e in subordine di *Candelariella reflexa*, ma *Caloplaca pyracea*, riscontrata nel 2016, non è stata più osservata. Tra le specie di Leprarion, *Lepraria lobificans* è decisamente diminuita in termini di frequenza, mentre *Lepraria incana* è aumentata.

Nel 2020 le specie per le quali si è riscontrata una maggior diminuzione sono state *Candelariella reflexa* e soprattutto *Candelaria concolor*, entrambe specie di Xanthorion. Un leggero incremento è stato invece osservato per *Lepraria incana*.

Il grafico di Figura 10 mostra la distribuzione delle frequenze percentuali nei rilievi eseguiti in ciascun anno di monitoraggio per le specie relativamente più comuni.

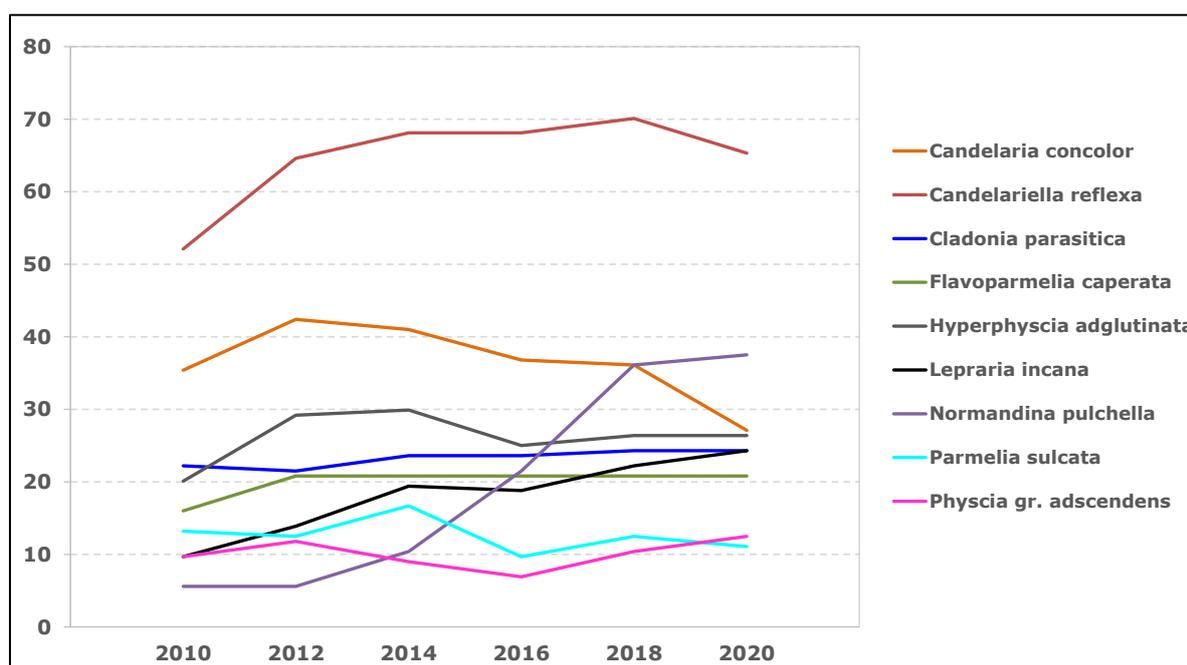


Figura 10. Distribuzione delle frequenze percentuali nei 144 rilievi complessivamente eseguiti in ciascun anno di monitoraggio per le specie relativamente più comuni.

Tra le specie relativamente più comuni nell'ante operam che hanno mostrato un decremento nel post operam, occorre annoverare *Parmelia sulcata*, diminuita in pressoché tutte le stazioni dove era presente e in particolar modo nella stazione di controllo 12. In questa stazione, i pochi talli di *Parmelia sulcata* si presentano fortemente deteriorati e probabilmente non sono più vitali (Figura 11, a sinistra). Questa condizione, seppure in misura meno diffusa, è stata riscontrata anche nelle altre specie della famiglia delle Parmeliaceae nella stazione 12 (Figura 11, a destra). Segnali di deterioramento nel tallo, in questo caso per *Cladonia parasitica* e le specie del genere *Lepraria*, sono stati riscontrati nell'altra stazione di controllo e in particolare sull'albero 11b. Nel 2018 e

quindi anche nel 2020 la situazione per *Parmelia sulcata* si è però stabilizzata in entrambe le stazioni, mentre è continuato il deterioramento dei talli in *Cladonia parasitica*. Tra tutte le stazioni di monitoraggio, questa specie si è sempre mantenuta più o meno costante, con un lieve aumento tra ante e post operam. Una tendenza simile a quella di *Cladonia parasitica* è stata riscontrata in *Flavoparmelia caperata*.

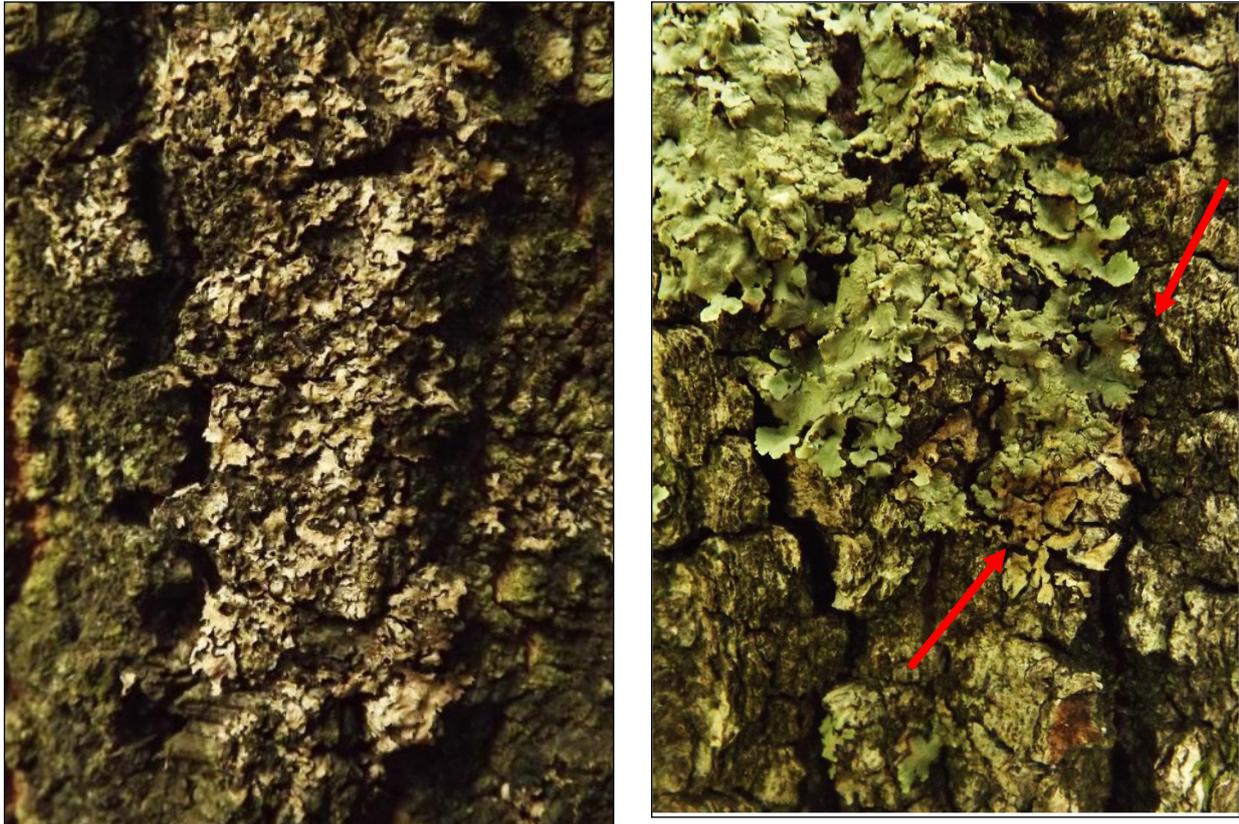


Figura 11. Condizioni di vitalità delle specie di Parmeliaceae nella stazione di controllo 12 (anno 2016): a sinistra, tallo completamente deteriorato e probabilmente non più vitale di *Parmelia sulcata*; a destra, *Flavoparmelia caperata* con parti del tallo decolorate (freccette rosse).

La specie per la quale si è riscontrata la maggior diminuzione tra ante e post operam è stata *Candelaria concolor* che, come in precedenza evidenziato, ha iniziato questo declino sin dal 2014. Le altre specie relativamente comuni di Xanthorion hanno invece evidenziato un incremento tra ante e post operam, sebbene con una tendenza altalenante. Occorre in particolare evidenziare come *Candelariella reflexa* abbia avuto inizialmente una fase di deciso aumento, seguita da una di rallentamento e infine di inizio di una fase di declino.

Un considerevole aumento tra ante e post operam si è registrato per tutte le specie leprose, in particolare per *Lepraria incana*, specie che ha mostrato un quasi costante incremento di anno in anno.

Infatti, *Normandina pulchella* (Figura 12) è l'unica specie lichenica che stabilmente ha mostrato un andamento positivo nelle frequenze a partire dalla campagna di ante operam, tanto che è risultata la specie con il maggior incremento assoluto nell'intervallo 2010-2020. Questo aumento nella frequenza, quasi di tipo esponenziale, sembra essere di fatto rallentato nel 2020. *Normandina pulchella* mostra una preferenza per climi caldo-umidi ma, come altre specie tipiche delle comunità di Parmelion, è anche debolmente nitrofila.



Figura 12. Singolo tallo o gruppi di talli lichenici di *Normandina pulchella*, la specie che in assoluto tra ante e post operam ha mostrato l'incremento maggiore nella frequenza di tutti i rilievi.

2.3.2. Biodiversità lichenica

2.3.2.1. Valori di biodiversità lichenica

2.3.2.1.1. Analisi descrittiva

I valori di BLa per i 3 alberi campionati in ciascuna delle 12 stazioni rilevate nonché i relativi valori di BLs sono riportati nella Tabella 3. Nell'Appendice 4.2 è invece riportata la matrice completa dei dati rilevati, suddivisa per ante operam (anno 2010, v. Appendice 4.2.1) e post operam (anno 2012, v. Appendice 4.2.2; anno 2014, v. Appendice 4.2.3; anno 2016, v. Appendice 4.2.4; anno 2018, v. Appendice 4.2.5; anno 2020, v. Appendice 4.2.6). Nella Tabella 4 sono invece riportate le differenze nei valori di BLs per le dodici stazioni calcolate tra due campagne consecutive di monitoraggio e tra la campagna ante operam e l'ultima post operam.

Per ciascuna campagna di monitoraggio, possono essere riportate le seguenti considerazioni:

- 2010: il valore più basso di BLs, che non supera le 10 unità, è riportato per la stazione 02; per tutte le altre stazioni il valore di BLs supera abbondantemente la soglia di 10 unità. Per le stazioni nella ZSC il valore più elevato è stato riscontrato per la stazione 10, con una BLs decisamente superiore (55.3) rispetto a quella della stazione 09 (38.3) con un valore immediatamente inferiore in graduatoria. Le stazioni di controllo (11 e 12) presentano valori di BLs elevati, di poco inferiori a quello registrato nella stazione 10;
- 2012: la stazione 02 presenta ancora il valore assoluto di BLs più basso, anche se supera la soglia di 10 unità. La stazione 10 è ancora quella con il valore più elevato tra quelle presenti nella ZSC; tuttavia, la stazione 09 presenta un valore molto vicino alla stazione 10. Le stazioni di controllo (11 e 12) presentano i valori

di BLs più elevati in assoluto, superando quello della stazione 10, che nel 2010 era quella che presentava il valore più alto;

Tabella 3. Valori di BLa e BLs nelle dodici stazioni rilevate, suddivise per anno di rilevamento (NB: per gli alberi sostituiti a causa dell'impossibilità di applicare il protocollo di monitoraggio, si veda il Paragrafo 2.2.4 e l'Appendice 4.1).

Staz.	anno																							
	2010				2012				2014				2016				2018				2020			
	BLa			BLs	BLa			BLs	BLa			BLs	BLa			BLs	BLa			BLs	BLa			BLs
	a	b	c		a	b	c		a	b	c		a	b	c		a	b	c		a	b	c	
01	18	26	14	19.3	20	31	30	27.0	41	34	35	36.7	48	23	21	30.7	43	25	22	30.0	36	24	22	27.3
02	7	4	9	6.7	12	9	10	10.3	23	20	14	19.0	31	27	17	25.0	34	26	21	27.0	35	29	27	30.3
03	12	28	15	18.3	19	33	21	24.3	18	40	20	26.0	24	41	17	27.3	29	48	29	35.3	21	38	32	30.3
04	24	17	18	19.7	28	20	26	24.7	37	25	31	31.0	41	27	26	31.3	34	22	19	25.0	48	20	25	31.0
05	30	34	37	33.7	42	38	45	41.7	60	52	47	53.0	62	59	48	56.3	68	64	55	62.3	61	55	54	56.7
06	9	17	21	15.7	15	26	25	22.0	18	25	27	23.3	26	23	19	22.7	25	33	19	25.7	25	37	12	24.7
07	29	22	30	27.0	30	36	33	33.0	39	38	25	34.0	46	35	21	34.0	44	42	27	37.7	37	31	30	32.7
08	31	27	13	23.7	44	37	28	36.3	42	36	40	39.3	29	46	46	40.3	28	43	51	40.7	31	40	49	40.0
09	35	60	20	38.3	45	73	33	50.3	44	72	32	49.3	20	66	25	37.0	32	69	21	40.7	12	66	19	32.3
10	58	67	41	55.3	60	53	41	51.3	43	24	20	29.0	50	42	12	34.7	51	46	24	40.3	43	48	25	38.7
11	45	55	49	49.7	51	59	53	54.3	55	61	57	57.7	54	57	57	56.0	48	45	49	47.3	50	48	52	50.0
12	37	52	52	47.0	48	66	52	55.3	61	71	59	63.7	45	72	59	58.7	52	70	61	61.0	51	70	61	60.7

Legenda colori (valori di BLs):

	0-1.0		20.1-30.0		>50
	1.1-10.0		30.1-40.0		
	10.1-20.0		40.1-50.0		

Tabella 4. Differenze nei valori di BLs per le dodici stazioni, calcolate tra due campagne consecutive di monitoraggio e nell'ultima colonna tra la campagna ante operam e l'ultima post operam (differenze in rosso se negative, in verde se positive).

Staz.	Δ BLs					
	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
01	+7.7	+9.7	-6.0	-0.7	-2.7	+8.0
02	+3.6	+8.7	+6.0	+2.0	+3.3	+23.6
03	+6.0	+1.7	+1.3	+8.0	-5.0	+12.0
04	+5.0	+6.3	+0.3	-6.3	+6.0	+11.3
05	+8.0	+11.3	+3.3	+6.0	-5.6	+23.0
06	+6.3	+1.3	-0.6	+3.0	-1.0	+9.0
07	+6.0	+1.0	0.0	+3.7	-5.0	+5.7
08	+12.6	+3.0	+1.0	+0.4	-0.7	+16.3
09	+12.0	-1.0	-12.3	+3.7	-8.4	-6.0
10	-4.0	-22.3	+5.7	+5.6	-1.6	-16.6
11	+4.6	+3.4	-1.7	-8.7	+2.7	+0.3
12	+8.3	+8.4	-5.0	+2.3	-0.3	+13.7

- 2014: la stazione 10 presenta ancora il valore più basso di BLs, anche se ormai innalzatosi sino a sfiorare il valore di 20 unità. Nella ZSC il valore più elevato è detenuto dalla stazione 05, che dal 2010 è quella che ha avuto l'incremento complessivo maggiore. La stazione 09 mantiene un valore di BLs simile al 2012, mentre la stazione 10, che nelle due precedenti campagne di monitoraggio era quella con la BLs più elevata nella ZSC, ha subito una rilevante diminuzione.

Occorre evidenziare che nella stazione 10 si è constatato uno stato di deperimento sia negli alberi campionati (v. Paragrafo 2.2.4) sia nei talli lichenici delle specie di Xanthorion (v. Paragrafo 2.3.1). Infine, in entrambe le stazioni di controllo si riscontrano i valori di BLs più elevati in assoluto;

- 2016: la situazione è sostanzialmente invariata rispetto alla precedente campagna di monitoraggio. La stazione 05 nella ZSC ha raggiunto un valore di BLs equiparabile a quella della stazione di controllo 11. La stazione con il valore più basso non è più la 02, ma la 06;
- 2018: è la stazione 04 a mostrare il valore più basso, di poco inferiore a quello della 06. Nella ZSC il valore più elevato è stato registrato ancora per la stazione 05, che ha pure superato il valore di BLs della stazione di controllo 12;
- 2020: la stazione 06 presenta il valore più basso, leggermente inferiore a quello della 01. Nel complesso, i valori di BLs nella ZSC si sono nel complesso uniformati, con 7 stazioni su 10 che presentano valori compresi nell'intervallo 30.1-40.0. Il valore più elevato tra quelli nella ZSC è esibito ancora dalla stazione 05. Il valore BLs di questa stazione è leggermente inferiore a quello della stazione di controllo 12, che quindi presenta in assoluto il valore più elevato.

Per quanto concerne le variazioni tra le campagne di monitoraggio:

- tra 2010 e 2012: nelle stazioni della ZSC si è registrato un generale incremento del valore di BLs. Le stazioni con gli incrementi più elevati sono state la 08 e la 09, per le quali sono state rilevati aumenti maggiori di 10 unità. Nelle stazioni di controllo (11 e 12) l'incremento medio è stato pari a 6.5 unità, di poco superiore a quello rilevato nelle stazioni della ZSC (mediamente pari a 6.3 unità); tralasciando la stazione 10, l'unica per la quale si è riscontrata una diminuzione nel 2012, le stazioni nella ZSC hanno invece registrato mediamente un incremento superiore (7.5 unità) a quello delle stazioni di controllo (6.5 unità);
- tra 2012 e 2014: si è registrato ancora un aumento complessivo dei valori di BLs nelle stazioni della ZSC, mediamente pari a 2.0 unità. Tuttavia la BLs è diminuita nella stazione 09 e soprattutto nella stazione 10. Senza queste rilevanti diminuzioni, il valore medio di incremento per le stazioni della ZSC sarebbe stato di 5.4 unità, un valore simile a quello riscontrato nelle stazioni di controllo (pari a 5.9 unità);
- tra 2014 e 2016: i valori di BLs nella ZSC non sono complessivamente variati; per la precisione sono diminuiti mediamente di 0.1, quindi un valore prossimo allo zero. Tuttavia una forte diminuzione è stata riscontrata per la stazione 01 e soprattutto per la 09. Un discreto incremento è invece ravvisabile per le stazioni 02 e 10. Nelle stazioni di controllo il valore di BLs è complessivamente calato di 3.4 unità; a questa diminuzione, ha contribuito soprattutto la stazione 12;
- tra 2016 e 2018: si è assistito ad un generale aumento dei valori nella ZSC (pari a 2.5 unità), con l'evidente eccezione della stazione 04 dove si è riscontrata una cospicua diminuzione. Una complessiva riduzione si è verificata nelle stazioni di controllo (pari a -3.2 unità), a causa di un notevole abbassamento nei valori della stazione 11;
- tra 2018 e 2020: i valori di BLs nella ZSC sono tutti diminuiti, con le uniche eccezioni delle stazioni 02 e 04, in cui sono invece decisamente aumentati. Una marcata diminuzione si è registrata soprattutto nella stazione 09 e quindi nelle

05, 03 e 07. Nella stazione di controllo 12 il valore di BLs è di poco diminuito, mentre è invece aumentato nella 11.

Tra il 2010 e il 2014, l'unica stazione in cui si è registrata una ripetuta diminuzione è quindi la stazione 10. Come in precedenza evidenziato (v. Paragrafo 2.2.4), l'albero 10c è stato sostituito con il 10d. Tuttavia le variazioni nel valore di BLs non sono attribuibili a questa sostituzione, ma a una riduzione nel valore di BLa dell'albero b (v. Tabella 3). Questa riduzione è di fatto riconducibile alla sola diminuzione della presenza di *Physcia gr. adscendes* (cfr. Appendice 4.2.1 e Appendice 4.2.2 per l'albero 10b), probabilmente per mutamenti nelle condizioni microecologiche a seguito degli interventi forestali attuati in situ (v. Paragrafo 2.2.4). Nel 2014 l'ulteriore riduzione della BLs è da imputarsi, oltre che alla pressoché totale scomparsa di *Physcia gr. adscendes* nella stazione (Appendice 4.3.3), anche alla forte riduzione di *Candelaria concolor*, presente ancora sugli alberi campionati ma con evidenti fenomeni di decolorazione o persino deterioramento del tallo.

Una spiegazione simile può essere ipotizzata anche per il decremento riscontrato nella stazione 09 nel 2014. Di fatto, l'andamento negativo nei valori di BLs è stato ancor più pronunciato nel 2016, in questo caso con una forte riduzione nelle frequenze di *Candelaria concolor* e subordinatamente di *Candelariella reflexa*.

In generale, nelle stazioni della ZSC si è però riscontrato un generale e continuo incremento nei valori di BLs dall'ante operam. In assoluto, quella con l'incremento maggiore tra il 2010 e il 2020 è stata la 02 (incremento totale di 23.6), seguita dalla 05 (23.0) e dalla 08 (16.3). Le uniche due stazioni in cui si è registrata una diminuzione sono state la 09 (-6.0) e soprattutto la 10 (-16.6). La stazione 10 è, come in precedenza accennato, quella che ha subito il maggior numero di sostituzioni negli alberi campionati e soprattutto una forte variazione nelle condizioni della vegetazione in cui gli alberi crescono (v. anche scheda 10 nell'Appendice 4.1).

L'incremento medio per le stazioni nella ZSC è stato di 8.6 unità, leggermente superiore a quello delle stazioni di controllo in cui è stato di 7.0 unità.

2.3.2.1.2. Analisi distributiva

La distribuzione nelle UCS dei valori di BLs è mostrata nella Figura 13.

Nelle prime due campagne di monitoraggio i valori più elevati di BLs si riscontrano soprattutto nella zona orientale della ZSC. I valori più bassi sono invece distribuiti prevalentemente nella zona occidentale, cioè quelle più lontane dallo stabilimento.

Dal 2014 si riscontrano bassi valori anche lungo la rupe del Sasso Poiano, in particolare per le stazioni 03 e 10. In questa zona la tendenza negativa continua anche nel 2016, così che soltanto le stazioni poste più a nord nella ZSC risultano essere quelle con i valori di BLs più elevati. Lungo la rupe di Sasso Poiano il valore di BLs più elevato si riscontra nella stazione 08, l'unica delle quattro in questa zona ad avere un incremento positivo costante tra due consecutive campagne di monitoraggio. Anche nel 2016 le stazioni di controllo si confermano simili per quanto riguarda i valori di BLs.

Nel 2018 tutte le stazioni lungo la rupe di Sasso Poiano tornano su valori relativamente elevati, mentre la stazione 04, situata a nord nella ZSC, subisce un'importante diminuzione. Nella ZSC le stazioni con i valori più bassi sono ancora quelle situate nella zona occidentale, cioè quelle più lontane dallo stabilimento.

Come in precedenza osservato, i valori di BLs nella ZSC si sono livellati nel 2020. Le stazioni con i valori più bassi permangono nella zona occidentale, ma unicamente per le stazioni 01 e 06.

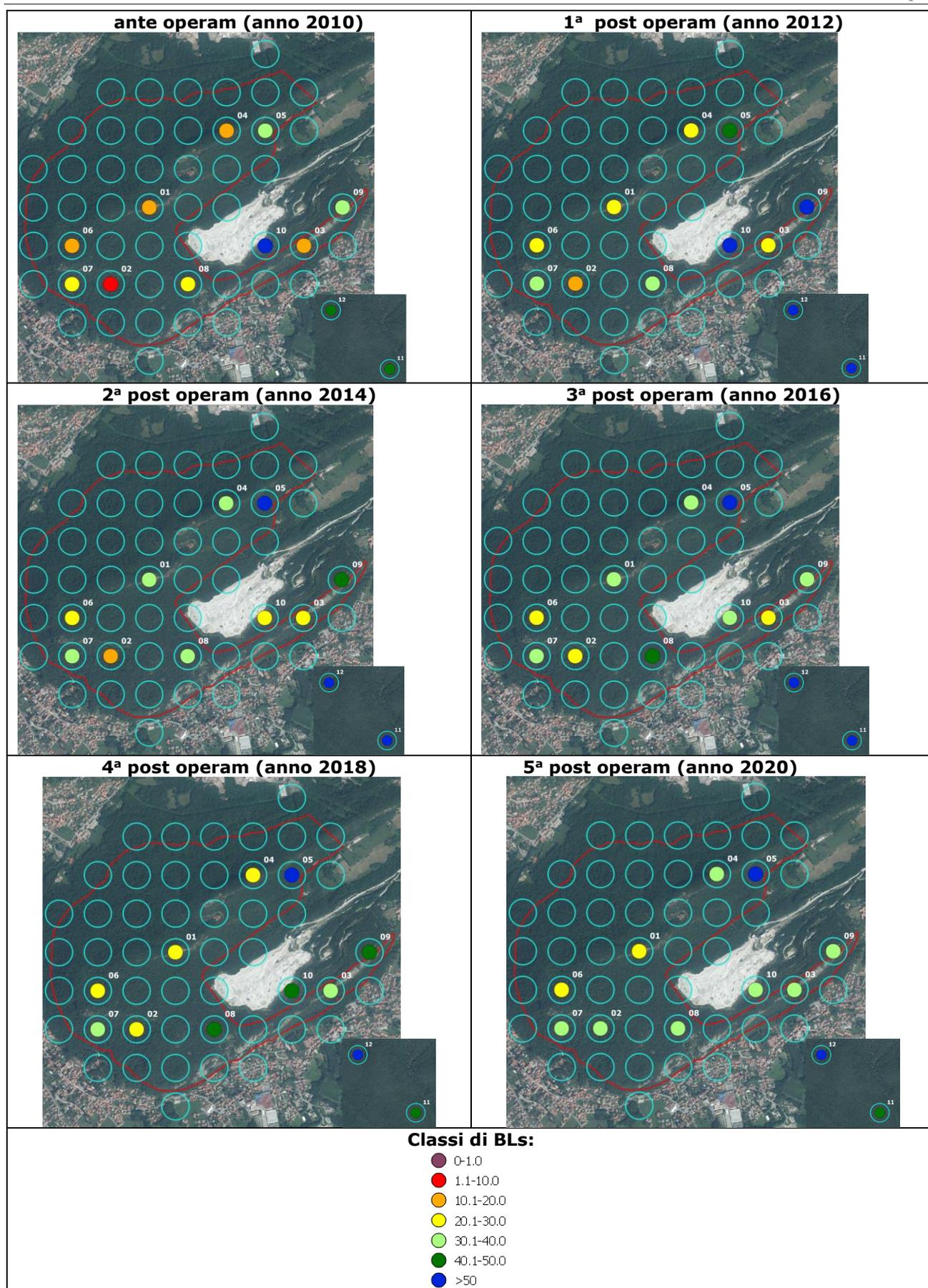


Figura 13. Distribuzione dei valori di BLs nelle UCS (cerchi azzurri); viene riportato anche il confine della ZSC (linea rossa). Nel ritaglio in basso a destra, sono invece rappresentate le UCS delle stazioni di controllo (base cartografica: ortofoto 2012, da Geoportale Cartografico Nazionale).

2.3.2.1.3. Analisi statistica

La Figura 14 mostra la distribuzione dei valori di BLa suddivisi per ubicazione e per anno di monitoraggio.

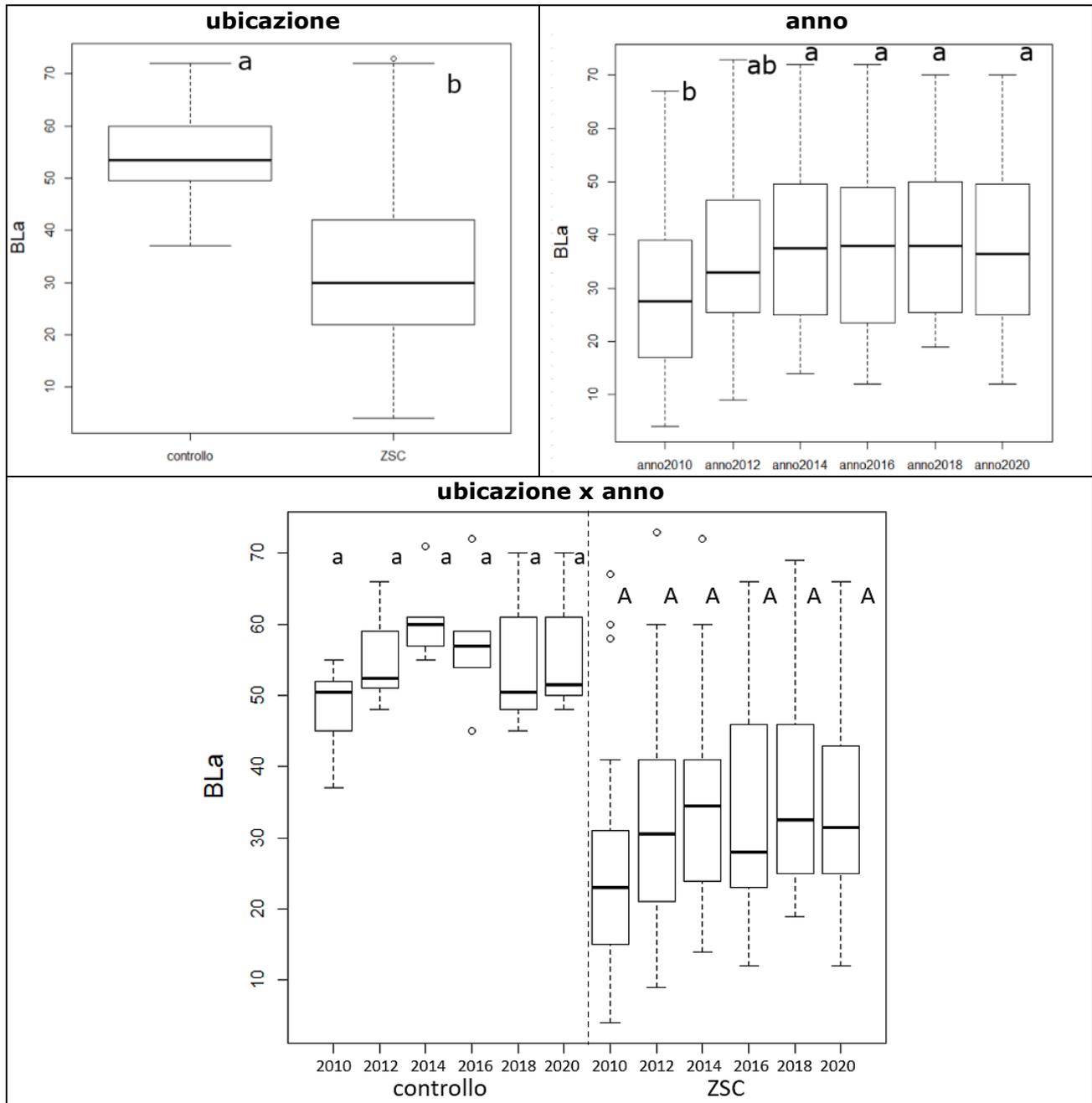


Figura 14. Distribuzione dei valori di BLa suddivisi per ubicazione (ZSC e stazioni di controllo esterne alla ZSC) e per anno di monitoraggio (ante operam: 2010; post operam: 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020). A lettera diversa, corrisponde una differenza significativa al test post hoc ($p < 0.05$); nell'interazione tra ubicazione e anno (terzo grafico) sono stati considerati soltanto i contrast tra il post operam e gli ante operam in modo separato per le stazioni di controllo e per quelle della ZSC.

La Tabella 5 riassume le principali statistiche per i fattori analizzati.

Tabella 5. Principali statistiche riferite ai valori di BLa suddivisi per fattore analizzato.

Fattore	BLa			
	min	mediana	media	max
ubicazione:				
controllo	37	53.5	55.1	72
ZSC	4	30.0	32.8	73
anno:				
2010	4	27.5	29.5	67
2012	9	33	35.9	73
2014	14	37.5	38.5	72
2016	12	38	37.8	72
2018	19	38	39.4	70
2020	12	36.5	37.9	70
ubicazione x anno:				
controllo x 2010	37	50.5	48.3	55
controllo x 2012	48	52.5	54.8	66
controllo x 2014	55	60	60.7	71
controllo x 2016	45	57	57.3	72
controllo x 2018	45	50.5	54.2	70
controllo x 2020	48	51.5	55.3	70
ZSC x 2010	4	23	25.8	67
ZSC x 2012	9	30.5	32.1	73
ZSC x 2014	14	34.5	34.1	72
ZSC x 2016	12	28	33.9	66
ZSC x 2018	19	32.5	36.5	69
ZSC x 2020	12	31.5	34.4	66

Infine, la Tabella 6 riporta il risultato del test Anova sui dati ranghizzati di BLa.

Tabella 6. Test Anova sui valori di BLa ranghizzati.

Fattore	g.d.l.	F	p	
ubicazione	1,10	9.28	0.012	*
anno	5,194	4.70	<0.001	***
ubicazione * anno	5,194	0.55	0.736	ns

Il test Anova evidenzia come la variabilità nei dati di BLa è statisticamente attribuibile alla localizzazione delle stazioni e soprattutto all'anno di monitoraggio; l'interazione tra i due fattori non è invece risultata statisticamente significativa.

In dettaglio, prescindendo dalla campagna di monitoraggio le stazioni di controllo presentano valori di BLa statisticamente più elevati rispetto a quelli nelle stazioni della ZSC. Inoltre, si è verificato un incremento nei valori di BLa sia nelle stazioni della ZSC che in quelle di controllo. Questo incremento risulta però statisticamente significativo (v. test post hoc nella Figura 14) soltanto nel confronto tra i valori di BLa dell'ante operam (2010) e quelli delle ultime quattro campagne nel post operam, cioè a partire dal 2014.

2.3.2.2. Composizione delle comunità licheniche

Nella Tabella 7 e nella Tabella 8 sono rispettivamente riportate le frequenze, in termini di BLs, delle specie di Xanthorion e di quelle di Parmelion per le dodici stazioni campionate.

Tabella 7. Frequenza, in termini di BLs, delle specie di Xanthorion. Il colore arancione indica la prevalenza in termini di Bls delle specie di Xanthorion (v. Tabella 8 per confronto). Viene inoltre riportata la variazione numerica (in rosso se negativa, in verde se positiva) calcolata tra due campagne consecutive di monitoraggio e nell'ultima colonna tra la campagna ante operam e l'ultima post operam.

staz.	Xanthorion						Δ BLs					
	anno											
	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
01	15.0	22.0	30.3	23.7	23.3	20.7	+7.0	+8.3	-6.6	-0.4	-2.6	+5.7
02	1.7	3.7	8.0	13.7	12.0	12.3	+2.0	+4.3	+5.7	-1.7	+0.3	+10.6
03	17.3	22.7	25.0	26.0	31.0	26.3	+5.4	+2.3	+1.0	+5.0	-4.7	+9.0
04	1.3	2.7	3.3	3.3	4.7	5.3	+1.4	+0.6	0.0	+1.4	+0.6	+4.0
05	21.0	27.3	36.7	40.0	43.7	36.3	+6.3	+9.4	+3.3	+3.7	-7.4	+15.3
06	8.3	11.0	12.0	14.0	14.7	12.3	+2.7	+1.0	+2.0	+0.7	-2.4	+4.0
07	15.0	19.0	14.7	13.3	13.7	9.3	+4.0	-4.3	-1.4	+0.4	-4.4	-5.7
08	18.7	29.7	30.7	27.3	24.7	20.0	+11.0	+1.0	-3.4	-2.6	-4.7	+1.3
09	37.0	47.7	47.0	33.7	36.7	26.7	+10.7	-0.7	-13.3	+3.0	-10.0	-10.3
10	53.0	50.7	28.7	28.0	29.7	26.3	-2.3	-22.0	-0.7	+1.7	-3.4	-26.7
11	0.0	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	+1.0	-0.3	+0.3	-1.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabella 8. Frequenza, in termini di BLs, delle specie di Parmelion. Il colore verde indica la prevalenza in termini di Bls delle specie di Parmelion (v. Tabella 7 per confronto). Viene inoltre riportata la variazione numerica (in rosso se negativa, in verde se positiva) calcolata tra due campagne consecutive di monitoraggio e nell'ultima colonna tra la campagna ante operam e l'ultima post operam.

staz.	Parmelion						Δ BLs					
	anno											
	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
01	4.0	4.0	5.0	5.7	5.3	6.0	0.0	+1.0	+0.7	-0.4	+0.7	+2.0
02	1.0	1.3	3.3	2.0	3.0	3.7	+0.3	+2.0	-1.3	+1.0	+0.7	+2.7
03	0.7	1.0	0.7	0.3	3.3	3.7	+0.3	-0.3	-0.4	+3.0	+0.4	+3.0
04	11.7	12.0	17.0	18.3	14.3	19.3	+0.3	+5.0	+1.3	-4.0	+5.0	+7.6
05	9.7	10.3	13.3	14.3	17.3	19.3	+0.6	+3.0	+1.0	+3.0	+2.0	+9.6
06	0.7	1.7	1.0	1.7	3.0	4.0	+1.0	-0.7	+0.7	+1.3	+1.0	+3.3
07	5.3	5.3	8.3	8.0	10.0	9.7	0.0	+3.0	-0.3	+2.0	-0.3	+4.4
08	0.0	0.3	0.3	3.3	6.3	8.0	+0.3	0.0	+3.0	+3.0	+1.7	+8.0
09	1.3	2.7	2.0	3.3	4.0	5.7	+1.4	-0.7	+1.3	+0.7	+1.7	+4.4
10	0.0	0.3	0.0	6.7	9.3	10.3	+0.3	-0.3	+6.7	+2.6	+1.0	+10.3
11	24.7	26.7	26.7	26.0	24.3	24.3	+2.0	0.0	-0.7	-1.7	0.0	-0.4
12	31.0	33.3	39.3	34.0	36.3	37.7	+2.3	+6.0	-5.3	+2.3	+1.4	+6.7

Da tutte le campagne di monitoraggio sino al 2018 emerge come le specie di Xanthorion sono preponderanti nelle stazioni della ZSC, tranne che nella stazione 04 dove invece prevalgono quelle di Parmelion. La stazione 04 è situata in un'area boscata piuttosto isolata a monte di una rupe che è esposta verso Laveno. Tuttavia la vicina stazione 05 (v. Figura 13), posta in una situazione topografica simile, presenta una prevalenza di specie di Xanthorion; in antitesi, la quota di specie di Parmelion è simile tra le due stazioni.

Nel 2020 la stazione 07 presenta per la prima volta una prevalenza di specie di Parmelion su quelle di Xanthorion. Questa stazione è ubicata presso la balconata del Picuz, sopra l'abitato di Sangiano, ed è quindi la più lontana dallo stabilimento.

Tra il 2012 e il 2010 si riscontra un generale incremento delle specie di Xanthorion, tranne nella stazione 10 della ZSC, dove all'opposto è avvenuta una complessiva

diminuzione. Anche le specie di Parmelion nell'insieme aumentano, ma in termini assoluti in misura minore rispetto a quelle di Xanthorion.

Nel 2014 la situazione è più complessa rispetto a quanto riscontrato nella precedente campagna di monitoraggio. In generale, le specie di Xanthorion aumentano in tutte le stazioni, tranne alcune. In particolare diminuiscono nella stazione 10, l'unica in cui erano già diminuite tra il 2010 e il 2012. Anche le specie di Parmelion aumentano in tutte le stazioni, tranne che in alcune. L'entità delle variazioni è comunque più contenuta rispetto a quello delle specie di Xanthorion.

Nel 2016 la situazione è complessivamente simile a quella riscontrata nel 2012, anche se a livello di singola stazione si hanno importanti decrementi nella presenza di specie di Xanthorion. Occorre comunque rilevare la diminuzione delle specie di Parmelion in entrambe le stazioni di controllo.

Nel 2018 le specie di Xanthorion aumentano complessivamente nelle stazioni della ZSC, anche se in alcune stazioni si riscontra una diminuzione. Le specie di Parmelion aumentano praticamente in tutte le stazioni, ad eccezione della stazione 04 dove si riscontra una importante riduzione.

Nel 2020 si riscontra invece una generale diminuzione, talvolta anche molto consistente (stazione 09), delle specie di Xanthorion nella ZSC. Soltanto nelle stazioni 02 e 04 si riscontra una tenuta della presenza di queste specie. In antitesi, le specie di Parmelion in tutte le stazioni della ZSC sono aumentate, anche in modo relativamente cospicuo (stazione 04). L'unica eccezione è costituita dalla stazione 07, in cui le specie di Parmelion sono rimaste praticamente invariate. È da notare che in questa stazione la relativa maggiore diminuzione delle specie di Xanthorion ha determinato che queste sono divenute in minoranza rispetto a quelle di Parmelion.

Tra il 2010 (ante operam) e il 2020 (post operam), nella ZSC si assiste a un incremento della presenza delle specie di Parmelion. Anche per quelle di Xanthorion si riscontra una prevalenza di stazioni in cui si è verificato un incremento, sebbene in tre (07, 09 e 10) si sia invece riscontrata una forte diminuzione.

Nelle stazioni di controllo le specie di Xanthorion erano assenti durante la prima campagna di monitoraggio (2010). In queste stazioni le specie di Parmelion assumono sempre un ruolo preponderante nella composizione della comunità lichenica. Tuttavia nel 2012 si è riscontrata la presenza di specie di Xanthorion nella stazione 11. In questa stazione (v. Appendice 4.2.2) è stata infatti riscontrata per la prima volta la presenza di *Candelariella reflexa* che, come evidenziato in precedenza (v. Paragrafo 2.3.1), è la specie lichenica che ha mostrato il maggior incremento in tutte le stazioni analizzate nel 2012. Tuttavia nel 2018 non è stato più possibile accertarne la presenza, che era però già diminuita nel 2016.

Tra il 2010 (ante operam) e il 2020 (post operam), nelle stazioni di controllo non si riscontra una effettiva presenza di specie di Xanthorion, mentre quelle di Parmelion sono aumentate (12) o praticamente rimaste invariate (11).

La Figura 15 mostra la distribuzione dei valori di BLa riferibili alle specie di Xanthorion, suddivise per ubicazione e per anno di monitoraggio.

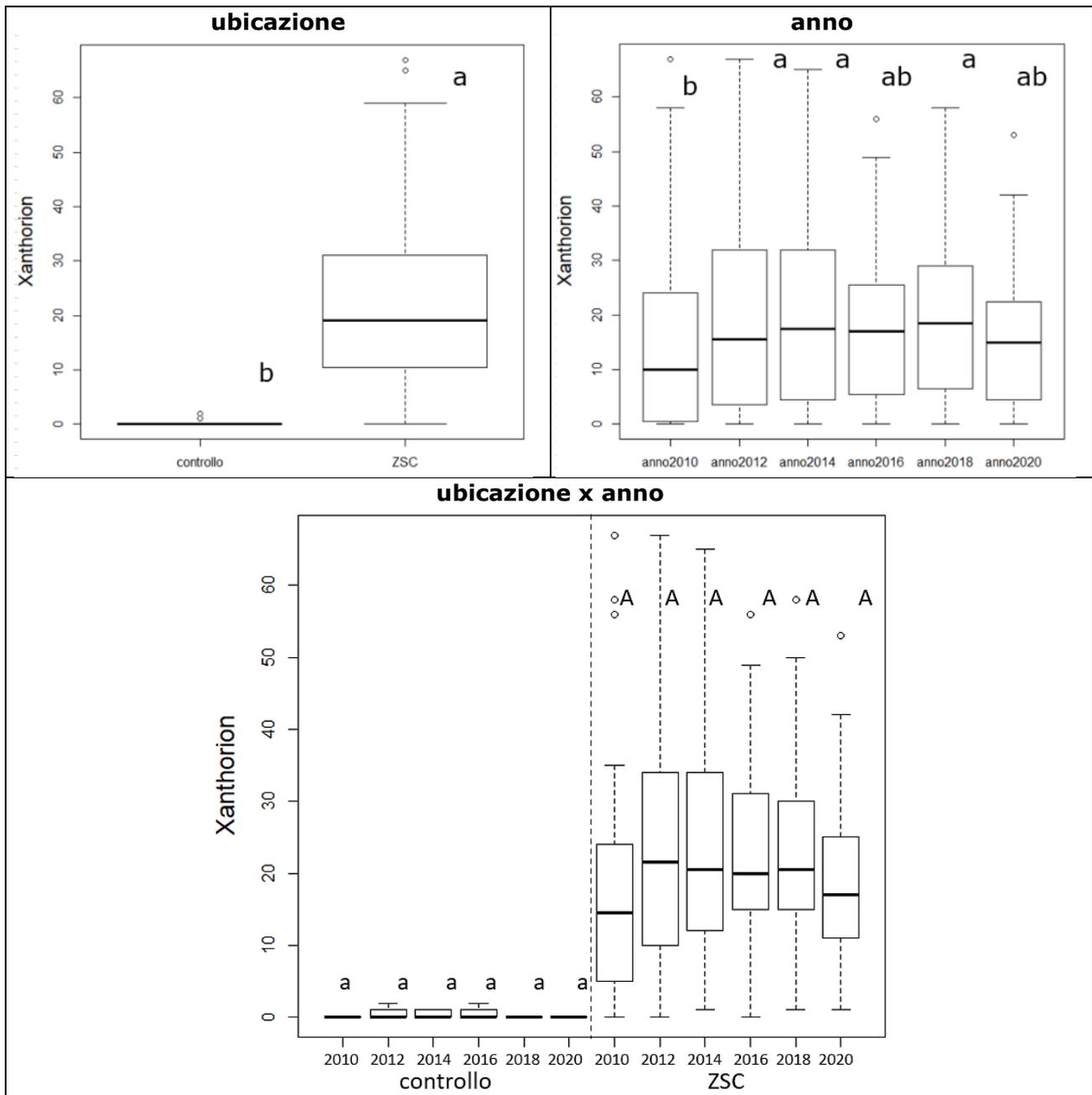


Figura 15. Distribuzione dei valori di BLa riferiti alle specie di Xanthorion. I valori sono suddivisi per ubicazione (ZSC e stazioni di controllo esterne alla ZSC) e per anno di monitoraggio (ante operam: 2010; post operam: 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020). A lettera diversa, corrisponde una differenza significativa al test post hoc ($p < 0.05$).

La Tabella 9 riassume le principali statistiche per i valori di BLa delle specie di Xanthorion rispetto ai fattori analizzati, mentre la Tabella 10 riporta il risultato del test Anova sui valori ranghizzati di BLa riferiti alle specie di Xanthorion.

Il risultato del test Anova rileva che la variabilità nei dati è attribuibile statisticamente alla localizzazione delle stazioni. In altre parole, le stazioni nella ZSC presentano valori di BLa riferiti a specie di Xanthorion più elevati rispetto a quelle di controllo, sia nell'ante operam che nel post operam. Anche il fattore anno è risultato statisticamente significativo, evidenziando come in tre campagne non consecutive del post operam (2012, 2014 e 2018) la frequenza di specie di Xanthorion è risultata maggiore rispetto all'ante operam (2010). Occorre quindi evidenziare come nelle altre due campagne del post operam (2016 e anche nell'ultima, 2020) le specie di Xanthorion abbiano un

contributo in termini di BLa statisticamente non differente da quello dell'ante operam (2010). L'interazione tra ubicazione e anno di monitoraggio non è risultata statisticamente significativa, indicando una sostanziale mancanza di differenze tra quanto riscontrato nella ZSC e nelle stazioni di controllo.

Tabella 9. Principali statistiche riferite ai valori di BLa riferiti alle specie di Xanthorion, suddivisi per fattore analizzato.

Fattore	Xanthorion			
	min	mediana	media	max
ubicazione:				
controllo	0	0	0.22	2
ZSC	0	19	21.9	67
anno:				
2010	0	10	15.7	67
2012	0	15.5	19.8	67
2014	0	17.5	19.8	65
2016	0	17	18.7	56
2018	0	18.5	19.5	58
2020	0	15	16.3	53
ubicazione x anno:				
controllo x 2010	0	0	0	0
controllo x 2012	0	0	0.5	2
controllo x 2014	0	0	0.3	1
controllo x 2016	0	0	0.5	2
controllo x 2018	0	0	0	0
controllo x 2020	0	0	0	0
ZSC x 2010	0	14.5	18.8	67
ZSC x 2012	0	21.5	23.6	67
ZSC x 2014	1	20.5	23.6	65
ZSC x 2016	0	20	22.3	56
ZSC x 2018	1	20.5	23.4	58
ZSC x 2020	1	17	19.6	53

Tabella 10. Test Anova sui valori ranghizzati di BLa riferibili alle specie di Xanthorion.

Fattore	g.d.l.	F	p	
ubicazione	1,10	8.08	0.018	*
anno	5,194	2.63	0.025	*
ubicazione * anno	5,194	1.35	0.245	ns

La Figura 16 mostra la distribuzione dei valori di BLa riferibili alle specie di Parmelion, suddivise per ubicazione e per anno di monitoraggio.

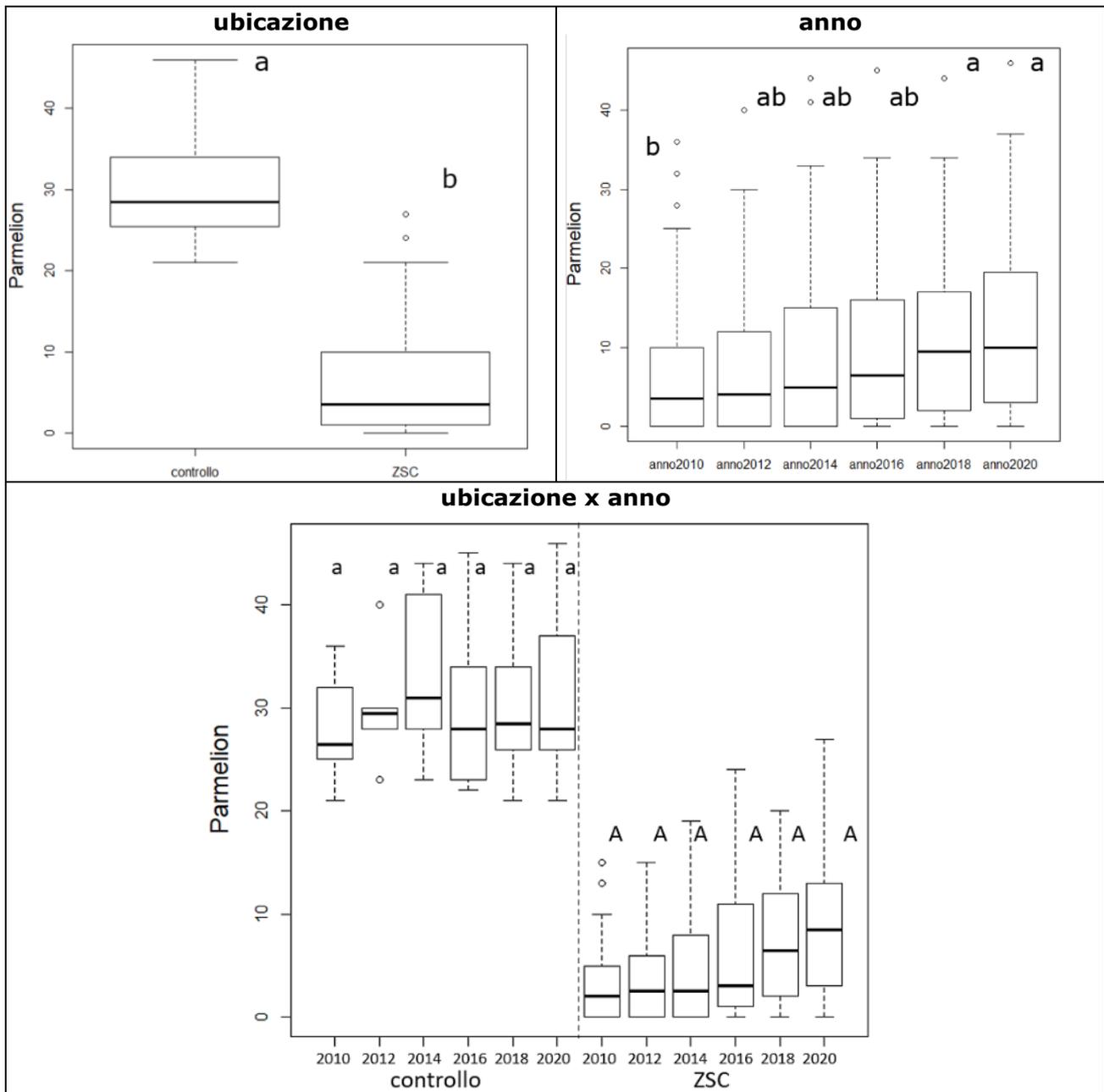


Figura 16. Distribuzione dei valori di BLa riferiti alle specie di Parmelion. I valori sono suddivisi per ubicazione (ZSC e stazioni di controllo esterne alla ZSC) e per anno di monitoraggio (ante operam: 2010; post operam: 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020). A lettera diversa, corrisponde una differenza significativa al test post hoc ($p < 0.05$).

La Tabella 11 riassume le principali statistiche per i valori di BLa delle specie di Parmelion rispetto ai fattori analizzati, mentre la Tabella 12 riporta il risultato del test Anova sui valori ranghizzati di BLa riferiti alle specie di Parmelion.

Il risultato del test Anova rileva che il fattore ubicazione è significativo. In altre parole, le stazioni nella ZSC presentano valori di BLa riferibili a specie di Parmelion più bassi rispetto a quelle di controllo, sia nell'ante operam che nel post operam. Anche il fattore anno è risultato statisticamente significativo: sulla base dei test post-hoc, nell'anno 2018 e quindi nel 2020 sono stati rilevati valori più elevati di queste specie rispetto a quelli nell'ante operam (2010). Di conseguenza si riscontra una variazione statisticamente significativa delle specie di Parmelion tra ante operam e post operam, a prescindere

dall'ubicazione delle stazioni, in quanto l'interazione tra i fattori non è risultata statisticamente significativa.

Tabella 11. Principali statistiche riferite ai valori di BLa riferiti alle specie di Parmelion, suddivisi per fattore analizzato.

Fattore	Parmelion			
	min	mediana	media	max
ubicazione:				
controllo	21	28.5	30.4	46
ZSC	0	3.5	5.9	27
anno:				
2010	0	3.5	7.5	36
2012	0	4	8.3	40
2014	0	5	9.8	44
2016	0	6.5	10.3	45
2018	0	9.5	11.4	44
2020	0	10	12.6	46
ubicazione x anno:				
controllo x 2010	21	26.5	27.8	36
controllo x 2012	23	29.5	30.0	40
controllo x 2014	23	31	33.0	44
controllo x 2016	22	28	30.0	45
controllo x 2018	21	28.5	30.3	44
controllo x 2020	21	28	31.0	46
ZSC x 2010	0	2	3.4	15
ZSC x 2012	0	2.5	3.9	15
ZSC x 2014	0	2.5	5.1	19
ZSC x 2016	0	3	6.4	24
ZSC x 2018	0	6.5	7.6	20
ZSC x 2020	0	8.5	9.0	27

Tabella 12. Test Anova sui valori ranghizzati di BLa riferibili alle specie di Parmelion.

Fattore	g.d.l.	F	p	
ubicazione	1,10	12.39	0.006	**
anno	5,194	7.68	<0.001	***
ubicazione * anno	5,194	1.55	0.177	ns

2.3.2.3. Indice di nitrofilia

La riporta Tabella 13 i valori dell'indice di nitrofilia per le tutte le stazioni analizzate in relazione all'anno di monitoraggio, mentre la Figura 17 mostra la distribuzione di questi valori dell'indice di nitrofilia nell'area di studio.

Nel 2010 la maggior parte delle stazioni nella ZSC presentano un livello indicativo di eutrofizzazione da debole a forte (intervallo 2.76-4.25), con i valori più elevati riportati per le stazioni (03, 09 e 10) situate lungo la rupe di Sasso Poiano (Figura 17). Valori relativamente elevati per questo indice sono stati calcolati anche per le stazioni più prossime al fronte della miniera (01, 05 e 08), ma con l'eccezione significativa della stazione 04. In antitesi, le stazioni di controllo mostrano i valori dell'indice di nitrofilia più bassi.

Nel 2012 la situazione complessiva rimane immutata rispetto a quanto rilevato nel 2010, quantunque si evidenzia un generale modesto incremento dell'indice di nitrofilia. Nelle stazioni localizzate nella ZSC si riscontra infatti un incremento medio di 0.09 punti,

mentre in quelle di controllo di 0.04. Le stazioni in cui si è riscontrato un maggior aumento dell'indice sono state la 02 e la 08, entrambe localizzate nella parte sud-occidentale della ZSC.

Tabella 13. Valori dell'indice di nitrofilia per tutte le stazioni analizzate in relazione all'anno di monitoraggio. Viene inoltre riportata la variazione numerica (in rosso se negativa, in verde se positiva) calcolata tra due campagne consecutive di monitoraggio e nell'ultima colonna tra la campagna ante operam e l'ultima post operam.

staz.	anno						Δ indice di nitrofilia					
	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
01	3.84	3.93	3.92	3.54	3.33	3.81	+0.09	-0.01	-0.38	-0.21	+0.48	-0.03
02	2.23	2.62	2.65	2.85	2.64	2.71	+0.39	+0.03	+0.20	-0.21	+0.07	+0.48
03	3.98	3.97	4.06	3.97	3.66	3.77	-0.01	+0.09	-0.09	-0.31	+0.11	-0.21
04	1.75	1.86	1.86	1.99	2.31	2.02	+0.11	0.00	+0.13	+0.32	-0.29	+0.27
05	3.35	3.39	3.41	3.21	3.25	3.32	+0.04	+0.02	-0.20	+0.04	+0.07	-0.03
06	3.28	3.13	3.17	3.10	3.19	2.99	-0.15	+0.04	-0.07	+0.09	-0.20	-0.29
07	3.13	3.17	2.82	2.70	2.71	2.47	+0.04	-0.35	-0.12	+0.01	-0.24	-0.66
08	3.31	3.68	3.69	3.11	3.14	3.07	+0.37	+0.01	-0.58	+0.03	-0.07	-0.24
09	4.09	4.02	4.06	3.97	3.85	3.80	-0.07	+0.04	-0.09	-0.12	-0.05	-0.29
10	4.01	4.12	4.26	3.79	3.58	3.41	+0.11	+0.14	-0.47	-0.21	-0.17	-0.60
11	1.49	1.58	1.56	1.66	1.53	1.48	+0.09	-0.02	+0.10	-0.13	-0.05	-0.01
12	1.67	1.65	1.68	1.66	1.67	1.67	-0.02	+0.03	-0.02	+0.01	0.00	0.00

Legenda colori:

	1.00-1.25	eutrofizzazione assente
	1.26-1.75	eutrofizzazione da assente a molto debole
	1.76-2.25	eutrofizzazione molto debole
	2.26-2.75	eutrofizzazione da molto debole a debole
	2.76-3.25	eutrofizzazione debole
	3.26-3.75	eutrofizzazione da debole a forte
	3.76-4.25	eutrofizzazione forte
	4.26-4.75	eutrofizzazione da forte a molto forte
	4.76-5.00	eutrofizzazione molto forte

Nel 2014 la situazione è simile a quella riscontrata nel 2012; infatti, complessivamente la variazione media nelle stazioni della ZSC e in quelle di controllo è prossima a 0. È però rimarchevole che per la prima volta una stazione (10) presenta un valore che ricade nella fascia di indicazione del processo di eutrofizzazione da forte a molto forte. Questa stazione è inoltre quella che ha mostrato il maggior incremento dell'indice nel 2014. Nella stazione 07 si è invece riscontrato un deciso decremento. I valori più elevati si riscontrano ancora presso la rupe di Sasso Poiano.

Nel 2016 si riscontra un generale decremento dell'indice di nitrofilia nelle stazioni della ZSC, mediamente diminuito di 0.17. La maggiore diminuzione si è registrata per la stazione 08, nei pressi della rupe di Sasso Poiano. Le altre tre stazioni presso questa località presentano però ancora una volta i valori più elevati. Per la stazione 11 l'indice è aumentato, mentre è leggermente diminuito per l'altra stazione di controllo.

Nel 2018 la variazione media nelle stazioni della ZSC è stata di -0.06, con l'incremento maggiore calcolate per la stazione 04 e viceversa la diminuzione più importante per la 03. Le stazioni nella parte sud-orientale della ZSC sono ancora quelle con i valori più elevati, soprattutto quelle situate lungo il Sasso Poiano, dove però si è registrato una diminuzione nei valori assoluti.

Nel 2020 il trend osservato nel 2018 sembra quasi essersi capovolto, con un aumento per le stazioni che nella precedente campagna presentavano una diminuzione dell'indice di nitrofilia e viceversa. Le stazioni con i valori maggiori sono ancora quelle nella parte sud-orientale della ZSC, lungo il Sasso Poiano.

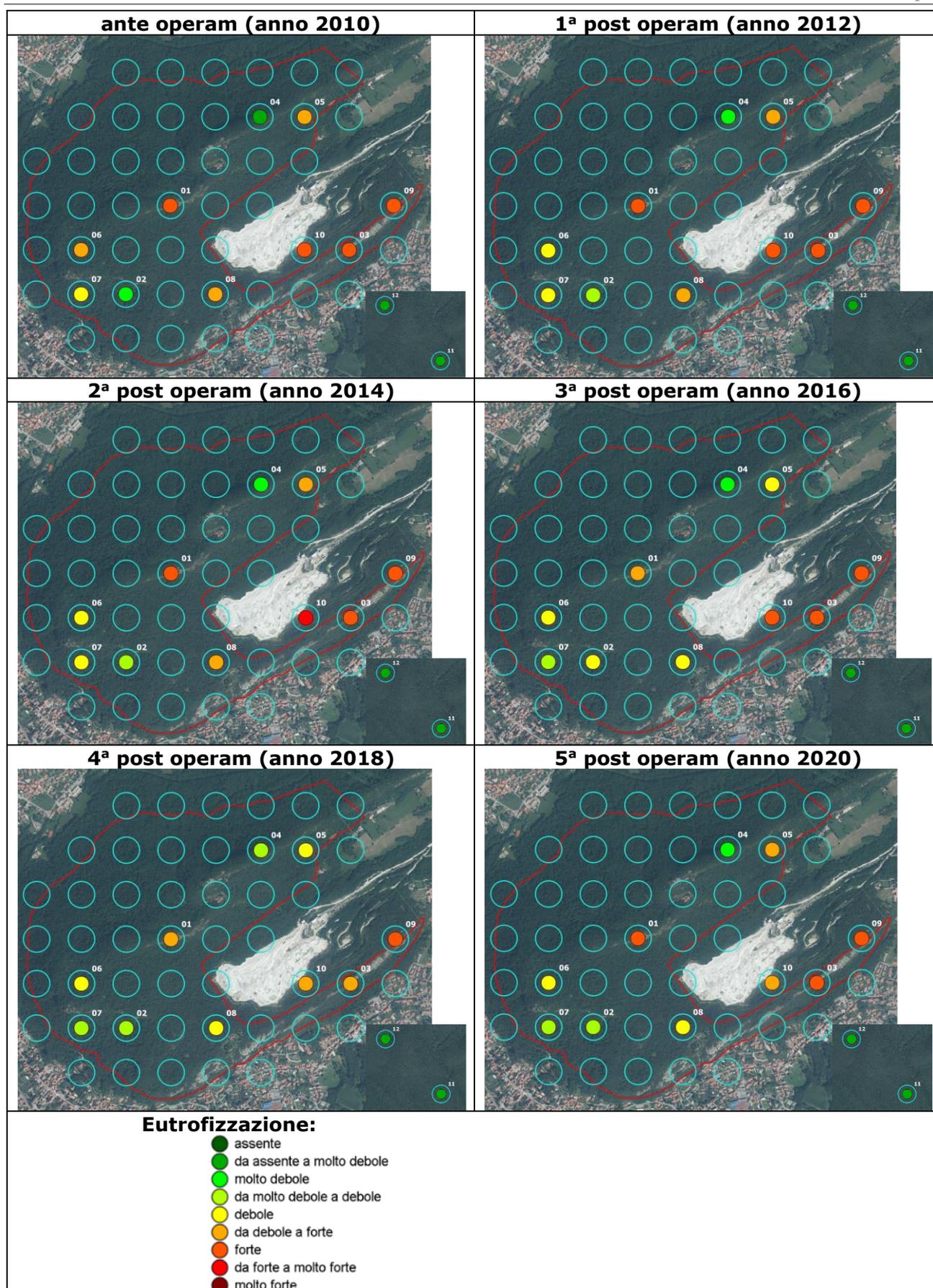


Figura 17. Distribuzione delle classi dell'indice di nitrofilia nelle UCS (cerchi azzurri); è riportato anche il confine del ZSC (linea rossa). Nelle mappe in basso a destra, sono riportate le UCS delle stazioni di controllo (base cartografica: ortofoto 2012, da Geoportale Cartografico Nazionale).

In generale, nella maggior parte delle stazioni si assiste a una diminuzione dell'indice di nitrofilia tra il 2010 (ante operam) e il 2020 (post operam). Tra le poche stazioni per cui non si riscontra questa diminuzione, si devono indicare due nella ZSC: la stazione 02 e la 04.

La Figura 18 mostra la distribuzione dei valori dell'indice di nitrofilia suddivisi per ubicazione e per anno di monitoraggio.

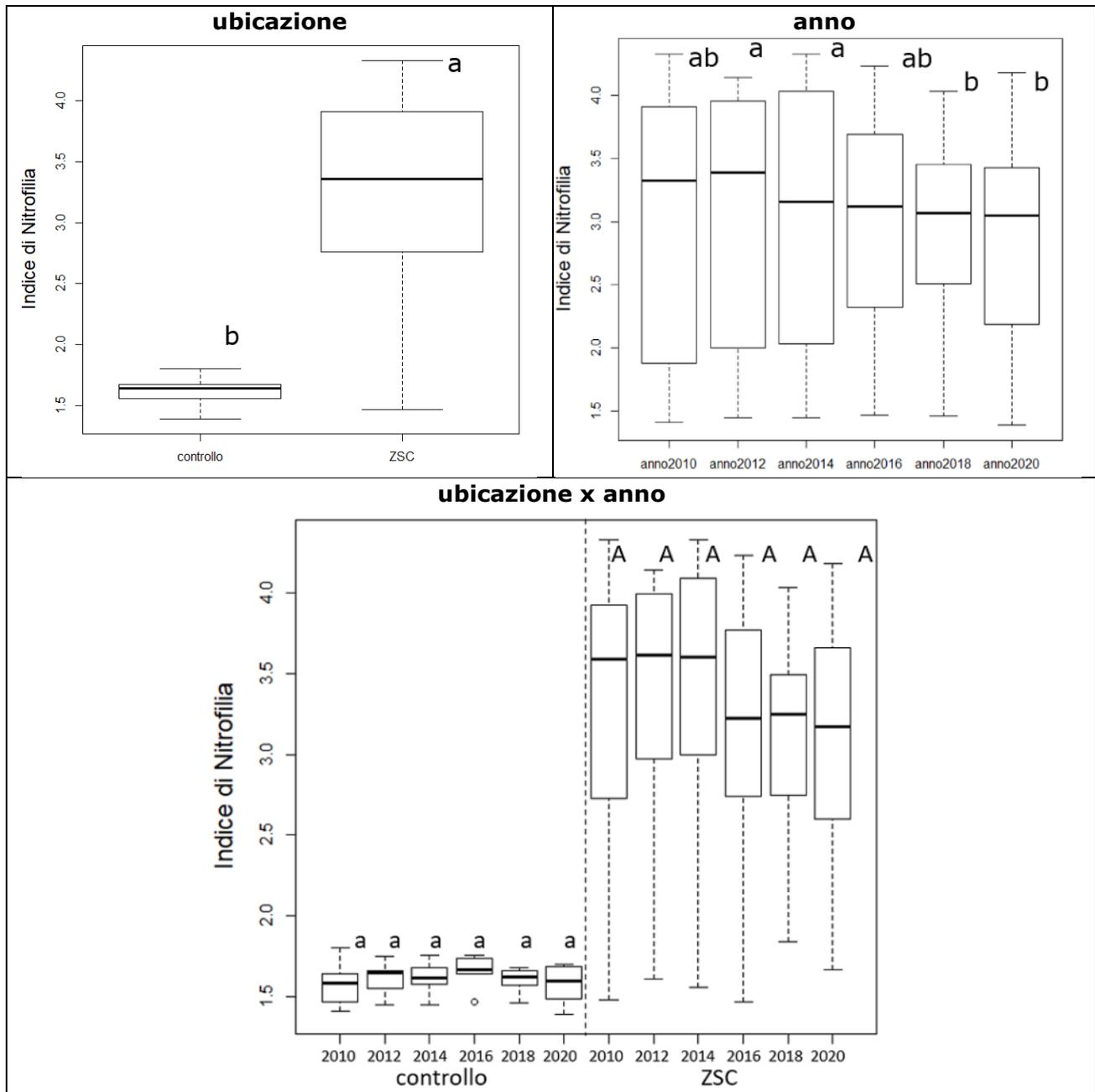


Figura 18. Distribuzione dei valori dell'indice di nitrofilia suddivisi per ubicazione (ZSC e stazioni di controllo esterne alla ZSC) e per anno di monitoraggio (ante operam: 2010; post operam: 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020). A lettera diversa, corrisponde una differenza significativa al test post hoc ($p < 0.05$).

La Tabella 14 riassume le principali statistiche per i fattori analizzati, mentre la Tabella 15 riporta il risultato del test Anova sui valori ranghizzati dell'indice di nitrofilia.

Il risultato del test Anova rileva che la variabilità nei valori dell'indice di nitrofilia è attribuibile statisticamente alla localizzazione delle stazioni. In altre parole, le stazioni nella ZSC presentano valori dell'indice più alti rispetto a quelle di controllo, a prescindere dall'anno di monitoraggio. Inoltre, il fattore anno è risultato altamente significativo: sulla base dei test post-hoc, nell'anno 2018 e quindi nel 2020 i valori dell'indice di nitrofilia sono risultati in generale più bassi, ma in modo statisticamente significativo soltanto rispetto a quelli calcolati nel 2012 e nel 2014; per nessuna campagna di monitoraggio post operam l'indice risulta statisticamente differente da quello calcolato per l'ante operam. Di conseguenza, si può affermare una sostanziale similarità nei valori dell'indice di nitrofilia con l'ante operam, anche a livello delle stazioni della ZSC (l'interazione tra i fattori non è infatti statisticamente significativa).

Tabella 14. Principali statistiche riferite all'indice di nitrofilia, suddivisi per fattore analizzato.

Fattore	Indice di nitrofilia			
	min	mediana	media	max
ubicazione:				
controllo	1.39	1.64	1.61	1.80
ZSC	1.47	3.36	3.27	4.33
anno:				
2010	1.41	3.325	3.01	4.33
2012	1.45	3.39	3.09	4.14
2014	1.45	3.16	3.10	4.33
2016	1.47	3.12	2.96	4.23
2018	1.46	3.065	2.91	4.03
2020	1.39	3.050	2.88	4.18
ubicazione x anno:				
controllo x 2010	1.41	1.585	1.58	1.80
controllo x 2012	1.45	1.65	1.62	1.75
controllo x 2014	1.45	1.615	1.62	1.76
controllo x 2016	1.47	1.66	1.66	1.76
controllo x 2018	1.46	1.62	1.60	1.68
controllo x 2020	1.39	1.60	1.58	1.70
ZSC x 2010	1.48	3.59	3.30	4.33
ZSC x 2012	1.61	3.615	3.39	4.14
ZSC x 2014	1.56	3.6	3.39	4.33
ZSC x 2016	1.47	3.22	3.22	4.23
ZSC x 2018	1.84	3.25	3.17	4.03
ZSC x 2020	1.67	3.17	3.14	4.18

Tabella 15. Test Anova sui valori ranghizzati dell'indice di nitrofilia.

Fattore	g.d.l.	F	p	
ubicazione	1,10	7.66	0.020	*
anno	5,194	5.29	<0.001	***
ubicazione * anno	5,194	1.87	0.102	ns

2.3.3. Analisi chimiche

2.3.3.1. Analisi delle cortecce

Le percentuali di azoto nelle cortecce per le 12 stazioni campionate sono riportate nella Tabella 16. Ciascun dato riportato è il valore medio delle analisi effettuate in ciascuna stazione (a sua volta calcolato sulla media delle tre analisi effettuate per ciascun albero, v. Appendice 4.3).

Tabella 16. Percentuali medie di azoto (N%) contenuto nei campioni di corteccia. Viene inoltre riportata la variazione numerica (in rosso se negativa, in verde se positiva) calcolata tra due campagne consecutive di monitoraggio e nell'ultima colonna tra la campagna ante operam e l'ultima post operam.

staz.	anno						Δ N%					
	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
01	1.15	1.25	1.24	1.16	1.06	1.07	+0.10	-0.01	-0.08	-0.10	+0.01	-0.08
02	1.26	1.35	1.37	1.13	1.28	1.32	+0.09	+0.02	-0.24	+0.15	+0.04	+0.06
03	1.29	1.30	1.13	1.05	1.15	1.18	+0.01	-0.17	-0.08	+0.10	+0.03	-0.11
04	1.07	1.07	1.25	0.90	1.10	1.11	0.00	+0.18	-0.35	+0.20	+0.01	+0.04
05	1.23	1.21	1.23	0.94	1.12	1.24	-0.02	+0.02	-0.29	+0.18	+0.12	+0.01
06	1.15	1.40	1.31	1.07	1.33	1.13	+0.25	-0.09	-0.24	+0.26	-0.20	-0.02
07	1.30	1.56	1.37	1.15	1.39	1.35	+0.26	-0.19	-0.22	+0.24	-0.04	+0.05
08	0.91	1.16	1.10	0.88	1.47	1.05	+0.25	-0.06	-0.22	+0.59	-0.42	+0.14
09	1.06	1.08	1.20	0.97	1.28	1.09	+0.02	+0.12	-0.23	+0.31	-0.19	+0.03
10	1.35	1.36	1.38	1.33	1.63	1.22	+0.01	+0.02	-0.05	+0.30	-0.41	-0.13
11	1.42	1.48	1.52	1.39	1.43	1.50	+0.06	+0.04	-0.13	+0.04	+0.07	+0.08
12	1.27	1.26	1.47	1.28	1.38	1.27	-0.01	+0.21	-0.19	+0.10	-0.11	0.00

Nel 2010 il valore medio più basso, che è anche l'unico sotto la soglia dell'1%, è stato riscontrato per la stazione 08. Le percentuali di azoto per le altre stazioni nella ZSC non superano 1.40%. Un gruppo di valori relativamente elevati si riscontra nella zona della balconata del Picuz, sopra l'abitato di Sangiano (stazioni 07, 06 e 02), e in subordine lungo la rupe del Sasso Poiano, a monte di Caravate (stazioni 10 e 03). Le zone poste più a nord nella ZSC presentano valori di azoto relativamente più bassi. Elevati valori percentuali si riscontrano per le stazioni di controllo (media 1.35%) rispetto a quelle nella ZSC (media 1.18%); infatti, la stazione 11 è quella che presenta la maggiore percentuale di azoto tra tutte quelle campionate.

Nel 2012 si rileva un generale incremento dei valori di azoto nelle cortecce. Questo aumento è maggiormente evidente nelle stazioni della ZSC (incremento medio pari a 0.10%) rispetto a quelle di controllo (0.03%). Le stazioni in cui si è registrato il maggior incremento sono la 06, 08 e 07, con quest'ultima presentante il valore massimo di azoto nella corteccia (1.56%). Queste tre stazioni sono tutte localizzate nella parte sud-ovest della ZSC (

Figura 19). Le uniche stazioni nella ZSC in cui non si è registrato un aumento sono la 04 e la 05: in entrambe le stazioni gli alberi sono localizzati sul versante nord di San Clemente. Tra le due stazioni di controllo si è registrato un incremento soltanto nella 11. Nel 2014 le variazioni nelle stazioni della ZSC sono sia in incremento che in decremento. Di fatto, la variazione media è di lieve entità e di segno negativo (-0.02%), differentemente da quanto si riscontra nelle stazioni di controllo dove invece l'incremento (+0.13%) è più consistente in termini assoluti. Le stazioni di controllo sono anche quelle in cui sono stati riscontrati i valori di azoto più elevati. Nella ZSC un particolare gruppo di valori in diminuzione si riscontra nella zona della balconata del Picuz.

Nel 2016 in tutte le stazioni si è verificata una diminuzione nei valori percentuali di azoto contenute nelle cortecce. La diminuzione media è stata simile tra le stazioni nella ZSC (-0.20%) e quelle di controllo (-0.16%). Le variazioni più consistenti hanno riguardato le stazioni 04 e 05, poste nella parte nord della ZSC.

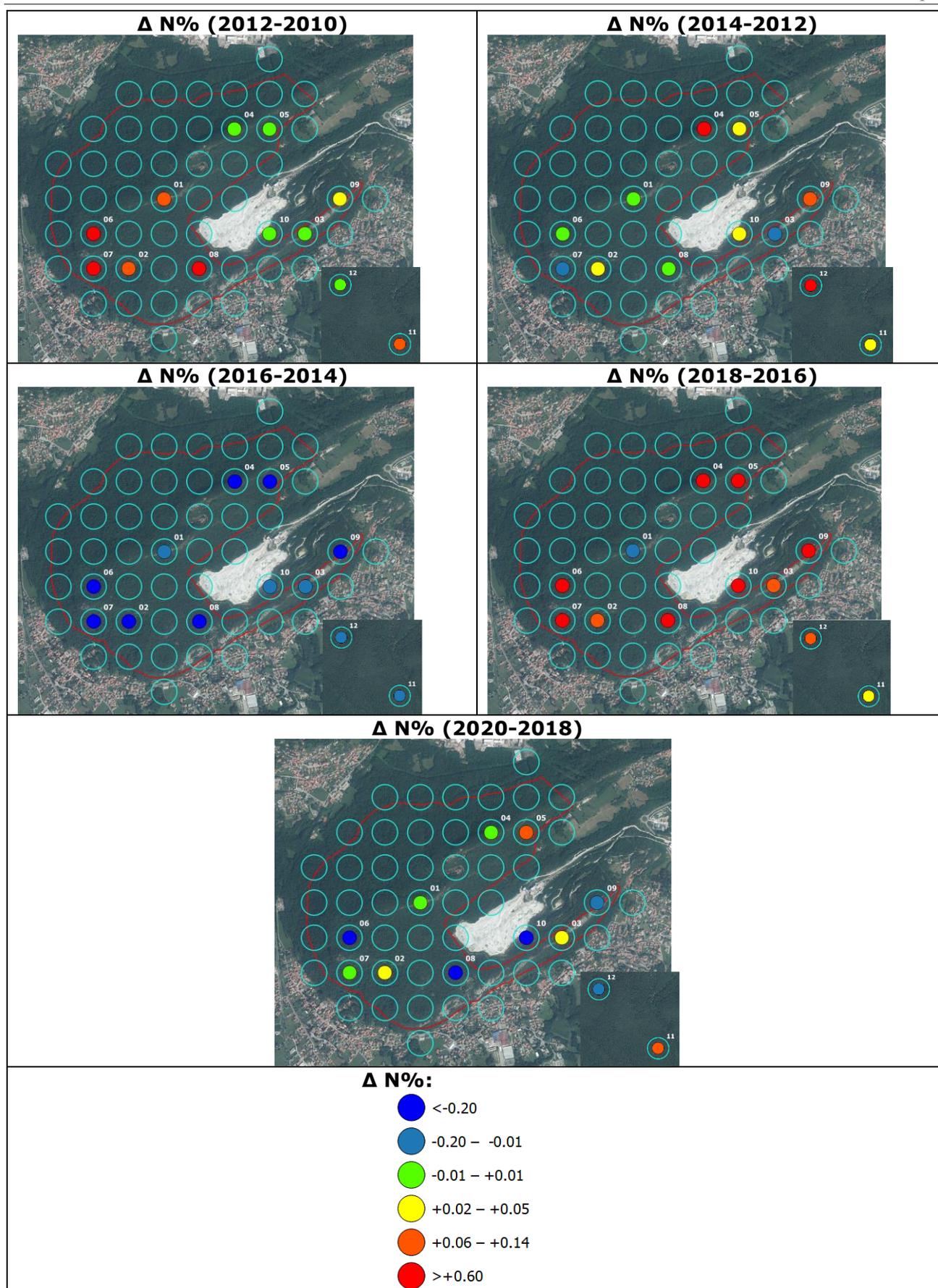


Figura 19. Distribuzione delle variazioni nei valori percentuali di azoto (N) contenute nelle cortecce delle UCS (cerchi blu); è riportato anche il confine della ZSC (linea rossa). Nella mappa in basso a destra, sono invece riportate le UCS delle stazioni di controllo (base cartografica: ortofoto 2012, da Geoportale Cartografico Nazionale).

Nel 2018 si è riscontrato un aumento sia nelle stazioni di controllo che in quelle della ZSC, ad eccezione della 01 in cui invece si è avuta una lieve diminuzione. Particolarmente elevato è stato l'aumento nella stazione 08, mentre il valore assoluto più alto è stato registrato per la 10. L'incremento nella ZSC è stato nel complesso maggiore (0.22%) rispetto a quanto misurato nei campioni delle stazioni di controllo (0.07%).

Nel 2020 in metà delle stazioni della ZSC si è riscontrato un aumento, seppure relativamente elevato soltanto nella stazione 05. Nell'altra metà, la diminuzione è stata consistente, tranne nella stazione 07 dove è stato contenuto. Nel complesso, la percentuale di azoto nelle cortecce è quindi diminuita (-0.11%) nella ZSC. Nelle stazioni di controllo, rispetto al 2018 i valori sono leggermente aumentati (11) o diminuiti (12).

Nel complesso, tra il 2010 (ante operam) e il 2020 (post operam) si è appurato un aumento nelle concentrazioni di azoto nelle cortecce in quasi tutte le stazioni della ZSC e in una sola di quelle di controllo (11).

La Figura 20 mostra la distribuzione delle percentuali di azoto nelle cortecce suddivise per ubicazione e per anno di monitoraggio.

La Tabella 17 riassume le principali statistiche per i fattori analizzati, mentre la Tabella 18 riporta il risultato del test Anova sulle percentuali ranghizzate di azoto nelle cortecce.

Il risultato di questo test rileva che la variabilità nei dati è attribuibile statisticamente al solo anno di monitoraggio. A prescindere dall'ubicazione della stazione, si evidenzia una significativa riduzione delle concentrazioni nel 2016 rispetto a quanto riscontrato negli altri monitoraggi del post operam (2012, 2014 e 2018), ad eccezione dell'ultimo (2020). Non esistono invece differenze statisticamente significative tra l'ante operam e tutte le campagne nel post operam. Anche l'interazione tra i fattori non è risultata statisticamente significativa.

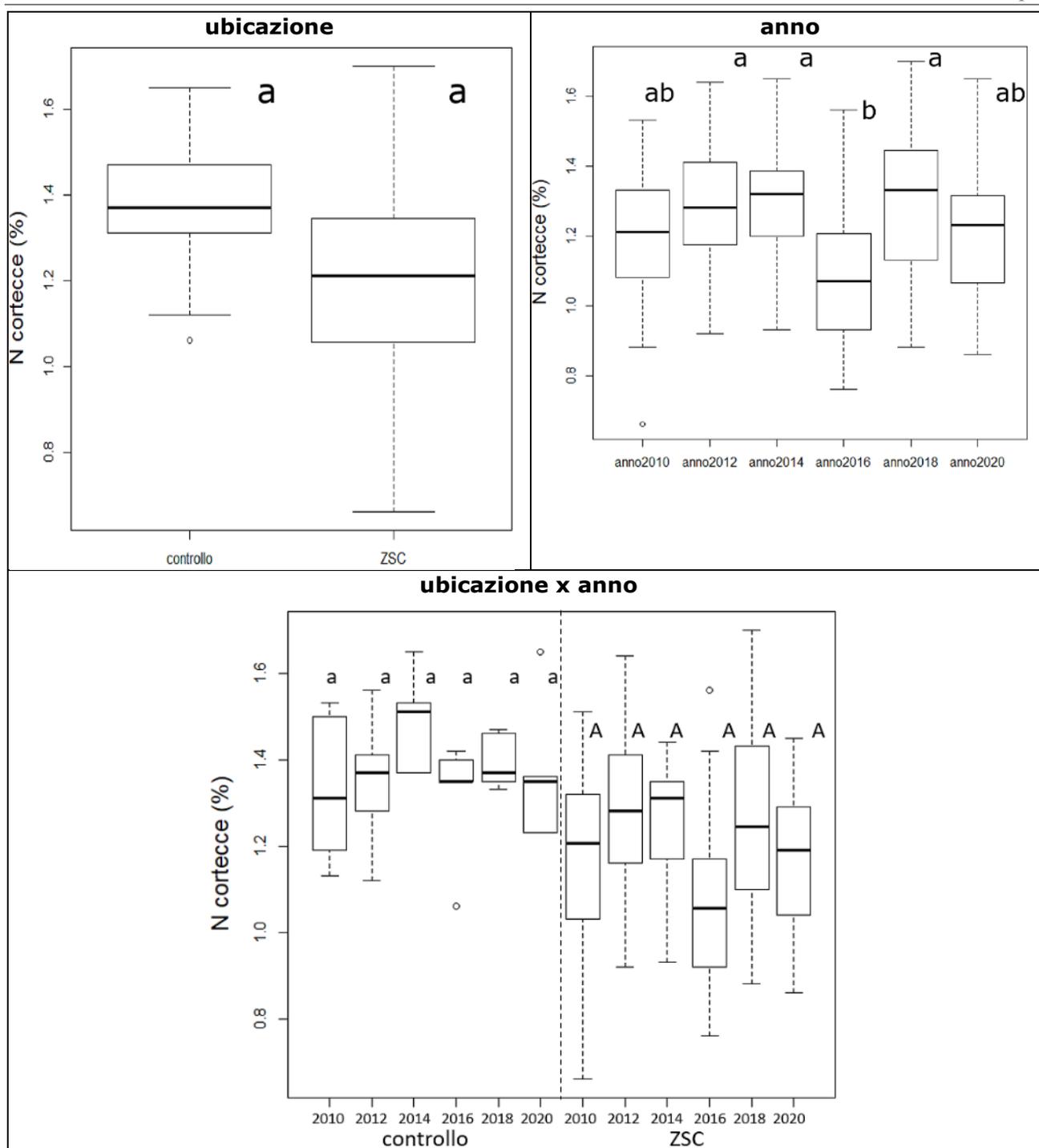


Figura 20. Distribuzione delle percentuali di azoto nelle cortecce, suddivise per ubicazione (ZSC e stazioni di controllo esterne alla ZSC) e per anno di monitoraggio (ante operam: 2010; post operam: 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020). A lettera diversa, corrisponde una differenza significativa al test post hoc ($p < 0.05$).

Tabella 17. Principali statistiche riferite alle percentuali di azoto nelle cortecce, suddivisi per fattore analizzato.

Fattore	N cortecce (%)			
	min	mediana	media	max
ubicazione:				
controllo	1.06	1.37	1.37	1.65
ZSC	0.66	1.21	1.20	1.70
anno:				
2010	0.66	1.21	1.20	1.53
2012	0.92	1.28	1.29	1.64
2014	0.93	1.32	1.29	1.65
2016	0.76	1.07	1.09	1.56
2018	0.88	1.33	1.30	1.70
2020	0.86	1.23	1.20	1.65
ubicazione x anno:				
controllo x 2010	1.13	1.31	1.33	1.53
controllo x 2012	1.12	1.37	1.35	1.56
controllo x 2014	1.37	1.51	1.49	1.65
controllo x 2016	1.06	1.35	1.32	1.42
controllo x 2018	1.33	1.37	1.40	1.47
controllo x 2020	1.23	1.35	1.6	1.65
ZSC x 2010	0.66	1.205	1.18	1.51
ZSC x 2012	0.92	1.28	1.27	1.64
ZSC x 2014	0.93	1.31	1.26	1.44
ZSC x 2016	0.76	1.055	1.06	1.56
ZSC x 2018	0.88	1.245	1.28	1.70
ZSC x 2020	0.86	1.19	1.18	1.45

Tabella 18. Test Anova sulle percentuali ranghizzate di azoto nelle cortecce.

Fattore	g.d.l.	F	p	
ubicazione	1,10	3.94	0.075	ns
anno	5,188	11.24	<0.001	***
ubicazione * anno	5,188	1.12	0.350	ns

I valori medi di pH nelle cortecce sono riportati Tabella 19. Nell'Appendice 4.3 sono invece riportati i dati analitici per singolo albero campionato.

Tabella 19. Valori medi di pH nelle cortecce. Viene inoltre riportata la variazione numerica (in rosso se negativa, in verde se positiva) calcolata tra due campagne consecutive di monitoraggio e nell'ultima colonna tra la campagna ante operam e l'ultima post operam.

staz.	anno						Δ pH					
	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
01	4.25	4.19	5.20	4.74	5.25	5.00	-0.06	+1.01	-0.46	+0.51	-0.25	+0.75
02	4.17	3.92	4.76	4.60	4.92	5.05	-0.25	+0.84	-0.16	+0.32	+0.13	+0.88
03	4.82	4.52	5.69	5.23	5.31	5.28	-0.30	+1.17	-0.46	+0.08	-0.03	+0.46
04	3.79	3.84	4.97	4.94	5.22	5.19	+0.05	+1.13	-0.03	+0.28	-0.03	+1.40
05	4.50	4.63	5.88	5.50	5.40	5.29	+0.13	+1.25	-0.38	-0.10	-0.11	+0.79
06	4.06	4.36	5.65	4.85	5.14	5.51	+0.30	+1.29	-0.80	+0.29	+0.37	+1.45
07	4.03	4.08	5.08	4.80	5.20	5.47	+0.05	+1.00	-0.28	+0.40	+0.27	+1.44
08	4.52	4.26	5.26	4.85	4.97	4.95	-0.26	+1.00	-0.41	+0.12	-0.02	+0.43
09	4.57	4.55	5.70	5.38	5.35	5.11	-0.02	+1.15	-0.32	-0.03	-0.24	+0.54
10	4.85	4.64	5.42	5.42	5.37	5.23	-0.21	+0.78	0.00	-0.05	-0.14	+0.38
11	3.69	3.84	4.67	4.20	4.28	4.90	+0.15	+0.83	-0.47	+0.08	+0.62	+1.21
12	4.05	3.74	4.65	4.24	4.16	4.91	-0.31	+0.91	-0.41	-0.08	+0.75	+0.86

Nel loro complesso i valori di pH indicano una reazione acida della scorza, come si dovrebbe tipicamente riscontrare per il cerro.

Nel 2010 valori relativamente elevati si riscontrano per alcune stazioni della ZSC, in particolare per le stazioni 03, 05, 08, 09 e 10, in cui il pH è maggiore o uguale a 4.50. Anche nel 2012 queste stazioni si confermano su questi valori, tranne la 08 per la quale si riscontra una discreta diminuzione. Nelle due stazioni di controllo il pH si attesta tra quelli più bassi misurati nei primi due anni di monitoraggio. Il principale incremento nel valore di pH si riscontra per la stazione 06, mentre una diminuzione marcata è ravvisabile nei valori delle stazioni 02, 03, 08 e 12.

Nel 2014 si è registrato un generale incremento del pH delle cortecce, che mediamente è aumentato di circa un'unità. Nelle stazioni di controllo l'incremento di pH è stato leggermente inferiore rispetto a quello della ZSC. Si conferma inoltre che i valori di pH nelle stazioni di controllo sono tra i più bassi misurati. Un incremento particolarmente importante si riscontra nelle stazioni 03, 04, 05, 06 e 09, tutte stazioni in cui l'aumento è stato superiore ad una unità di pH.

Nel 2016 si è invece verificata una diminuzione in tutte le stazioni, mediamente pari a 0.35 unità. Una diminuzione consiste si è riscontrata soprattutto nella stazione 06, mentre nella 04 la diminuzione è stata irrisoria. L'unica stazione in cui il pH è rimasto immutato è la stazione 10. Si conferma ancora una volta che i valori di pH nelle stazioni di controllo sono tra i più bassi misurati.

Nel 2018 il pH è generalmente aumentato nella ZSC di 0.18 unità, mentre è rimasto nel complesso invariato nelle stazioni di controllo, che pertanto presentano ancora un valore più basso rispetto alle stazioni nella ZSC. Di particolare entità è stato l'aumento nelle stazioni 01 e 07, ma nelle stazioni del Sasso Poiano (03, 08, 09 e 10) il pH è invece rimasto pressoché invariato rispetto al 2016.

Nel 2020 il pH nelle stazioni della ZSC è rimasto complessivamente invariato, sebbene prevalgano le stazioni in cui si è riscontrata una diminuzione (7 su 10). Di fatto le stazioni in cui si è riscontrato un aumento (02, 06 e 07) sono tutte ubicate nella zona della balconata del Picuz, sopra l'abitato di Sangiano. Nelle stazioni di controllo, in cui il pH è mediamente aumentato di 0.69 unità, si riscontrano ancora una volta i valori più bassi misurati.

Nel complesso, tra il 2010 (ante operam) e il 2020 (post operam) si è appurato un aumento del grado di reazione delle cortecce in tutte le stazioni analizzate. L'incremento medio è stato quasi simile tra ZSC (0.85 unità) e controllo (1.04).

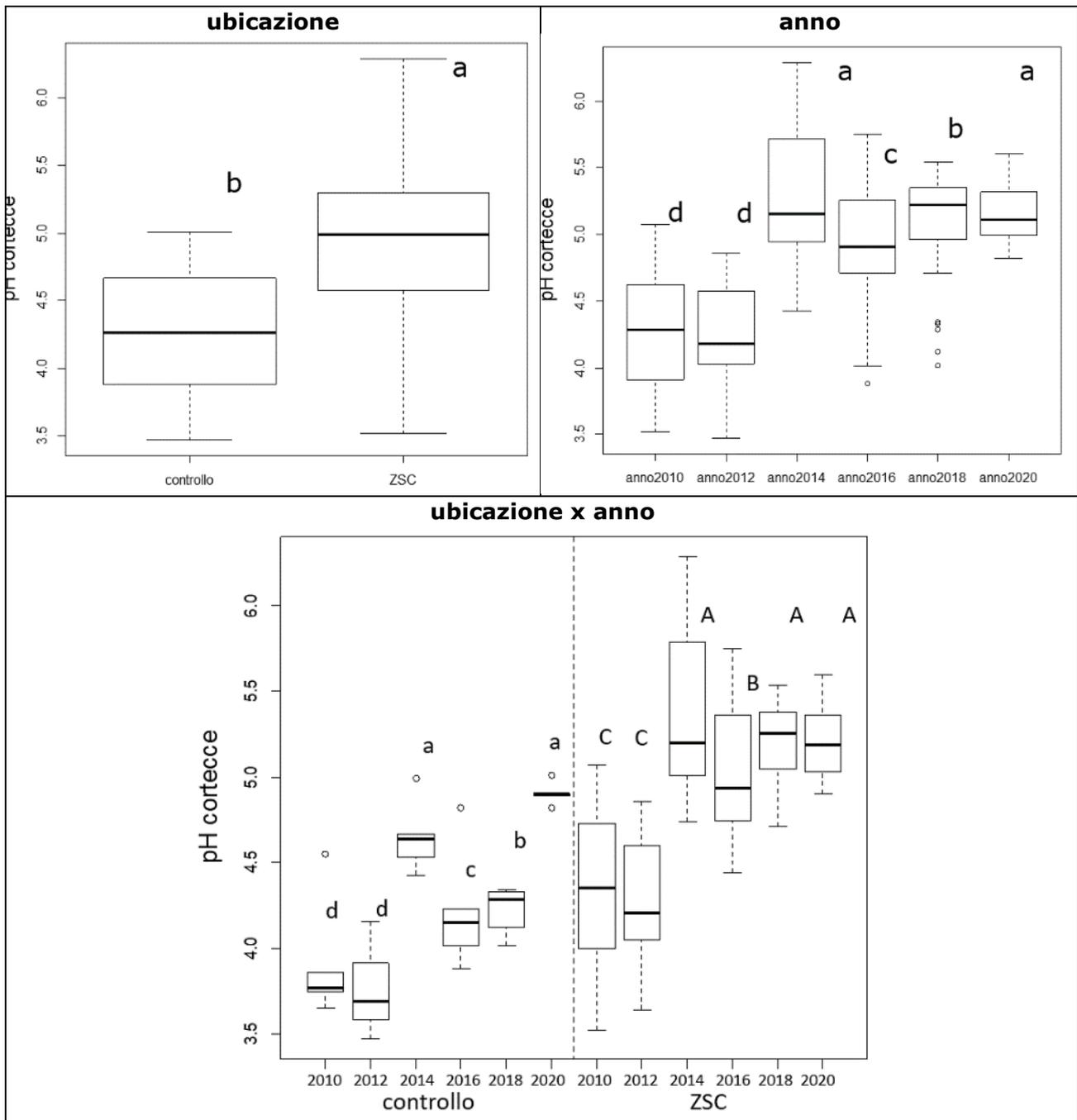


Figura 21. Distribuzione dei valori di pH nelle cortecce, suddivise per ubicazione (ZSC e stazioni di controllo esterne alla ZSC) e per anno di monitoraggio (ante operam: 2010; post operam: 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020). A lettera diversa, corrisponde una differenza significativa al test post hoc ($p < 0.05$; NB: per l'interazione tra i due fattori, i test riguardano separatamente il controllo e la ZSC).

La Figura 21 mostra la distribuzione dei valori di pH nelle cortecce suddivisi per ubicazione e per anno di monitoraggio.

La Tabella 20 riassume le principali statistiche per i fattori analizzati.

Tabella 20. Principali statistiche riferite al pH nelle cortecce, suddivisi per fattore analizzato.

Fattore	pH cortecce			
	min	mediana	media	max
ubicazione:				
controllo	3.47	4.26	4.28	5.01
ZSC	3.52	4.99	4.91	6.29
anno:				
2010	3.52	4.29	4.29	5.07
2012	3.47	4.18	4.22	4.86
2014	4.43	5.15	5.26	6.29
2016	3.88	4.91	4.92	5.75
2018	4.02	5.22	5.07	5.54
2020	4.82	5.11	5.16	5.60
ubicazione x anno:				
controllo x 2010	3.65	3.77	3.92	4.55
controllo x 2012	3.47	3.69	3.76	4.16
controllo x 2014	4.43	4.64	4.65	4.99
controllo x 2016	3.88	4.15	4.22	4.82
controllo x 2018	4.02	4.29	4.22	4.34
controllo x 2020	4.82	4.90	4.90	5.01
ZSC x 2010	3.52	4.355	4.36	5.07
ZSC x 2012	3.64	4.21	4.30	4.86
ZSC x 2014	4.74	5.20	5.36	6.29
ZSC x 2016	4.44	4.94	5.03	5.75
ZSC x 2018	4.71	5.255	5.21	5.54
ZSC x 2020	4.90	5.19	5.21	5.60

La Tabella 21 riporta invece il risultato del test Anova sui valori ranghizzati di pH nelle cortecce.

Tabella 21. Test Anova sui valori ranghizzati di pH nelle cortecce.

Fattore	g.d.l.	F	p	
ubicazione	1,10	9.93	0.010	*
anno	5,188	90.31	<0.001	***
ubicazione * anno	5,188	4.42	0.001	**

I risultati di questo test evidenziano che la variabilità nei dati è statisticamente attribuibile alla localizzazione delle stazioni e soprattutto all'anno di monitoraggio. In altre parole, le stazioni nella ZSC presentano valori di pH nelle cortecce più alti rispetto a quelle di controllo, sia nell'ante operam che nel post operam. Inoltre, i test post hoc rilevano una significatività statistica degli elevati valori di pH misurati nel 2014 e nel 2020 rispetto a quelli di tutti gli altri anni di monitoraggio. I valori del 2018 sono statisticamente maggiori rispetto a quelli del 2016, del 2010 e del 2012, ma queste due ultime campagne di monitoraggio non presentano valori statisticamente differenti tra loro. Anche l'interazione dei fattori ubicazione e anno di monitoraggio è risultata statisticamente significativa. Nel grafico di Figura 21 si riscontra che le variazioni intercorse sono state sostanzialmente paragonabili tra le stazioni di controllo e quelle nella ZSC, come si può riscontrare dalla similarità nelle distribuzioni delle lettere che indicano la significatività statistica del test post hoc. Esistono però una differenza: nel 2018 i valori di pH sono stati simili a quelli del 2014 e del 2020 nelle stazioni di controllo, mentre sono stati invece statisticamente più bassi nelle stazioni della ZSC.

2.3.3.2. Analisi dei talli lichenici

Le percentuali medie di azoto nei campioni di tallo lichenico della specie *Flavoparmelia caperata* sono riportate nella Tabella 22. Nell'Appendice 4.3 sono invece riportati i dati analitici completi suddivisi per campagna di monitoraggio. Come riportato nel Paragrafo 2.2.3, il numero di campioni analizzati per le stazioni di controllo (11, alberi a e c, e 12, alberi a e b) è stato, per forza maggiore, il doppio di quelli analizzati per la ZSC (stazione 07, alberi a e c) sino al 2016, mentre dal 2018 (v. Paragrafo 2.2.4) sono stati analizzati i campioni provenienti da un unico albero nella ZSC (07a).

Tabella 22. Valori percentuali di azoto (N) contenuto nei campioni di tallo lichenico (*Flavoparmelia caperata*). Viene inoltre riportata la variazione numerica (in rosso se negativa, in verde se positiva) calcolata tra due campagne consecutive di monitoraggio e nell'ultima colonna tra la campagna ante operam e l'ultima post operam.

staz.	anno						Δ N%					
	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2012 -2010	2014 -2012	2016 -2014	2018 -2016	2020 -2018	2020 -2010
07	2.13	2.16	2.39	2.87	2.17	2.31	+0.03	+0.23	+0.48	-0.70	+0.14	+0.18
11	1.87	1.55	1.69	1.71	1.79	1.98	-0.32	+0.14	+0.02	+0.08	+0.19	+0.11
12	1.87	1.83	1.82	1.79	2.07	2.08	-0.04	-0.01	-0.03	+0.28	+0.01	+0.21

Nel 2010 il valore più elevato è presente nei campioni lichenici raccolti nella stazione 07 (balconata del Picuz). Valori medi praticamente simili vengono invece riportati per le due stazioni di controllo (11 e 12).

Nel 2012 si riscontra un leggero incremento della percentuale di azoto nei licheni per la stazione 07 nella ZSC. Una diminuzione, particolarmente rilevante nella stazione 11, si riscontra invece nelle due stazioni di controllo, che presentano comunque un valore inferiore rispetto a quella nella ZSC.

Nel 2014 la stazione nella ZSC (07) presenta dei valori decisamente elevati, in seguito ad un deciso incremento rispetto a quanto rilevato nel 2012. Nelle stazioni di controllo la concentrazione di azoto nei campioni lichenici rimane pressoché invariata (stazione 12) oppure è leggermente aumentata (stazione 11).

Nel 2016 si sono rilevati valori simili a quelli del 2014 per le stazioni di controllo. Nella stazione 07, con un andamento crescente, si riscontra un ulteriore incremento nella concentrazione di azoto nei talli lichenici.

Nel 2018 si riscontra una decisa diminuzione nella stazione della ZSC, che presenta comunque un valore più elevato rispetto ad entrambe le stazioni di controllo. In entrambe queste stazioni i valori sono invece aumentati.

Nel 2020 si riscontra un aumento in tutte le stazioni analizzate, seppure quasi nullo per la stazione di controllo 12. Tuttavia, tra il 2010 (ante operam) e il 2020 (post operam), si riscontra un complessivo aumento nei valori di azoto presente nei talli lichenici.

La Figura 22 mostra la distribuzione delle percentuali di azoto nei licheni suddivise per ubicazione e per anno di monitoraggio.

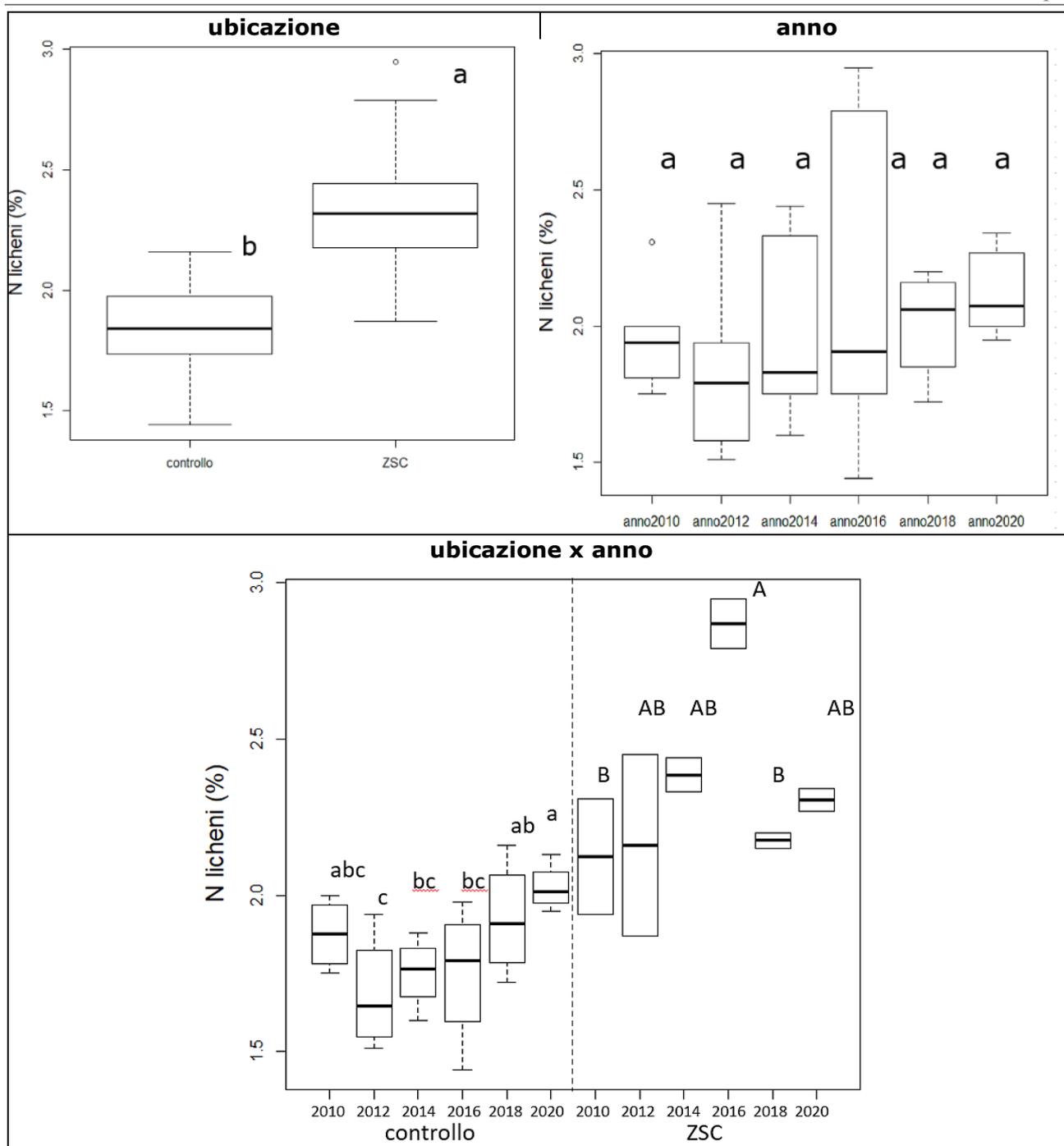


Figura 22. Distribuzione delle percentuali di azoto nei licheni suddivise per ubicazione (ZSC e stazioni di controllo esterne alla ZSC) e per anno di monitoraggio (ante operam: 2010; post operam: 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020). A lettera diversa, corrisponde una differenza significativa al test post hoc ($p < 0.05$; NB: per l'interazione tra i due fattori, i test riguardano separatamente il controllo e la ZSC).

La Tabella 23 riassume le principali statistiche per i fattori analizzati.

Tabella 23. Principali statistiche riferite alle percentuali di azoto nei licheni, suddivise per fattore analizzato.

Fattore	N licheni (%)			
	min	mediana	media	max
ubicazione:				
controllo	1.44	1.84	1.84	2.16
ZSC	1.87	2.32	2.34	2.95
anno:				
2010	1.75	1.94	1.96	2.31
2012	1.51	1.79	1.84	2.45
2014	1.60	1.83	1.96	2.44
2016	1.44	1.905	2.12	2.95
2018	1.72	2.06	2.01	2.20
2020	1.95	2.075	2.12	2.34
ubicazione x anno:				
controllo x 2010	1.75	1.875	1.88	2.00
controllo x 2012	1.51	1.645	1.69	1.94
controllo x 2014	1.6	1.765	1.75	1.88
controllo x 2016	1.44	1.79	1.75	1.98
controllo x 2018	1.72	1.91	1.92	2.16
controllo x 2020	1.95	2.01	2.02	2.13
ZSC x 2010	1.94	2.125	2.13	2.31
ZSC x 2012	1.87	2.16	2.16	2.45
ZSC x 2014	2.33	2.385	2.39	2.44
ZSC x 2016	2.79	2.87	2.87	2.95
ZSC x 2018	2.15	2.175	2.18	2.20
ZSC x 2020	2.27	2.305	2.30	2.34

Dal punto di statistico, il test Anova (Tabella 24) evidenzia che il fattore ubicazione condiziona statisticamente la variabilità nelle percentuali di azoto nei campioni lichenici. Questo significa che nella stazione 07 della ZSC si riscontrano percentuali statisticamente maggiori rispetto a quelle di controllo, a prescindere dall'anno di monitoraggio. L'anno non risulta statisticamente significativo, quindi la concentrazione di azoto non è variata complessivamente nelle stazioni analizzate. È invece risultata statisticamente significativa l'interazione tra i due fattori analizzati. Nelle stazioni di controllo, per le quali si dispone di un maggior numero di dati, si evidenziano valori più elevati nel 2020, sebbene statisticamente in modo differente soltanto rispetto agli anni 2012, 2014 e 2016. Nell'unica stazione della ZSC, che è quella più lontana dallo stabilimento e in antitesi più prossima all'abitato di Sangiano, i valori più alti sono stati riscontrati nel 2016, sebbene in modo statisticamente significativo soltanto rispetto al 2010 e al 2018. Questi risultati devono però essere interpretati con cautela, dato l'esiguo numero di campioni analizzati per forza maggiore (ovvero la scarsa quantità di tallo lichenico a disposizione).

Tabella 24. Test Anova sulle percentuali ranghizzate di azoto nei licheni.

Fattore	g.d.l.	F	p	
ubicazione	1,24	43.04	<0.001	***
anno	5,24	1.80	0.152	ns
ubicazione * anno	5,24	4.50	0.005	**

2.3.4. Relazione tra bioindicazione e bioaccumulo

La Tabella 25 riporta le relazioni statistiche tra il contenuto di azoto in cortecce e in licheni e il pH nelle cortecce con la BLa e l'indice di nitrofilia, a prescindere dall'anno di monitoraggio.

Tabella 25. Coefficienti di correlazione rho di Spearman tra il contenuto di azoto in cortecce e licheni e il pH nelle cortecce con la BLa e l'indice di nitrofilia, a prescindere dall'anno di monitoraggio. I coefficienti sono stati calcolati considerando per il contenuto di azoto e il pH nelle cortecce il valore medio di tutte le stazioni (n=12 per campagna di monitoraggio) oppure considerando soltanto il valore medio nelle stazioni della ZSC (n=10 per campagna di monitoraggio), mentre per la percentuale di azoto nei licheni soltanto le stazioni campionate (n=3 per campagna di monitoraggio).

	BLa		indice nitrofilia	
	rho	p	rho	p
N% cortecce				
tutte le stazioni	+0.233	0.049 *	-0.303	0.010 *
stazioni nella ZSC	-0.028	0.829 ns	0.000	0.998 ns
N% licheni				
tutte le stazioni	-0.623	0.006 **	+0.713	0.001 **
pH				
tutte le stazioni	+0.078	0.514 ns	+0.412	<0.001 ***
stazioni nella ZSC	+0.420	0.001 **	+0.218	0.094 ns

Analizzando i dati riferiti a tutte le stazioni campionate, tra la percentuale di azoto nelle cortecce e la BLa si riscontra un coefficiente con segno positivo e statisticamente significativo, seppure al limite della soglia di significatività statistica ($\alpha=0.05$). Questo coefficiente non risulta significativo considerando soltanto i dati per le stazioni nella ZSC. La concentrazione di azoto nelle cortecce non è correlata significativamente con l'indice di nitrofilia per le sole stazioni nella ZSC. Se invece si considerano anche quelle di controllo, la relazione diviene significativa e con segno negativo.

Dato lo scarso numero di dati a disposizione, i coefficienti di correlazione per la concentrazione di azoto nei licheni sono stati calcolati unicamente per le sole tre stazioni campionate. La concentrazione di azoto nei licheni è quindi statisticamente correlata in modo negativo con la BLa e invece in modo positivo con l'indice di nitrofilia.

Il pH delle cortecce è correlato in termini positivi con l'indice di nitrofilia, ma risulta statisticamente significativo soltanto considerando i dati di tutte le stazioni. La relazione dei valori di pH con la BLa è statisticamente significativa soltanto per le stazioni nella ZSC; anche in questo caso, il coefficiente è positivo.

2.4. Commenti e valutazioni sul monitoraggio della qualità dell'aria

2.4.1. Sintesi delle analisi svolte

La Tabella 26 riassume i risultati dei test Anova calcolati per le variabili analizzate.

Tabella 26. Riepilogo dei risultati dei test Anova calcolati per ciascuna variabile analizzata in funzione di ubicazione (ZSC e stazioni di controllo esterne alla ZSC) e anno di monitoraggio (ante operam: 2010; post operam: 2012, 2014, 2016, 2018 e 2020).

Variabile analizzata	Fattore		
	ubicazione	anno	ubicazione * anno
biodiversità lichenica	significativo	significativo	non significativo
specie di Xanthorion	significativo	significativo	non significativo
specie di Parmelion	significativo	significativo	non significativo
indice di nitrofilia	significativo	significativo	non significativo
% di azoto nelle cortecce	non significativo	significativo	non significativo
% di azoto nei licheni	significativo	non significativo	significativo
pH nelle cortecce	significativo	significativo	significativo

Nel complesso si evidenzia come l'ubicazione delle stazioni di monitoraggio rappresenti un fattore di variazione significativo. Per tutte le variabili analizzate i valori differiscono tra stazioni nella ZSC e stazioni di controllo, a prescindere dall'anno di monitoraggio (ante operam vs. post operam). L'unica eccezione è costituita dalla percentuale di azoto nelle cortecce, sebbene il test Anova sia poco sopra il limite della significatività statistica. In sostanza, questi risultati evidenziano una differente condizione originale delle stazioni nella ZSC rispetto a quelle di controllo nel 2010. Questa differente condizione si è mantenuta anche in seguito, fino all'ultima campagna di monitoraggio eseguita nel 2020.

Anche il fattore anno rappresenta un fattore di variazione significativo. Per la biodiversità lichenica si è infatti rilevato un incremento significativo nei valori di BLs tra ante operam e post operam. Anche per il pH si è verificato un generale aumento tra ante e post operam, a partire però dalla campagna del 2014. La percentuale di azoto nelle cortecce ha invece mostrato valori altalenanti tra le diverse campagne di monitoraggio, sebbene tra ante operam e post operam non possono essere statisticamente considerati differenti. L'indice di nitrofilia delle comunità licheniche è in diminuzione dalla prima campagna post operam, in coerenza con un deciso e progressivo aumento delle specie di Parmelion.

Tutti questi risultati evidenziano che sono in atto degli importanti cambiamenti complessivi nelle comunità licheniche (vedi anche cambiamenti nelle frequenze delle singole specie licheniche) e che questi cambiamenti possono essere relazionati a variazioni nelle caratteristiche delle cortecce (pH e azoto).

L'interazione tra i fattori ubicazione e anno, che esprime un diverso "comportamento" delle stazioni della ZSC nel post operam rispetto all'ante operam, non è mai risultata statisticamente significativa. Ciò significa che le variazioni riscontrate nelle variabili analizzate hanno riguardato in modo simile sia le stazioni nella ZSC che quelle di controllo. Un'eccezione è costituita dal pH nelle cortecce, che nella ZSC sembra procedere verso valori elevati in modo relativamente più rapido di quanto succeda nelle stazioni di controllo.

Una discussione a sé serve invece per i risultati riguardanti la percentuale di azoto nei licheni. Si è infatti appurata una significatività statistica dell'interazione tra i fattori ubicazione e anno, ma non per quest'ultimo fattore da solo: questi risultati appaiono

quindi differenti da quelli ottenuti per tutte le altre variabili. La significatività dell'interazione tra i fattori conduce a supporre un diverso andamento nelle variazioni delle concentrazioni di azoto nei talli lichenici nella ZSC rispetto a quelli nelle stazioni di controllo. Occorre però evidenziare che i dati analizzati sono relativamente scarsi in termini numerici (tre stazioni, di cui una sola nella ZSC; solo due alberi per ciascuna stazione e dal 2018 uno soltanto per la stazione della ZSC) rispetto al complesso di dati analizzato per le altre variabili (12 stazioni, di cui 10 nella ZSC; quasi sempre tre alberi per ciascuna stazione). Necessariamente per lo scarso numero di dati analizzati e la quantità di materiale a disposizione per le analisi (v. Paragrafo 2.2.4), si ritiene in via cautelativa che questo risultato, in contrasto con i risultati di tutte le altre variabili analizzate, debba essere ritenuto scarsamente rappresentativo delle condizioni ambientali. Inoltre, considerando anche la scarsità di materiale lichenico a disposizione sull'unico albero campionato nella ZSC, l'analisi della percentuale di azoto nei licheni potrebbe essere irrealizzabile sin dalla prossima campagna di monitoraggio. Di fatto la concentrazione di azoto nei licheni è risultata statisticamente correlata con la BLa e l'indice di nitrofilia: di conseguenza, queste due ultime variabili potrebbero sostituirla, soprattutto in termini di maggior robustezza dei dati, dalle prossime campagne di monitoraggio.

Le correlazioni tra le variabili della bioindicazione e quelle del bioaccumulo non sono sempre corroborate statisticamente. Inoltre, i valori delle correlazioni variano in relazione al set di dati analizzato, ovvero al fatto che vengano analizzati i soli dati riferiti alle stazioni nella ZSC oppure anche quelli nelle stazioni di controllo. Appare evidente che l'esame parziale dei dati possa portare a conclusioni differenti rispetto ad un'analisi complessiva dei dati.

2.4.2. Considerazioni sui risultati

La naturale reazione della corteccia di cerro (*Quercus cerris*) è normalmente acida. Questo albero è dunque generalmente colonizzato da comunità di licheni acidofili, riconducibili all'alleanza fitosociologica di Parmelion. Nelle stazioni analizzate queste comunità sono in modo prevalente presenti soltanto nelle due stazioni di controllo. Fin dall'ante operam, nelle stazioni della ZSC prevalgono invece specie di Xanthorion, ovvero licheni appartenenti a comunità neutro-basifile favorite da un pH della scorza relativamente più elevato rispetto a quello "naturale" del cerro. Tuttavia è altresì evidente come nelle stazioni della ZSC si stia assistendo a un cambiamento nelle comunità licheniche, con un incremento di alcune specie di Parmelion (es. Normandina pulchella).

Uno studio sulla colonizzazione di cortecce a reazione acida (pino) da parte di specie nitrofile ha evidenziato come l'incremento di disponibilità di azoto ammoniacale non ha effetti sulla presenza di licheni nitrofilici (Fрати et al., 2008). Nella ZSC l'elevata diffusione di specie nitrofile sulle cortecce del cerro indica con molta ragionevolezza un generale processo di eutrofizzazione in corso, ma che non è altresì evidenziato dalle concentrazioni di azoto totale nelle cortecce. Nella ZSC la concentrazione di azoto nelle cortecce potrebbe essere influenzata anche da deposizioni locali naturali (es. alberi utilizzati come posatoi dall'avifauna) o artificiali (es. polveri sollevate da automezzi), piuttosto che la presenza di licheni nitrofilici essere condizionata da fattori ecologici usualmente non considerati nelle indagini sulla qualità dell'aria (Cristofolini et al., 2008) sulla base del protocollo ANPA (2001), come ad esempio il grado di ombreggiamento delle chiome sui tronchi (ad esempio, come può essere il caso della stazione 02, che è tra quelle con il valore più basso di diversità lichenica). Di fatto nelle aree della ZSC, in particolare quelle presso il Sasso Poiano, è stata riscontrata negli ultimi anni una

variazione delle condizioni strutturali del bosco con deperimento delle querce, aumento della copertura boschiva e sviluppo di vegetazione infestante, entrambi fenomeni relazionabili sia all'abbandono selvicolturale e sia ad eventi meteorologici eccezionali. Questi ultimi stanno però divenendo consueti e portano verso condizioni climatiche di tipo caldo-umido, che potrebbero favorire l'espansione di alcune specie (es. Normandina pulchella). Più in generale, tutte queste condizioni hanno molto probabilmente influito in termini negativi sulle comunità licheniche (es. sulla presenza di specie di Xanthorion, perlomeno di alcune).

La concentrazione di azoto nella corteccia sembra avere una scarsa influenza sulla biodiversità lichenica. Quest'ultima appare generalmente inferiore nella ZSC rispetto alle stazioni di controllo, anche se valori particolarmente elevati sono riscontrabili proprio nella ZSC e in misura equiparabile a quelli delle stazioni di controllo (stazione 10 nel 2010, stazioni 09 e 10 nel 2012, stazione 05 dal 2014 sino al 2020). Tuttavia la sola biodiversità lichenica non sembra essere una variabile adatta ad analizzare gli importanti cambiamenti in atto, sia nelle comunità licheniche che nelle caratteristiche chimiche delle cortecce.

In relazione alla indisponibilità di una adeguata quantità di tallo lichenico, le misure della concentrazione di azoto nei licheni sono state ridotte a sei, di cui nella ZSC soltanto due; dal 2018 è stato possibile eseguire unicamente un campionamento nella ZSC. Da letteratura scientifica (Palmqvist et al., 2002; Rai, 1988), la concentrazione di azoto rilevata in *Parmelia* sp. varia da 0.5 a 2.1%. I valori misurati nella ZSC e nelle due stazioni di controllo si assestano quindi verso la parte superiore di questo intervallo o, nel caso della stazione campionata nella ZSC, anche maggiori per quanto riguarda il 2014 e ancor di più per il 2016, dove la concentrazione (2.87%) si approssima al 3%.

È evidente come le stazioni analizzate presentino delle forti differenze nella distribuzione dei valori di biodiversità lichenica e delle specie licheniche, sicuramente da imputare a differenti caratteristiche chimiche della corteccia presenti già nella fase ante operam. Allo stato attuale queste differenze rilevano nell'ambito della ZSC un'importante deviazione generale dalle condizioni di naturalità nelle comunità licheniche tipiche del cerro, soprattutto se raffrontate con quelle delle stazioni di controllo. Tuttavia questa deviazione dalle condizioni di naturalità appare coerente con le situazioni rilevate in altri studi realizzati nel contesto territoriale provinciale (Roella et al., 1995; Casarini et al., 2000; Brusa & Roella, 2001; Anderi et al., 2005). Di fatto, un'analisi condotta nella parte settentrionale del Parco del Ticino (AA.VV., 2014), circa 10 km a sud dalla ZSC Monte Sangiano, ha rilevato un forte incremento delle specie nitrofile durante il periodo 1994-2007.

Se queste deviazioni dalle condizioni di naturalità possano essere comunque ricondotte alle emissioni derivanti dallo stabilimento Colacem appare poco plausibile sulla base dell'ubicazione dello stabilimento stesso e della direzione dei venti (v. Figura 5). Infatti, la ZSC è ubicata a ovest-sud-ovest rispetto allo stabilimento Colacem, mentre le prevalenti direzioni dei venti sono lungo l'asse nord-sud oppure nella piana del Torrente Boesio verso il Lago Maggiore i venti spirano da est-sud-est. La riscontrata deviazione dalle condizioni di naturalità appare coerente con quelle rilevate in altri studi di biomonitoraggio sui licheni realizzati nel contesto territoriale della provincia di Varese, area in cui sussistono fonti diffuse di emissioni dovute al traffico su strada, al riscaldamento domestico e ad altre attività antropiche che rappresentano la principale fonte di inquinanti, come evidenziato dai dati raccolti nel database INEMAR (<http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/HomeLombardia>).

Allo stato attuale del monitoraggio, le differenze tra stazioni nella ZSC e quelle di controllo sono pregresse all'entrata in funzione dell'impianto a CDR. Di fatto, una rilevante variazione tra ante e post operam è stata registrata dai valori di biodiversità

lichenica (BLs), che però sono aumentati sia nelle stazioni nella ZSC che in quelle di controllo.

Segnali di una divergenza tra le variabili nelle stazioni della ZSC e in quelle di controllo sono state riscontrate per la concentrazione di azoto nei talli lichenici. Non è però chiaro il trend nell'unica stazione campionata nella ZSC, che è anche quella più lontana dallo stabilimento e all'opposto è molto prossima all'abitato. L'inconsistenza nella quantità di materiale lichenico a disposizione per le analisi, che indice sullo scarso numero di dati complessivamente a disposizione, non consente di poter intensificare i campionamenti. A questa scarsità di licheni, si deve inoltre aggiungere una progressiva riduzione nella vitalità delle specie nitrofile nelle stazioni della ZSC (iniziata nel 2014 e manifestatasi con maggior enfasi nel 2016) e di quelle acidofile nelle stazioni di controllo (osservata nel 2016, ma in parte rientrata dal 2018), cui le generali forti modificazioni nelle caratteristiche delle cortecce (aumento delle concentrazioni di azoto e soprattutto di pH) potrebbero essere non estranee.

Inoltre, si riscontra una diversità nell'aumento del pH nelle cortecce tra le stazioni di controllo e quelle della ZSC, dove è stato più deciso a partire dal 2014. Tra ante e post operam l'incremento medio di pH è stato però quasi equiparabile tra ZSC e controllo, ad indicare un fenomeno generalizzato nel contesto territoriale e che semplicemente sembra procedere più rapidamente nelle stazioni della ZSC.

Da tutte queste considerazioni, si rileva come le due stazioni di controllo, in relazione ai valori delle variabili analizzate durante tutto il periodo di monitoraggio e in particolare alla presenza pressoché esclusiva di specie licheniche di Parmelion, alla maggiore acidità delle cortecce e alle minori concentrazioni di azoto, sono a tutti gli effetti rappresentative di condizioni di "bianco", cioè si avvicinano a ideali situazioni di estrema naturalità, almeno per il territorio provinciale di Varese. Queste caratteristiche sono dovute al relativo isolamento delle stazioni di controllo rispetto all'elevato grado di antropizzazione in cui si trova la provincia di Varese e soprattutto la porzione di territorio in cui sono collocate le stazioni di monitoraggio sul Monte Sangiano.

Di conseguenza:

- le comunità licheniche nella ZSC esprimono già nell'ante operam una deviazione da condizioni di naturalità, attribuibili a situazioni ambientali già alterate e in essere anteriormente all'ante operam (anno 2010);
- queste condizioni sono inoltre generali a tutto il contesto provinciale relativamente urbanizzato;
- allo stato attuale dell'ultimo monitoraggio (2020), non emergono evidenti condizioni di peggioramento nella ZSC, anche se importanti cambiamenti sono in atto sia a livello di comunità licheniche che di caratteristiche chimiche delle cortecce;
- tuttavia questi cambiamenti sono gradualmente e soltanto con il procedere dei monitoraggi divengono evidenti, perché si irrobustisce la serie storica di dati e quindi si rafforzano i risultati quantificabili tramite le elaborazioni.

2.5. Conclusioni

Sia nelle stazioni della ZSC ("Monte Sangiano") che in quelle di controllo ("bianco"), per le variabili biologiche analizzate sono in atto variazioni, che allo stato attuale delle conoscenze stanno progressivamente, anche se lentamente, influenzando la composizione delle comunità licheniche.

A dieci anni dall'esecuzione del monitoraggio ante operam e a nove anni dalla messa in esercizio dell'attività di coincenerimento di CDR, si può affermare che non si sono registrate variazioni nei dati rilevati con il presente monitoraggio, tali da poter supporre una possibile specifica influenza dell'attività di coincenerimento.

3. Bibliografia citata e di riferimento

- AA.VV., 2002. Effects of NO_x and NH₃ on lichen communities and urban ecosystems. A Pilot Study. A report produced by Imperial College & The Natural History Museum, as partners in the A.P.R.I.L.-Network for the Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- AA.VV., 2014. Piano di Gestione del SIC IT2010012 "Brughiera del Dosso". Parco Lombardo della Valle del Ticino.
- ARPA, 2010. Rapporto sulla Qualità dell'Aria di Varese e provincia. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia.
- ARPA, 2019. Rapporto sulla qualità dell'aria della provincia di Varese. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia.
- Aleffi M., Tacchi R., Cortini Pedrotti C., 2008. Check-list of the Hornworts, Liverworts and Mosses of Italy. *Bocconea*, 22: 1-255.
- Amman K., Herzig R., Liebendorfer L., Urech M., 1987. Multivariate correlation of deposition data of 8 different air pollutants to lichen data in a small town in Switzerland. In: *Advances in Aerobiology*. pp. 401-406.
- Anderi P., Baldi D., Bortolas D., 2005. Bioindicazione della qualità dell'aria mediante l'uso di licheni epifiti. *Agenda 21 Laghi*.
- ANPA, 2001. I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica. Manuali e Linee Guida 2/2001. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi.
- Badin G., Nimis P.L., 1996. Biodiversity of epiphytic lichens and air quality in the province of Gorizia (NE Italy). *Studia Geobot.*, 15: 73-89.
- Barkman J.J., 1958. Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Van Gorcum, Assen.
- Baruffo L., Zedda L., Elix J.A., Tretiach M., 2006. A revision of the lichen genus *Lepraria* s.lat. in Italy. *Nova Hedwigia* 83: 387-430.
- Brusa G., Roella V., 2001. Esperienze di bioindicazione della qualità dell'aria tramite la biodiversità di licheni e briofite epifite nella provincia di Varese. In: Cenci R.M., Aleffi M. (Eds.), *L'utilizzo delle briofite nel monitoraggio ambientale: stato della ricerca in Italia*. EUR 19817 IT, pp. 46-55.
- Casarini P., Furlanetto D. (ed.), Genoni P., Guidetti L., Roella V., 2000. Monitoraggio della qualità dell'aria mediante licheni nella Valle del Ticino. Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino.
- Cislaghi C., Nimis P.L., 1997. Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature* 387: 463-464.
- Cristofolini F., Giordani P., Gottardini E., Modenesi P., 2008. The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: A case study from the Italian Prealps. *Environmental Pollution* 151: 308-317.
- Dragone C., 1997. Note sul Microclima di una piccola landa insubrica posta tra i laghi intermorenici prealpini. AVES, Brebbia.
- Degrauwe B., Pisoni E., Peduzzi E., De Meij A., Monforti-Ferrario F., Bodis K., Mascherpa A., Astorga-Llorens M., Thunis P., Vignati E., 2019. Urban NO₂ Atlas, EUR 29943 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Ferry B.W., Baddeley M.S., Hawksworth D.L., 1973. *Lichens and Air Pollution*. University of Toronto Press.
- Fрати L., Brunialti G., Loppi S., 2008. Effects of reduced nitrogen compounds on epiphytic lichen communities in Mediterranean Italy. *Science of the Total Environment* 407: 630-637.
- Fрати L., Caprasecca E., Santoni S., Gaggi C., Guttova A., Gaudino S., Pati A., Rosamilia S., Pirintsos S.A., Loppi S., 2006. Effects of NO₂ and NH₃ from road traffic on epiphytic lichens. *Environmental Pollution* 142: 58-64.
- Fрати L., Santoni S., Nicolardi V., Gaggi C., Brunialti G., Guttova A., Gaudino S., Pati A., Pirintsos S.A., Loppi S., 2007. Lichen biomonitoring of ammonia emission and nitrogen deposition around a pig stockfarm. *Environmental Pollution* 146:311-316.
- Galun M., 1988. *CRC Handbook of Lichenology*. CRC Press.
- Geiser L., 2004. *Monitoring Air Quality Using Lichens on National Forests of the Pacific Northwest: Methods and Strategy*. USDA-Forest Service Pacific Northwest Region Technical Paper.
- Gombert S., Asta J., Seaward M.R.D., 2003. Correlation between the nitrogen concentration of two epiphytic lichens and the traffic density in an urban area. *Environmental Pollution* 123: 281-290.
- Gombert S., Asta J., Seaward M.R.D., 2006. Lichens and tobacco plants as complementary biomonitors of air pollution in the Grenoble area (Isère, southeast France). *Ecological Indicators* 6: 429-443.
- Hawksworth D.L., Rose L., 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145-148.

- Herzig R., Urech M., 1991. Flechten als Bioindikatoren Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland. *Bibl. Lichenol.* 43.
- Hyvärinen M., Crittenden P.D., 1998. Relationships between atmospheric nitrogen inputs and the vertical nitrogen and phosphorus concentration gradients in the lichen *Cladonia portentosa*. *New Phytologist* 140: 519-530.
- Inсарov G.E., Semenov S.M., Inсарova I.D., 1999. A system to monitor climate change with epilithic lichens. *Environmental Monitoring and Assessment* 55: 279-298.
- Kandler O., Poelt J., 1984. Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. *Naturwiss. Rundschau* 37: 90-95.
- Lorenzini G., 1999. Piante vascolari come bioindicatori della qualità dell'aria (inquinamento da ozono): proposte metodologiche. *Atti Workshop, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA.*
- Lorenzini G., Nali C., 2005. *Le piante e l'inquinamento dell'aria.* Springer. Milano.
- McCune B., 2000. Lichen communities as indicators of forest health. *Bryologist* 103: 353-356.
- Nash III T.H., 1996. *Lichen biology.* Cambridge University Press.
- Nash III T.H., Wirth V., 1988. *Lichens, Bryophytes and Air Quality.* Cramer.
- Nimis P.L., 1999. Linee guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti. *Atti Workshop, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA.*
- Nimis P.L., Bargagli R., Benedet A., Castello M., Ciccarella A., Gasparo D., Lausi D., Lazzarin G., Olivieri S., Tretiach M., 1989. I licheni come bioindicatori di inquinamento atmosferico nell' area di Schio-Thiene-Breganze (Vicenza). *Atti Mus. Civ. St. Nat. Verona* 16: 1-154.
- Nimis P.L., Bargagli R., 1999. Linee guida per l'utilizzo dei licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia. *Atti Workshop, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA.*
- Nimis P.L., Lazzarin A., Lazzarin G., Gasparo D., 1991. Lichens as bioindicators of air pollution by SO₂ in the Veneto Region (NE Italy). *Studia Geobotanica* 11: 3-76.
- Nimis P.L., Martellos S., 2008. *ITALIC - The Information System on Italian Lichens. Version 4.0.* University of Trieste, Dept. of Biology, IN4.0/1 (<http://dbiodbs.univ.trieste.it/>).
- Palmqvist K., Dahlman L., Valladares F., Tehler A., Sancho L.G., Mattsson, J.E., 2002. CO₂ exchange and thallus nitrogen across 75 contrasting lichen associations from different climate zones. *Oecologia* 133: 295-306.
- Piccotto M., 2008. Effetti degli NO_x sulla fisiologia dei licheni foliosi epifiti. *XXI Ciclo del Dottorato di Ricerca in Metodologie di Biomonitoraggio dell'Alterazione Ambientale.* Università degli Studi di Trieste.
- Pignatti S., 1982. *Flora d'Italia.* Edagricole, Bologna.
- Pinho P., Augusto S., Martins-Loução M.A., Pereira M.J., Soares A., Máguas C., Branquinho C., 2008. Causes of change in nitrophytic and oligotrophic lichen species in a Mediterranean climate: Impact of land cover and atmospheric pollutants. *Environmental Pollution* 154: 380-389.
- Purvis, W., 2000. *Lichens. The Natural History Museum, London.*
- Rai A.N., 1988. Nitrogen metabolism. In: Galun M. (Ed.), *Handbook of Lichenology*, vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 201-238.
- Richardson D.H.S., 1992. *Pollution monitoring with lichens.* The Richmond Publishing.
- Roella V., Guidetti L., Battioli M. T., 1995. Bioindicazione della qualità dell'aria nelle province di Novara e Varese. *Nicolini, Varese.*
- Rose C. I., Hawksworth D. L., 1981. Lichen recolonization in London`s cleaner air. *Nature* 289: 289-292.
- Rose F., 1976. Lichenological indicators of age and environmental continuity in woodlands. In: Brown D.H., Hawksworth D.L., Bailey R.H.: *Lichenology: Progress and Problems.* Academic Press. pp. 279-307.
- Roskov Y., Abucay L., Orrell T., Nicolson D., Flann C., Bailly N., Kirk P., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W., De Wever A., eds. (2016). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2016 Annual Checklist.* Digital resource at www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2016. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands.
- Seaward M.R.D., 1997. Urban deserts bloom: a lichen renaissance. *Bibliotheca Lichenologica* 67 : 297-309.
- Seaward M.R.D., Letrouit-Galinou M.A., 1991. Lichen recolonization of the trees in the Jardin du Luxembourg, Paris. *Lichenologist* 23: 181-186.
- Van Dobben H.F., De Bakker A.J., 1996. Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effects of decreasing SO₂ and increasing NH₃. *Acta Botanica Neerlandica* 45: 55-71.
- Van Dobben, H.F., Wolterbeek, H.T., Wamelink, G.W.W., Ter Braak C.J.F., 2000. Relationships between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollution. *Environmental Pollution* 112: 163-169.

Van Herk C.M., 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *Lichenologist* 31: 9-20.

Van Herk C.M., 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist* 33: 419-441.

Wobbrock J., Findlater L., Gergle D., Higgins J.J., 2011. The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 143-146). ACM.

Wobbrock J., Findlater L., Gergle D., Higgins J.J., 2013. ARTool. <http://depts.washington.edu/aimgroup/proj/art/>

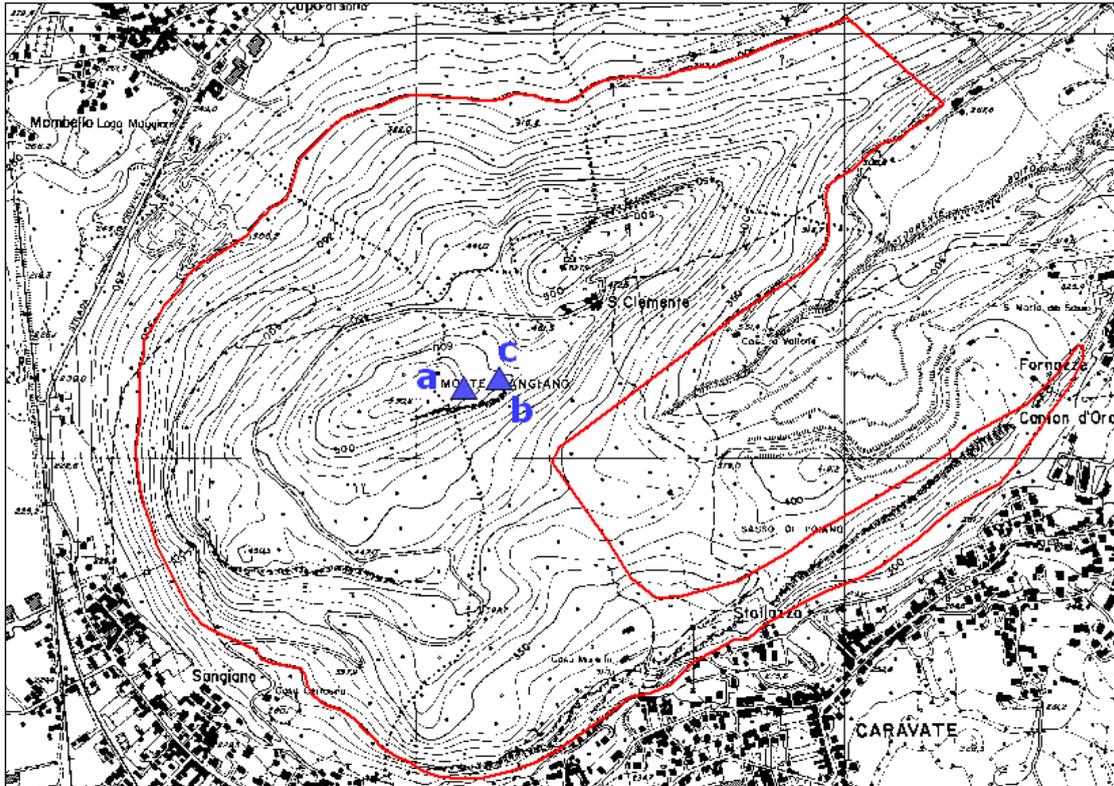
4. Appendici

4.1. Schede per l'identificazione delle stazioni del biomonitoraggio

Nelle note sono riportati eventuali commenti riferiti alle diverse campagne di monitoraggio. Viene inoltre evidenziato se un albero campionato nel 2010 è stato in seguito sostituito per forza maggiore.

I valori relativi alla circonferenza si riferiscono a quelli misurati nel 2010. Quelli invece riportati tra parentesi si riferiscono alle misure condotte nelle successive campagne di monitoraggio.

Stazione n. 01



a



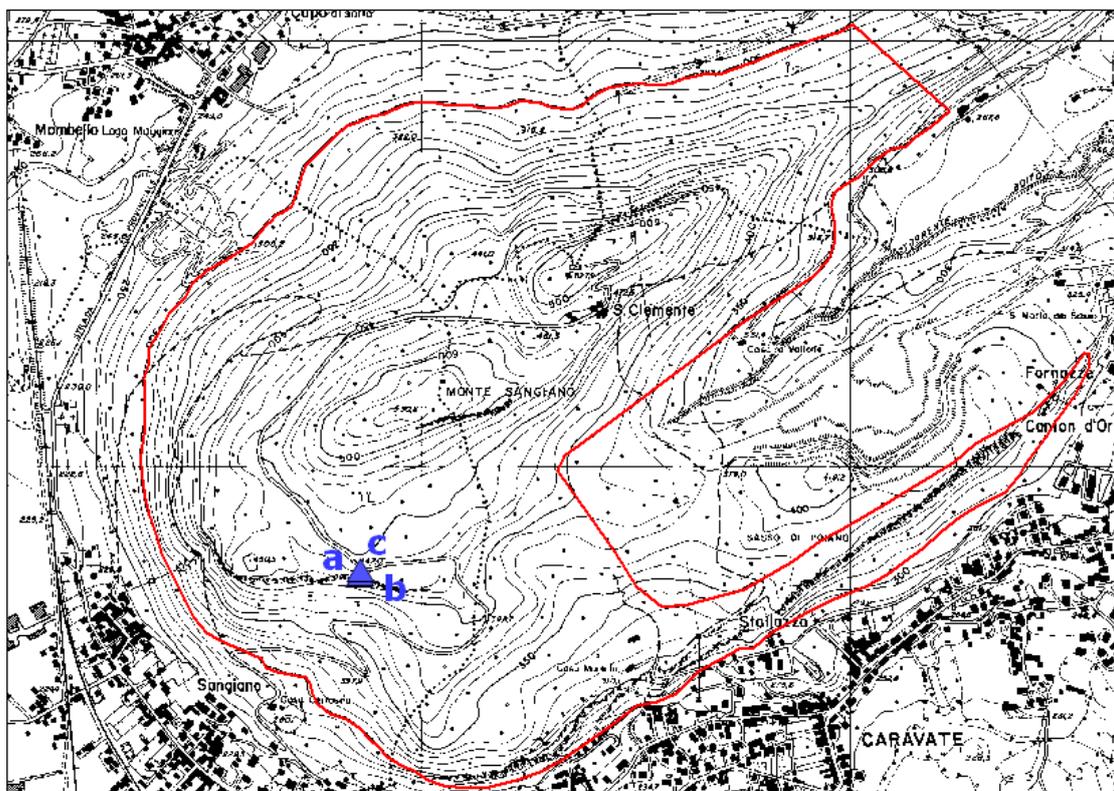
b (a destra), c (a sinistra)

Descrizione: lungo il sentiero che percorre il crinale. Bosco rado, governato a ceduo. Strato arboreo: *Fraxinus excelsior*, *Quercus pubescens* e in subordine *Quercus cerris* e *Carpinus betulus*. Strato arbustivo: *Mespilus germanica*, *Laburnum anagyroides*, *Rhamnus cathartica*, *Sorbus aria*, *Crataegus monogyna*, *Coronilla emerus*, *Cornus mas*, *Juniperus communis*. Strato erbaceo: *Ruscus aculeatus*, *Vinca minor*, *Carex digitata*, *Cyclamen purpurascens*, *Polygonatum multiflorum*, *Tamus communis*.

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1472116, 5081165	1472197, 5081185	1472198, 5081187
circonferenza (cm)	84 (87-91-93-94-96)	61 (63-66-69-72-75)	63 (65-68-71-74-76)

note: alberi b (verso rupe) e c (verso sentiero) facenti parte di una ceppaia con tre tronchi, di cui quello non rilevato molto inclinato

Stazione n. 02



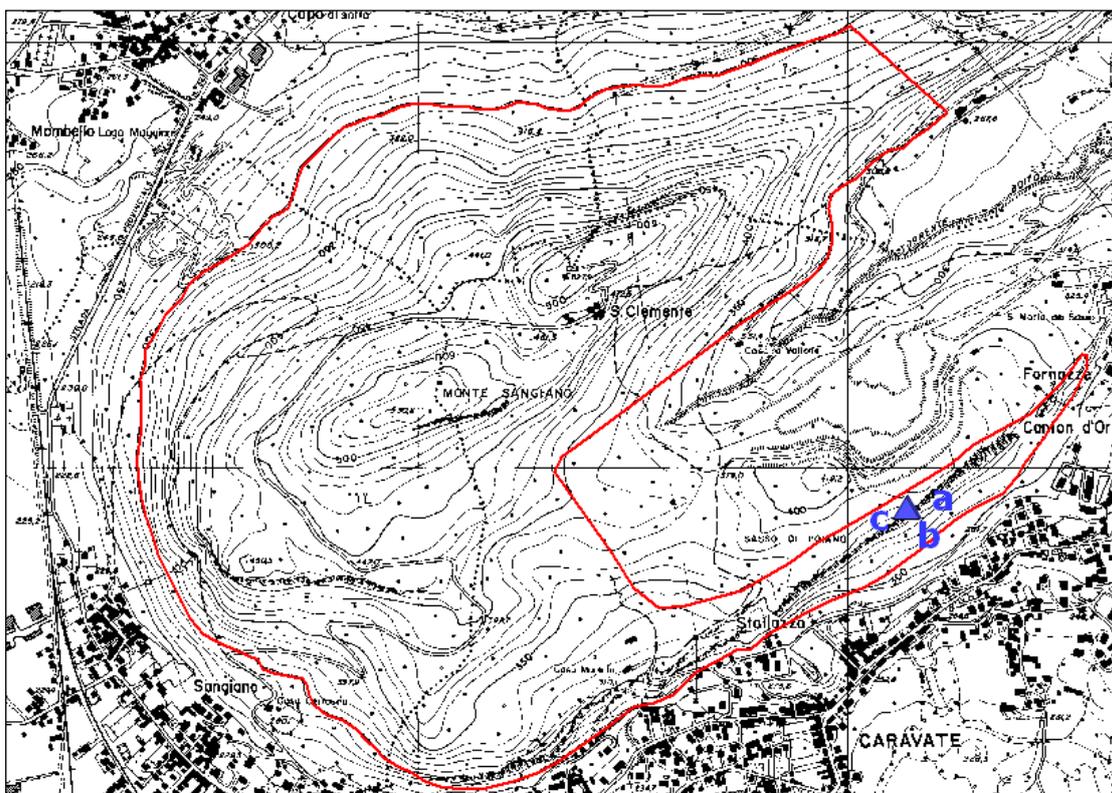
a (il primo a destra), b (il secondo da sinistra) e c (il secondo da destra)

Descrizione: nei pressi del punto panoramico, lungo la strada asfaltata principale. Vegetazione assai poco sviluppata, in genere di tipo termofilo, ma con specie indicatrici di degrado. Presenza di rifiuti abbandonati.

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1471860, 5080743	1471863, 5080744	1471861, 5080754
circonferenza (cm)	116 (120-123-126-127-128)	112 (114-118-120-122-124)	100 (103-106-109-110-111)

note: gruppo di tre individui, di cui quello più verso la strada composto da due tronchi (rilevato solo quello più ad ovest, albero c); i tronchi sono parzialmente ombreggiati dalle chiome degli stessi alberi

Stazione n. 03



da sinistra verso destra: a, b, c (tronco sullo sfondo sull'estrema destra)

d



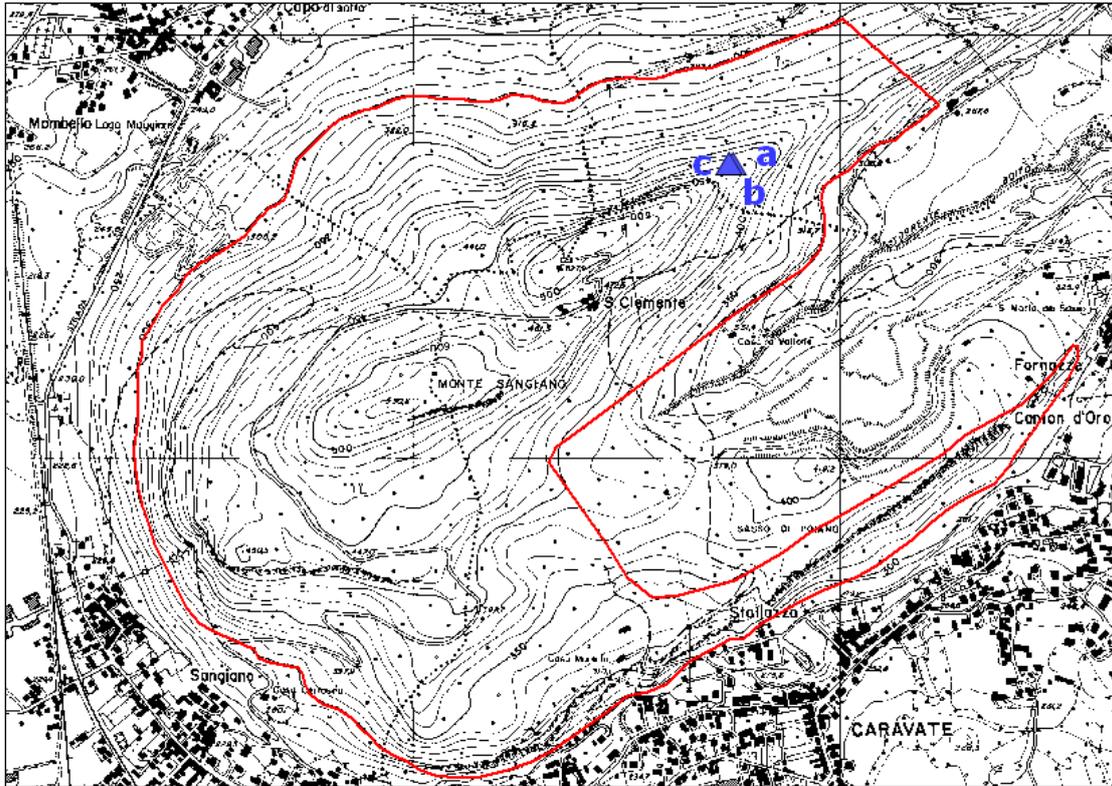
e

Descrizione: raggiungibile abbandonando il sentiero e procedendo verso la rupe per una trentina di metri. A pochi metri dalla rupe, in un bosco in fase di chiusura. Strato arboreo: *Quercus cerris* *Quercus pubescens*, *Fraxinus excelsior*. Strato arbustivo: *Celtis australis*, *Cornus mas*, in subordine *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Acer campestre*, *Ligustrum vulgare*. Strato erbaceo: *Ruscus aculeatus*, *Euphorbia dulcis*, *Hedera helix*, *Vinca minor*, *Viola reichenbachiana*, *Tamus communis*.

Albero	a	b	c	d
coordinate (x, y)	1473146, 5080906	1473143, 5080907	1473139, 5080905	1473137, 5080898
circonferenza (cm)	108 (110-114-114)	108 (108)	138 (140-145-148-154)	(71-74-76)
Albero	e			
coordinate (x, y)	1473147, 5080936			
circonferenza (cm)	(112-115)			

note: bosco luminoso, ma in fase di chiusura per sviluppo di arbusti (nel 2014 pressoché chiuso); l'albero b, in minor misura a, presentano alla base del tronco fenomeni di necrosi per attacchi fungini
 2012: l'albero b presenta numerosi rametti epicormici sino a 4 m di altezza e una chioma molto deperita, quindi verosimilmente lo stato fitosanitario si è aggravato, come evidenziato anche dalla mancanza di accrescimento radiale del tronco; l'albero a presenta invece seccume in misura decrescente a partire dal piede
 2014: l'albero b è morto e quindi viene sostituito con l'albero d, distante ca. 6 m in direzione sud dal c; permangono gravi le condizioni fitosanitarie dell'albero a
 2016: permangono gravi le condizioni fitosanitarie dell'albero a
 2018: l'albero a è morto ed è sostituito con l'albero e, situato tra il precedente e il sentiero in direzione nord

Stazione n. 04



a



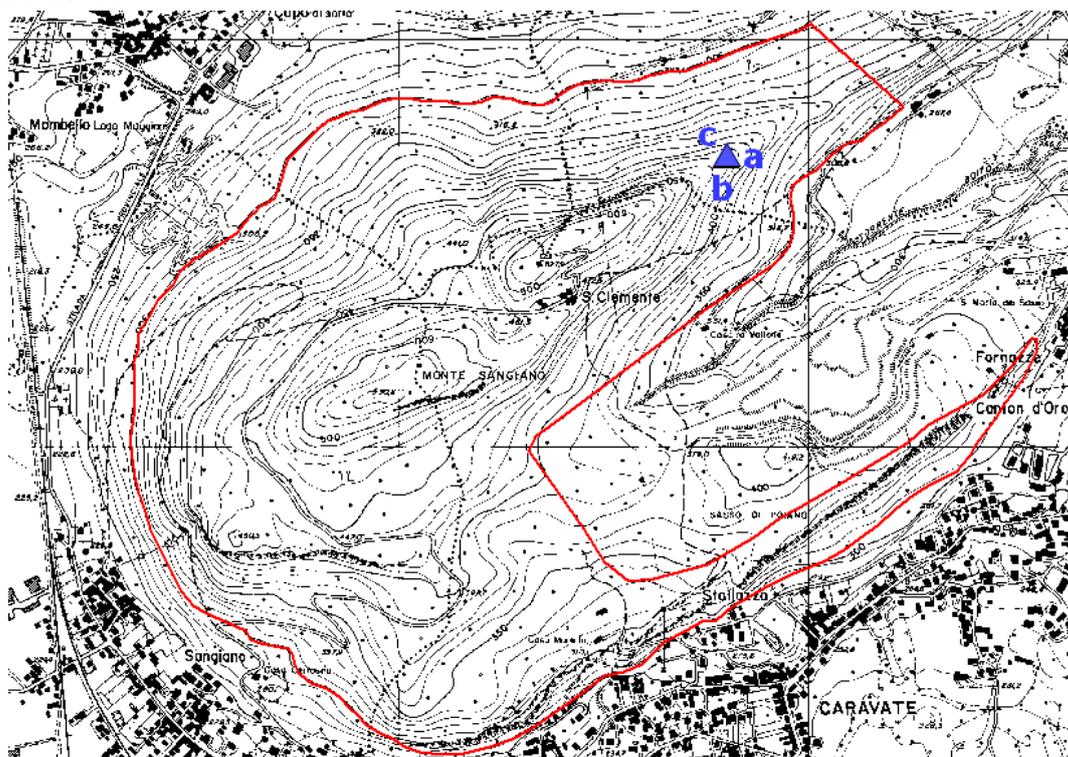
b (al centro), c (a destra)

Descrizione: dal santuario imboccare la traccia di sentiero che costeggia il crinale in direzione nord-est; raggiunta la quota, scendere di qualche metro sul pendio rivolto a nord. Su un pendio erboso aperto, ma con numerose ceppaie, poco sopra la rupe. Strato arboreo: *Quercus pubescens*, *Quercus cerris*. Strato arbustivo: *Laburnum anagyroides*, *Rhamnus cathartica*, *Sorbus aria*, *Viburnum lantana*, *Coronilla emerus*, *Cornus mas*. Strato erbaceo: *Carex humilis*, *Molinia caerulea*, *Luzula nivea*, *Brachypodium rupestre*, *Vincetoxicum hirundinaria*, *Sesleria varia*, *Ruscus aculeatus*, *Vinca minor*, *Primula vulgaris*.

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1472754, 5081695	1472744, 5081693	1472743, 5081695
circonferenza (cm)	110 (110-113-118-120-121)	90 (91-93-95-98-101)	79 (79-83-85-89-90)

note: alberi b (verso monte) e c (verso rupe) facenti parte di una ceppaia con tre tronchi, di cui quello biforcuto posto più a sud non rilevato
dal 2016 e ancor più dal 2018 l'area è frequentata da ungulati selvatici, con riduzione della vegetazione spontanea nel sottobosco per la creazione di sentieri e ripose; inoltre, la quantità di defecazioni è notevole

Stazione n. 05



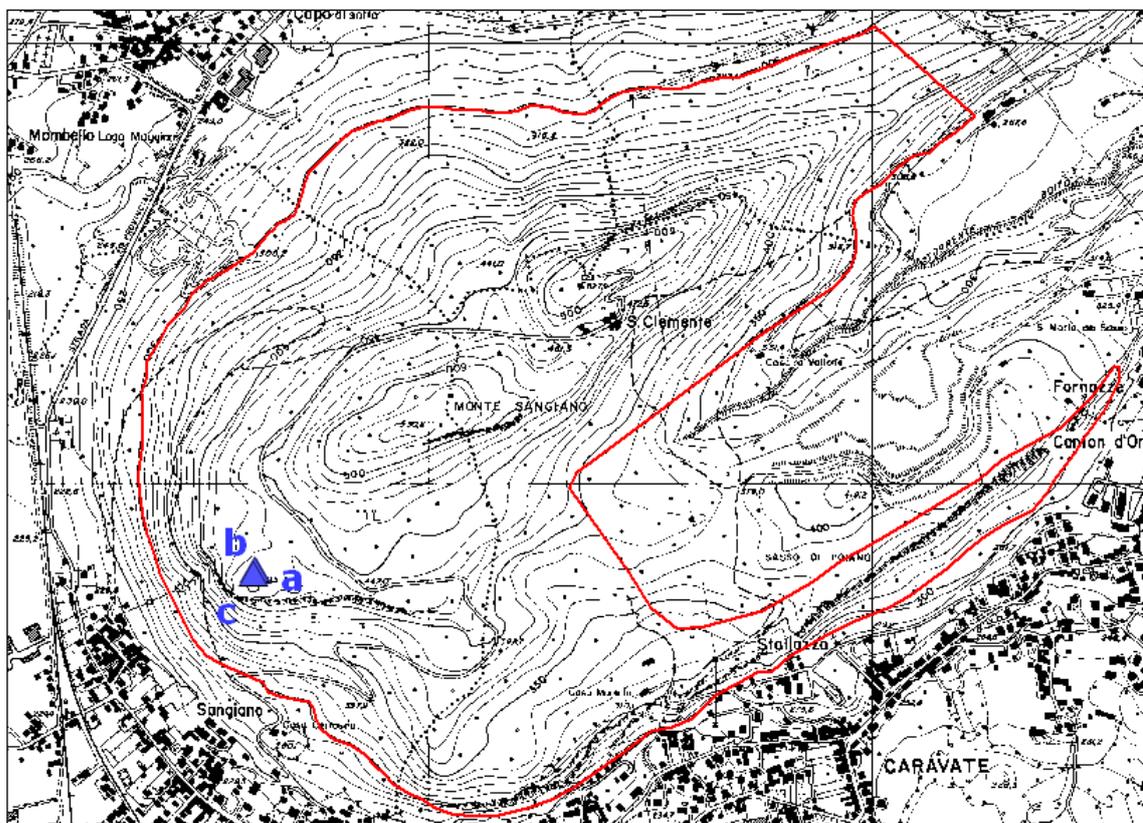
a (al centro), b (a sinistra), c (a destra)

Descrizione: dal santuario imboccare la traccia di sentiero che costeggia il crinale in direzione nord-est; raggiunta la quota, scendere di qualche metro sul pendio rivolto a nord. Su un pendio erboso aperto, ma con numerose ceppaie, poco sopra la rupe. Per la vegetazione si veda quanto riportato per la stazione 04; nella presente stazione è comunque presente molto *Rubus fruticosus*.

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1472802, 5081711	1472804, 5081713	1472804, 5081713
circonferenza (cm)	62 (63-65-68-71-72)	68 (69-71-76-82-83)	67 (69-71-74-75-76)

note: a e b fanno parte della stessa ceppaia (b inclinato, al limite della rilevabilità)
 nel 2014 tutti gli alberi presentano parte della corteccia sollevata, con evidente rimarginatura della ferita; non sembrano comunque sofferenti
 nel 2016 permane la condizione fitosanitaria riscontrata in precedenza, così come pure nel 2018
 dal 2016 e ancor più dal 2018 l'area è frequentata da ungulati selvatici, con riduzione della vegetazione spontanea nel sottobosco per la creazione di sentieri e ripose; inoltre, la quantità di defecazioni è notevole
 nel 2020 permangono le condizioni ambientali riscontrate nelle due campagne precedenti; le condizioni fitosanitarie di a appaiono migliori di quelle di b e c

Stazione n. 06



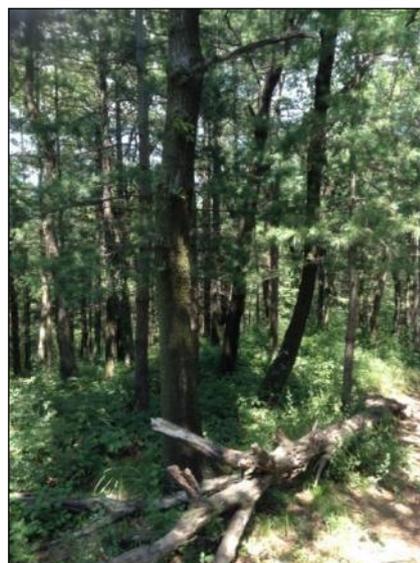
a



b



c



d

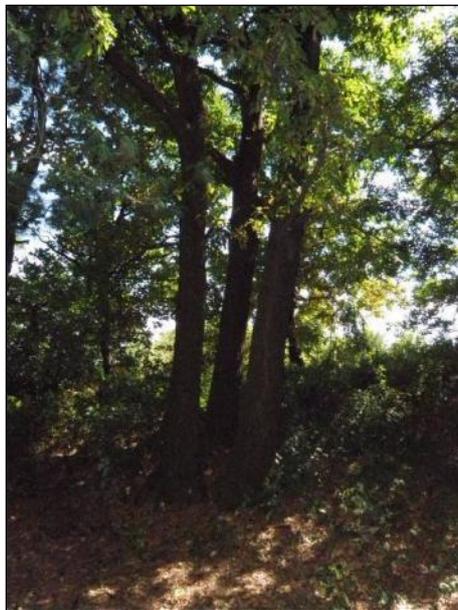
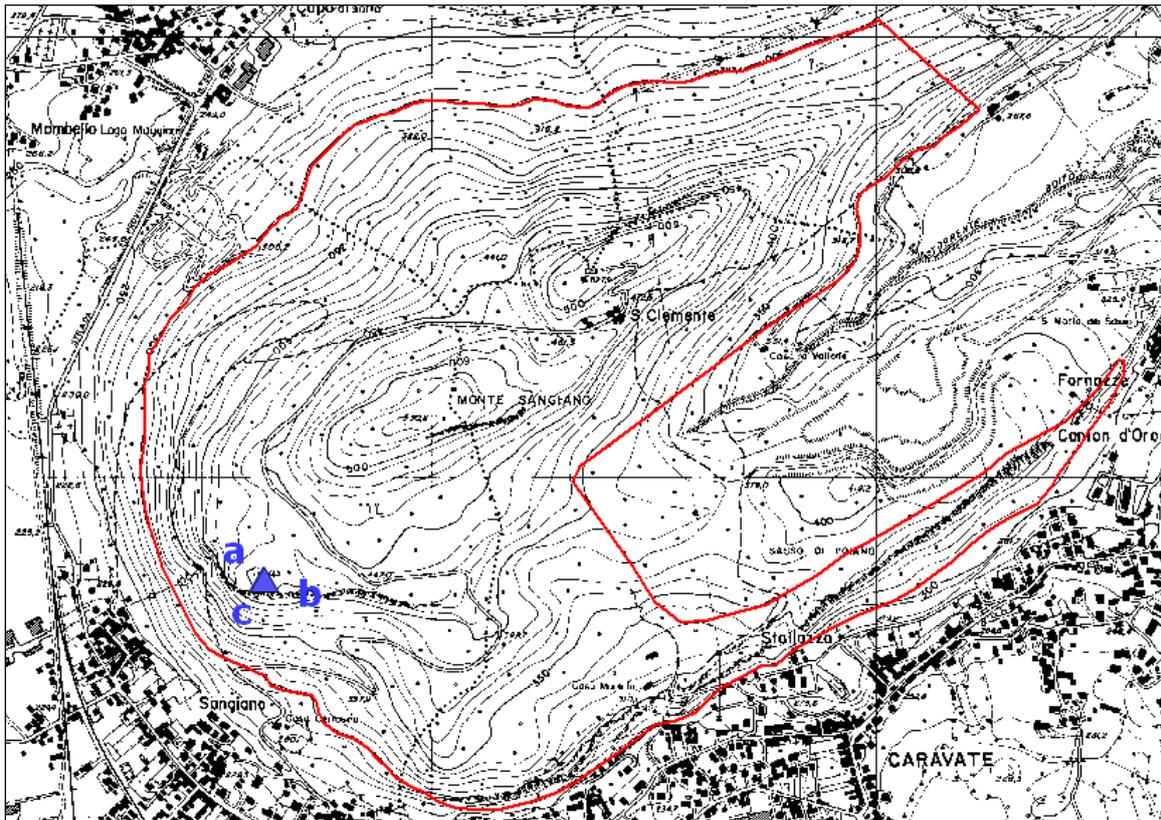
Descrizione: lungo il sentiero che dalla strada principale, passando nell'impianto forestale, consente di raggiungere la balconata. Impianto rado di *Pinus strobus*, con sparsi esemplari di *Quercus pubescens* e *Quercus cerris*. Strato arbustivo: praticamente assente. Strato erbaceo: *Hedera helix*, *Carex humilis*, *Ruscus aculeatus*, *Melica nutans*, *Rubus fruticosus*, *Viola reichenbachiana*, *Carex digitata*.

Albero	a	b	c	d
coordinate (x, y)	1471613, 5080798	1471610, 5080802	1471608, 5080792	1471589, 5080780
circonferenza (cm)	97 (99-103-105-106-107)	86 (91-93-95-97-100)	78 (80-82)	(85-87-89)

note: procedendo verso la rupe, l'impianto diviene più rado e gli alberi di cerro risultano idonei; mentre gli alberi a e b sono lungo il sentiero, il c è qualche metro nel bosco (nei pressi di una ceppaia con molti ricacci sul tronco)

nel 2014 per l'albero c si è riscontrato uno stato di sofferenza nella chioma, che risulta scarsamente sviluppata; inoltre sono presenti numerosi rami epicormici ed evidenti lesioni nella corteccia
nel 2016 l'albero c è morto ed è stato sostituito con l'albero d posto a lato del sentiero, prevenendo dalla strada carrareccia prima dell'albero a

Stazione n. 07



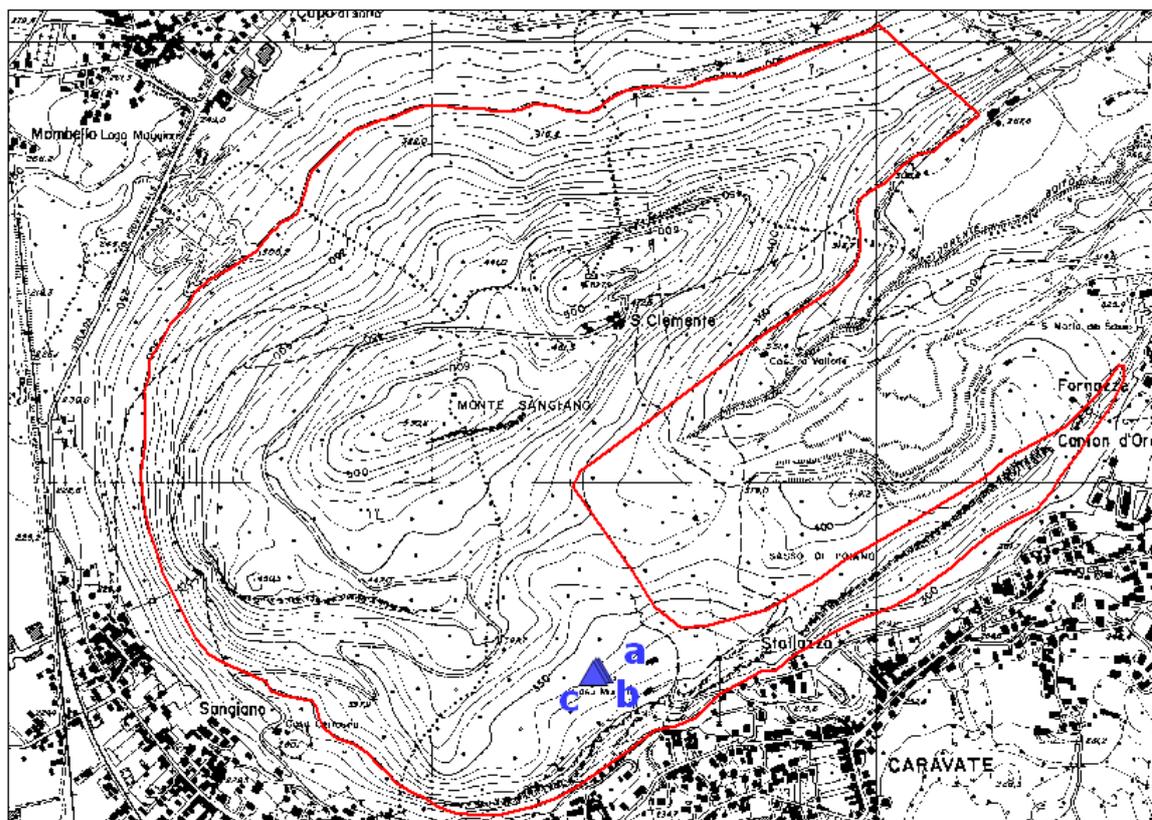
a (a destra), b (a sinistra), c (al centro)

Descrizione: lungo il sentiero che costeggia la balconata. Vegetazione simile a 06, ma con qualche specie aggiuntiva arborea (*Acer campestre*, *Quercus robur*) e arbustiva (*Ligustrum vulgare*).

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1471625, 5080764	1471626, 5080763	1471625, 5080762
circonferenza (cm)	112 (113-117-119-122-123)	110 (110-113-116-117-118)	106 (106-110-113-115-116)

note: ceppaia formata da tre tronchi, con un discreto ombreggiamento dovuto alle chiome (soprattutto sulla parte nord del tronco)

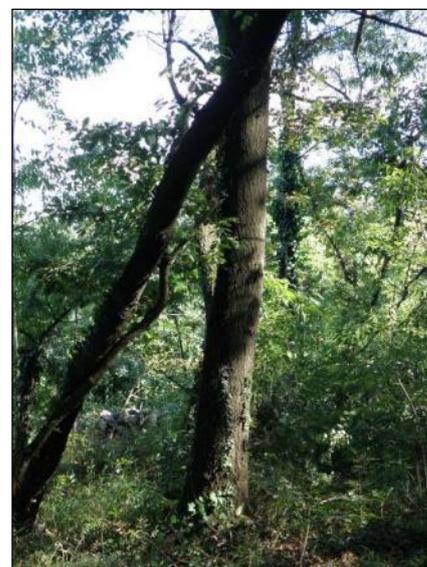
Stazione n. 08



a



b



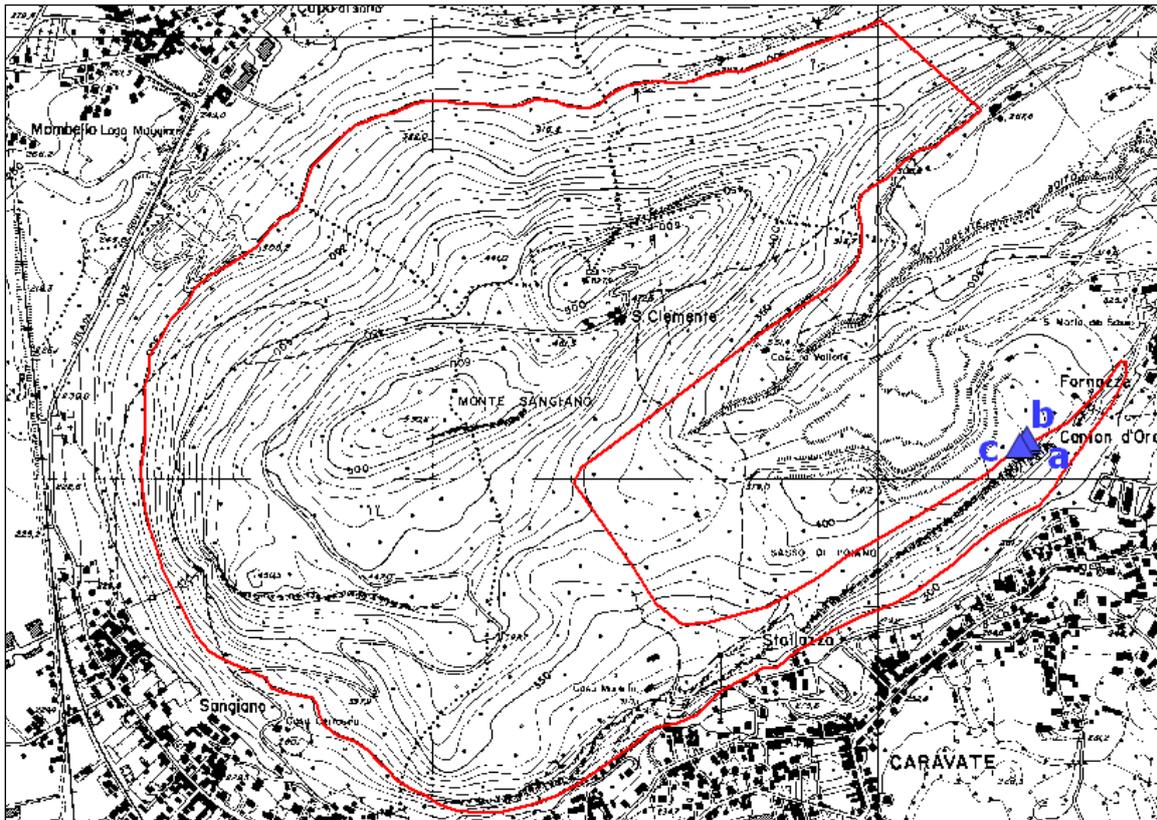
c

Descrizione: a pochi metri da un sentiero che percorre il tratto sud-orientale della collina; l'area, che si presenta terrazzata, è delimitata a sud-ovest da un vecchio muretto a secco, mentre a sud-est è presente un fossato. Bosco recentemente ripulito. Strato arboreo: *Quercus pubescens*, *Q. cerris*, *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus*, *Robinia pseudoacacia*, *Prunus avium*. Strato arbustivo: *Cornus mas*, *Acer campestre*, *Euonymus europaeus*, *Laurus nobilis*. Strato erbaceo: *Vinca minor*, *Carex digitata*, *C. flacca*, *Viola alba*, *Polygonatum multiflorum*, *Hedera helix*.

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1472380, 5080571	1472372, 5080571	1472366, 5080564
circonferenza (cm)	80 (87-95-103-111-117)	85 (89-94-100-107-112)	95 (99-102-105-108-111)

note: albero c con una roverella vicinissima

Stazione n. 09



a (il secondo da sinistra), b (a destra)

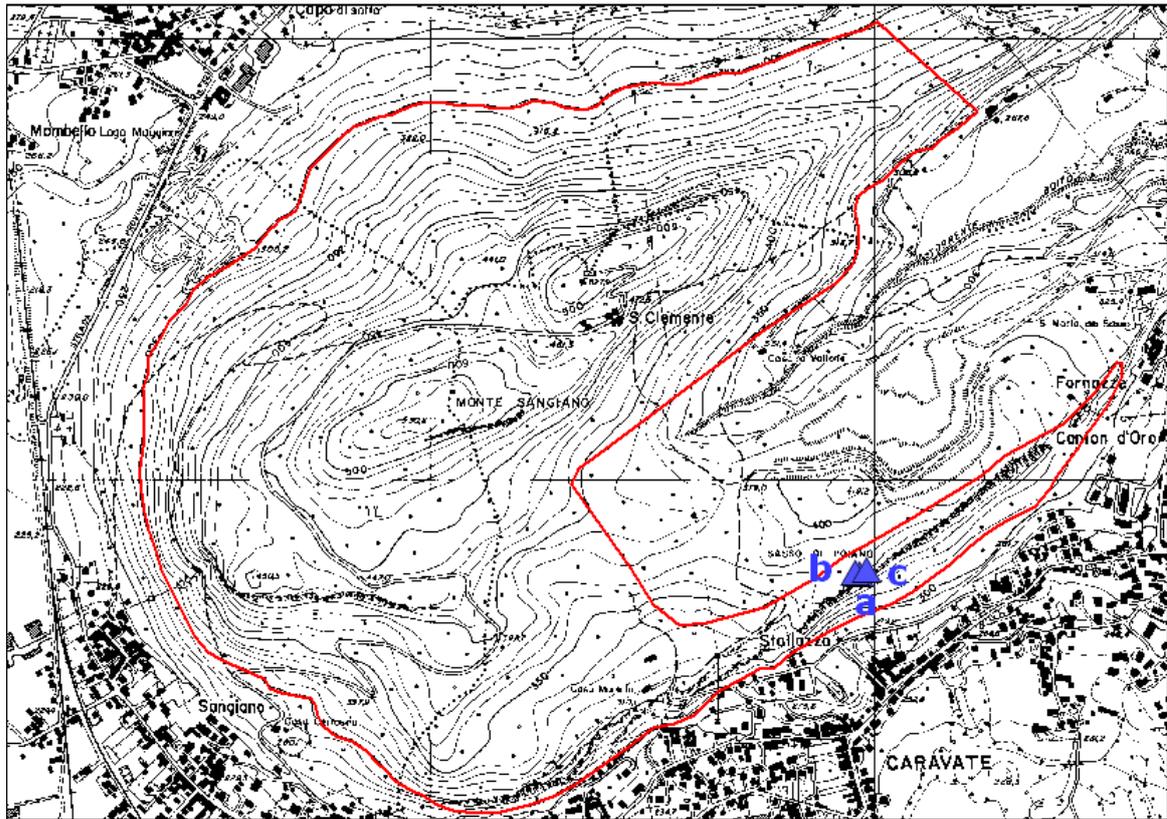
c (a destra)

Descrizione: raggiungibile abbandonando il sentiero e procedendo verso la rupe per una quarantina di metri. A pochi metri dalla rupe, in una boscaglia ceduata, ma verso il sentiero poco percorribile. Strato arboreo: *Quercus cerris* Q. *pubescens*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium*, *Robinia pseudoacacia*. Strato arbustivo: *Celtis australis*, *Cornus mas*, *Crataegus monogyna*, *Acer campestre*, *Ligustrum vulgare*. Strato erbaceo: *Ruscus aculeatus*, *Rubus fruticosus*, *Hedera helix*, *Vinca minor*, *Polygonatum multiflorum*, *Carex digitata*.

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1473336, 5081082	1473337, 5081087	1473322, 5081073
circonferenza (cm)	57 (60-65-65-67-69)	87 (88-90-91-93-94)	53 (55-56-57-64-66)

note: albero a è il tronco più grosso di una ceppaia di tre tronchi; albero c è una ceppaia di cinque tronchi: quello rilevato è verso la rupe (più diritto e con diametro maggiore)

Stazione n. 10



a



b



c



d



e



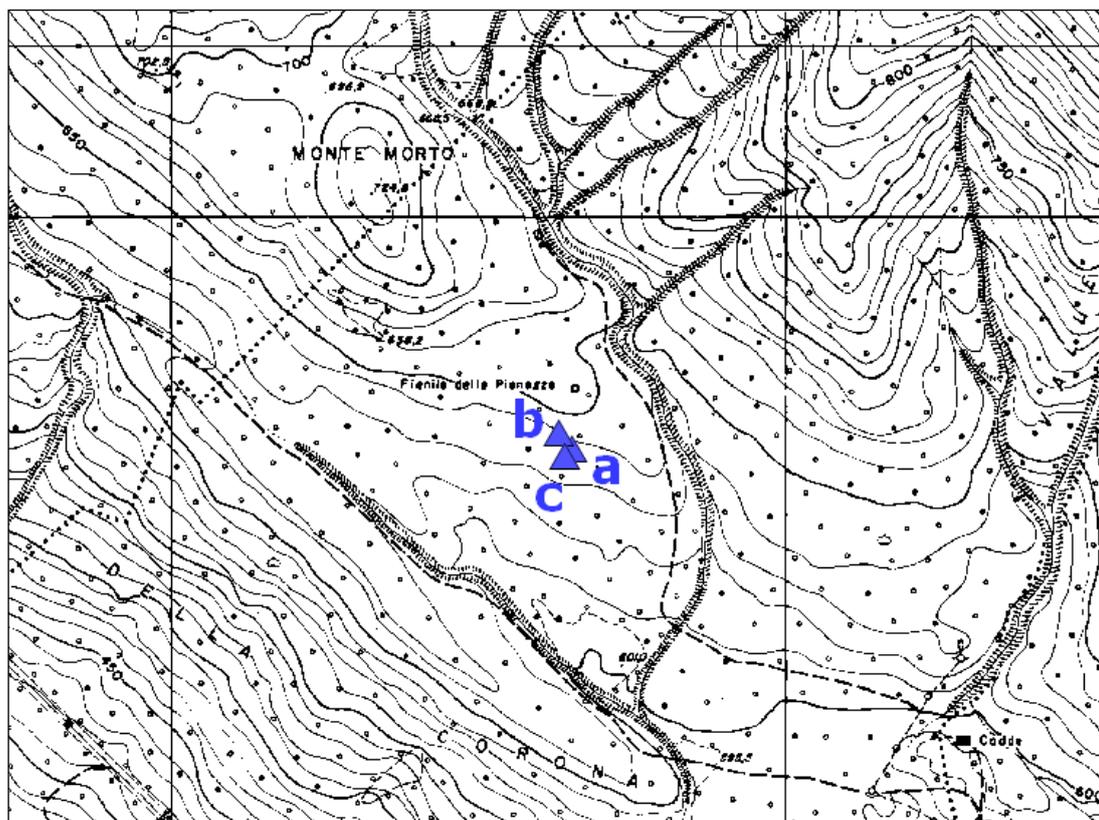
f

Descrizione: raggiungibile abbandonando il sentiero e procedendo verso la rupe per una quarantina di metri. A pochi metri dalla rupe, in una boscaglia ceduata, verso il sentiero poco percorribile. Bosco simile a 09, ma con *Trachycarpus fortunei* e *Fraxinus ornus*; *Carex flacca* è presente nello strato erbaceo.

Albero	a	b	c	d
coordinate (x, y)	1472969, 5080782	1472959, 5080785	1472985, 5080793	1472954, 5080789
circonferenza (cm)	84 (87-90-95-99-100)	60 (62-63)	87	(81-84)
Albero	e	f		
coordinate (x, y)	1472932, 5080763	1472932, 5080772		
circonferenza (cm)	(132-138-139)	(94-100-106)		

note: albero a nei pressi della rupe; il b è il tronco più verso il sentiero di una ceppaia di cinque tronchi. La maggior parte della UCS è occupata dalla cava e solo una breve fascia boscata è ricompresa nella ZSC; gli alberi campionati sono alcuni metri a nord del confine della ZSC
 2012: il bosco è stato tagliato, interessando anche specie quercine (es. tronchi della ceppaia di b); l'albero c non è stato ritrovato ed è stato sostituito con d (distante ca. 17 m verso nord-ovest dalla posizione di c); a seguito del taglio, maggior grado di luce nel sottobosco e sviluppo rigoglioso del rovo che rende difficoltoso l'accesso agli alberi
 2014: l'albero b faceva parte di una ceppaia di quattro tronchi, di cui ne sono rimasti solo due a seguito dei tagli pregressi; l'altro tronco rimasto è stato riscontrato morto, mentre l'albero b presenta uno scortecciamento presso la base del tronco, numerosi rami epicormici e uno scarso vigore della chioma
 2016: gli alberi b e d non sono idonei al campionamento, in quanto il tronco è ricoperto da rovi per un'altezza di oltre 2 m; sono sostituiti rispettivamente con e ed f

Stazione n. 11



a



b



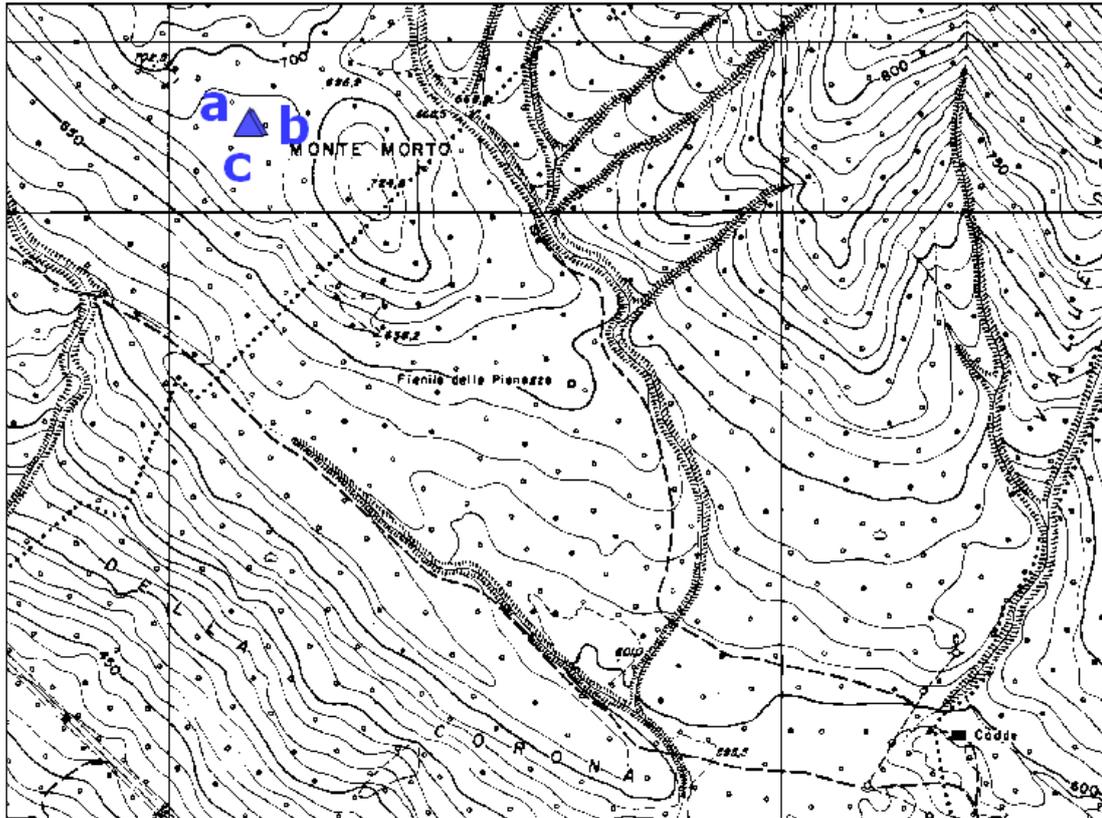
c

Descrizione: dalla località Caddè (Comerio) procedere lungo il sentiero per il Fienile delle Pianezze e prima di questa località prendere il sentiero che si stacca sulla sinistra, quindi proseguire per ca. 200 m., sino a giungere nei pressi di una radura a monte del sentiero. Bosco aperto, recentemente tagliato. Strato arboreo: *Quercus cerris*, *Castanea sativa*, *Betula pendula*, in subordine *Pinus sylvestris* e *Fagus sylvatica*. Strato arbustivo: assente. Strato erbaceo: *Pteridium aquilinum* e come dominante *Molinia caerulea*.

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1478654, 5078616	1478631, 5078645	1478640, 5078606
circonferenza (cm)	114 (116-119-120-123-125)	99 (101-103-105-106-108)	102 (104-112-116-118-121)

note: alberi a e b isolati, il c vicino ad un faggio

Stazione n. 12



a



b



c

Descrizione: dalla località Caddè (Comerio) procedere lungo il sentiero per il Fienile delle Pianezze e prima di questa località prendere il sentiero che si stacca sulla sinistra, quindi proseguire costeggiando le pendici del Monte Morto sino a poco prima dell'incrocio con il sentiero che discende da questa altura. Bosco rado, nei pressi del sentiero. Strato arboreo: *Quercus cerris*, *Betula pendula*, in subordine *Quercus robor*, *Populus tremula* e *Fagus sylvatica*. Strato arbustivo: *Castanea sativa*, *Corylus avellana*. Strato erbaceo: *Molinia caerulea*, *Rubus idaeus*, *Convallaria majalis*, *Luzula nivea*, *Pteridium aquilinum*.

Albero	a	b	c
coordinate (x, y)	1478133, 5079148	1478138, 5079147	1478131, 5079143
circonferenza (cm)	126 (129-133-135-136-139)	146 (149-151-155-159-162)	144 (146-149-152-155-156)

note: gli alberi sono in un pianoro, a pochi metri dal sentiero (a e b verso monte, c verso valle)

4.2. Dati completi relativi alla bioindicazione

4.2.1. Campagna ante operam: anno 2010

Specie	Stazione 01				01				01				02				02				02			
	Albero	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Espozione	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	5	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	2	2	5	5	5	1	5	5	2	1	1	5	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cladonia parasitica
Hyperphyscia adglutinata
Hypogymnia sp.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	1	.
Lepraria incana	2	.	1	.	.	1	1	2	2	.	1	1
Lepraria umbricola
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella
Flavoparmelia caperata	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata	2	.	.
Phaeophyscia endophoenicea	2	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	1	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
Xanthoria parietina

Specie	Stazione 03				03				03				04				04				04			
	Albero	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Espozione	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	2	.	2	3	5	4	4	2	2	1	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	.	.	.	2	5	.	.	5	5	2	.	2	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cladonia parasitica	2	2	1	1	3	1	.	3	1	2	1
Hyperphyscia adglutinata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.
Lecanora gr. subfusca	2	.	.	.	1	.	.	2	.	.	.
Lepraria lobificans	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	.	1	.	.	.	2	2	.	.
Lepraria incana
Lepraria umbricola	5	.	.	.	2	.
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.
Normandina pulchella	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endophoenicea	1	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	3	1	.	.	1	.	1	2	.	.
Physcia gr. adscendens	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	05 a w	05 a n	05 a e	05 a s	05 b w	05 b n	05 b e	05 b s	05 c w	05 c n	05 c e	05 c s	06 a w	06 a n	06 a e	06 a s	06 b w	06 b n	06 b e	06 b s	06 c w	06 c n	06 c e	06 c s	
Specie																									
Candelaria concolor	1	1	1	4	.	1	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	.	5	.	.	.	5	4	.	.	1	5	.	3	1	5
Cladonia parasitica	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	1	.	.
Hypogymnia sp.	1	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	1	1	.	.	.	.	1	1	.
Lepraria lobificans	2	2	5	.	1	.	.	2	1	.	.	2	2	.	.	1	
Lepraria incana
Lepraria umbricola	2	4	.
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	3	.	.	1	2	5	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endophoenicea
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	.	.	.	2	.	.	.	1	1	.	2	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	07 a w	07 a n	07 a e	07 a s	07 b w	07 b n	07 b e	07 b s	07 c w	07 c n	07 c e	07 c s	08 a w	08 a n	08 a e	08 a s	08 b w	08 b n	08 b e	08 b s	08 c w	08 c n	08 c e	08 c s	
Specie																									
Candelaria concolor	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	4	2	5	.	5	5	.	1	1	1	.	.	.	.
Candelariella reflexa	5	.	.	1	.	.	1	3	5	.	.	5	5	.	.	5	2	2	.	5	.	.	1	1	
Cladonia parasitica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	2	.	.	.	.	.	5	2	5	.	2	.	5	.	.	.	3	5	4	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	3	2	.	.	4	.	1	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	3	4	1	1	5	
Lepraria incana	.	.	1	5	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria umbricola	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria membranacea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	2	3	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endophoenicea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	09 a w	09 a n	09 a e	09 a s	09 b w	09 b n	09 b e	09 b s	09 c w	09 c n	09 c e	09 c s	10 a w	10 a n	10 a e	10 a s	10 b w	10 b n	10 b e	10 b s	10 c w	10 c n	10 c e	10 c s					
Specie																													
Candelaria concolor	4	5	3	5	5	5	5	5	2	.	.	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	1	5	
Candelariella reflexa	.	.	2	1	5	2	3	2	4	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	
Cladonia parasitica
Hyperphyscia adglutinata	5	.	5	5	5	3	5	1	1	.	.	.	2	1	5	5	5	2	4	3	3	2	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	1	
Lepraria lobificans	1	.	
Lepraria incana	5	
Lepraria umbricola	
Lepraria membranacea	
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	
Normandina pulchella	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	
Punctelia subrudecta	
Parmelia sulcata	
Phaeophyscia endophoenicea	
Phaeophyscia chloantha	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	
Physcia gr. adscendens	3	3	3	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	3	5	5	.	3	2	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	11				11				11				12				12				12			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	
Candelariella reflexa	
Cladonia parasitica	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	.	.	.	5	5	5	5	5	5	5	
Hyperphyscia adglutinata	
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	
Lepraria lobificans	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	1	.	2	.	5	.	5	5	5	
Lepraria incana	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.
Lepraria umbricola	
Lepraria membranacea	3	.	.	3	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	2	1	.	1	.	2	.	1	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	
Melanelixia sp.	
Normandina pulchella	
Flavoparmelia caperata	.	.	.	5	.	.	.	1	2	3	2	.	.	.	1	5	5	1	1	2	2	2	.	
Punctelia subrudecta	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	1	2	.	1	5	4	3	.	2	1	4	.	2	2	
Phaeophyscia endophoenicea	
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	1	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	
Xanthoria parietina	

4.2.2. 1ª campagna post operam: anno 2012

Stazione Albero Esposizione	01				01				01				02				02				02			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	5	4	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	
Candelariella reflexa	4	2	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	2	.	.	.	.	.	.	1	.	.	
Cladonia parasitica	
Hyperphyscia adglutinata	2	.	1	.	.	
Hypogymnia sp.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	
Lepraria incana	3	2	2	.	.	1	.	2	1	.	1	
Lepraria umbricola	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria membranacea	
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	
Flavoparmelia caperata	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta	
Parmelia sulcata	3	.	
Phaeophyscia endophoenicea	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina	

Stazione Albero Esposizione	03				03				03				04				04				04			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	2	1	4	5	5	4	4	4	3	1	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	.	.	1	2	5	1	.	5	5	2	1	5	.	5	1	.	.	1	.	.	1	.	.	
Cladonia parasitica	2	2	1	1	3	1	.	3	1	2	
Hyperphyscia adglutinata	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	2	.	.	.	1	.	.	1	.	.	
Lepraria lobificans	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	1	2	1	1	.	.	2	2	
Lepraria incana	
Lepraria umbricola	3	5	1	.	5	.	
Lepraria membranacea	
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	
Normandina pulchella	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1	.	1	.	1
Punctelia subrudecta	
Parmelia sulcata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endophoenicea	
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	3	1	.	.	.	.	3	2	.
Physcia gr. adscendens	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina	

Stazione Albero Esposizione	05 a w	05 a n	05 a e	05 a s	05 b w	05 b n	05 b e	05 b s	05 c w	05 c n	05 c e	05 c s	06 a w	06 a n	06 a e	06 a s	06 b w	06 b n	06 b e	06 b s	06 c w	06 c n	06 c e	06 c s	
Specie																									
Candelaria concolor	2	2	4	5	.	1	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
Candelariella reflexa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	1	.	1	5	4	.	3	5	4	2	2	5	
Cladonia parasitica
Hyperphyscia adglutinata	.	.	2	1	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	1	.	1	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	3	1	.	.	.	1	1	.	.
Lepraria lobificans	3	2	5	1	3	1	.	3	2	.	.	2	.	1	.	1	.
Lepraria incana	1	.	.	.	.	.	.
Lepraria umbricola	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	4	.	.
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	3	.	.	.	4	5	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endophoenicea
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	.	.	.	3	.	.	.	1	1	.	3	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	07 a w	07 a n	07 a e	07 a s	07 b w	07 b n	07 b e	07 b s	07 c w	07 c n	07 c e	07 c s	08 a w	08 a n	08 a e	08 a s	08 b w	08 b n	08 b e	08 b s	08 c w	08 c n	08 c e	08 c s	
Specie																									
Candelaria concolor	1	.	.	.	3	.	2	.	.	.	2	.	5	.	5	5	.	4	2	1	1	2	1	.	3
Candelariella reflexa	5	.	.	2	.	.	5	5	5	5	4	5	5	2	1	5	5	2	2	5	.	2	5	3	.
Cladonia parasitica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	2	.	.	.	1	.	5	2	5	.	2	.	5	3	.	4	5	5	2	.	.	1	.	.	
Hypogymnia sp.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	3	2	.	.	5	.	.	4	.	.	2	2	.	.	.	1	.	.	.	2	5	1	1	5	
Lepraria incana	.	1	1	5	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.
Lepraria umbricola	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria membranacea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	2	3	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
Punctelia subrudecta	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endophoenicea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	09 a w	09 a n	09 a e	09 a s	09 b w	09 b n	09 b e	09 b s	09 c w	09 c n	09 c e	09 c s	10 a w	10 a n	10 a e	10 a s	10 b w	10 b n	10 b e	10 b s	10 d w	10 d n	10 d e	10 d s	
Specie																									
Candelaria concolor	5	4	2	5	5	5	5	5	2	1	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
Candelariella reflexa	4	.	2	4	5	3	5	2	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
Cladonia parasitica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	5	1	5	5	5	5	5	4	2	1	1	1	2	1	5	5	5	3	1	1	.	.	3	.	
Hypogymnia sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
Lepraria incana	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria umbricola	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria membranacea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Melanelixia sp.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	.	.	.	.	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endophoenicea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	1	.	1	1	3	4	5	.	.	.	.	.	1	2	.	3	.	2	.	.	.	1	.	.	
Xanthoria parietina	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	
Candelariella reflexa	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cladonia parasitica	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	.	.	.	5	5	5	5	5	5	5	
Hyperphyscia adglutinata	
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	
Lepraria lobificans	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	1	5	5	2	5	3	5	5	5	
Lepraria incana	5	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	5	.	.	.	.
Lepraria umbricola	
Lepraria membranacea	1	.	.	.	3	.	.	3	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	2	3	.	1	.	.	2	1	.	.	.	.	.	5	.	1	1	.	
Melanelixia sp.	
Normandina pulchella	
Flavoparmelia caperata	.	.	3	5	.	.	2	1	2	3	2	1	.	.	3	5	5	1	3	4	.	.	2	2
Punctelia subrudecta	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	1	2	.	1	5	3	3	.	1	1	5	.	2	2	2
Phaeophyscia endophaenicea	
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	5	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	
Xanthoria parietina	

4.2.3. 2ª campagna post operam: anno 2014

Stazione Albero Esposizione	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	5	5	3	.	1	1	.	5	3	4	.	4	.	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.
Candelariella reflexa	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	.	.	1	.	.	2	1	.	.	.	
Cladonia parasitica	2	.	.	.	
Hyperphyscia adglutinata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1	.	.	.	
Hypogymnia sp.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	.	.	.
Lepraria incana	4	2	2	.	1	1	1	3	2	.	1	3
Lepraria umbricola	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria membranacea	
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta	1	.	.	.	.
Parmelia sulcata	1	.	.	2	.	.
Phaeophyscia endophaenicea	1	2	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	1	.	.	.	5	2	.	.	.	1	1	.	.	.	.
Xanthoria parietina	

Stazione Albero Esposizione	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04
	a	a	a	a	d	d	d	d	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	1	.	2	5	3	5	3	3	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	.	.	1	2	5	5	4	2	5	4	.	5	1	5	1	1	.	1	.	.	.	1	.	
Cladonia parasitica	2	2	1	3	3	3	.	4	3	3	2
Hyperphyscia adglutinata	.	1	2	1	3	5	1	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	1	1	.	.	1	1	.	.	1	1	.	
Lepraria lobificans	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	2	1	2	.	1	1	.	2	2	.
Lepraria incana	
Lepraria umbricola	1	5	.	.	5	1	
Lepraria membranacea	
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	
Normandina pulchella	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	1	1	.	.
Punctelia subrudecta	
Parmelia sulcata	1	.	.	.	.	.	1	1	1	.	1	.	.	.	.
Phaeophyscia endophaenicea	
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	3	3	2	.	.	.	.	.	3	2	.	
Physcia gr. adscendens	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina	

Stazione Albero Esposizione	05				05				05				06				06				06			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	5	3	5	5	2	4	4	5	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	
Candelariella reflexa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	.	1	5	5	.	2	5	3	3	2	5
Cladonia parasitica
Hyperphyscia adglutinata	5	1	2	4	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
Hypogymnia sp.	1	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	1	1	.	.	.	.	3	1	.	.	1	.
Lepraria lobificans	1	5	1	3	2	.	2	1	.	.	2	3	2	.	.
Lepraria incana	1	.	.	2	.	.	1	.
Lepraria umbricola	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	4	.	.
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	1	5	2	.	3	5	5	1	.	3	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endopoenicea
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	.	.	.	2	.	.	.	1	1	.	3	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	07				07				07				08				08				08			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	2	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	5	4	1	5	5	2	.	.	1	3	1	.	
Candelariella reflexa	5	.	.	4	3	.	5	5	3	.	1	4	5	3	4	5	5	5	1	5	3	3	5	4
Cladonia parasitica	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	2	.	.	.	.	.	5	1	2	.	.	.	5	.	.	1	5	5	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	3	2	.	2	5	.	.	4	.	.	2	3	.	.	.	1	.	.	2	5	3	3	5	
Lepraria incana	2	1	1	5	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	1	.	.	1	
Lepraria umbricola	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
Lepraria membranacea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Melanelixia sp.	2	.	.	1	.	2	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	2	3	.	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	
Punctelia subrudecta	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endopoenicea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	09				09				09				10				10				10			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	d	d	d	d
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	5	3	1	5	5	5	5	5	2	1	2	5	4	5	.	.	.	3	.	.	.	2	1	
Candelariella reflexa	5	.	1	5	5	3	5	1	4	4	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	4	5	5	2
Cladonia parasitica
Hyperphyscia adglutinata	5	1	5	5	5	5	5	4	2	1	1	.	2	2	5	4	.	2	.	1	.	.	.	
Hypogymnia sp.
Lecanora gr. subfusca
Lepraria lobificans	1
Lepraria incana	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria umbricola
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata
Phaeophyscia endopoenicea
Phaeophyscia chloantha	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena
Physcia gr. adscendens	1	.	.	2	4	2	5	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	11				11				11				12				12				12			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	
Candelariella reflexa	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cladonia parasitica	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	.	1	.	5	5	5	5	5	5	5	
Hyperphyscia adglutinata	
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	
Lepraria lobificans	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	2	5	5	3	5	3	5	5	5	
Lepraria incana	5	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	1	5	1	.	.	.	
Lepraria umbricola	
Lepraria membranacea	2	.	.	.	4	.	.	3	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	2	.	.	2	.	3	3	.	1	.	.	5	1	.	.	.	.	.	5	2	2	1	.
Melanelixia sp.	1	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	
Normandina pulchella	
Flavoparmelia caperata	.	.	3	5	.	.	2	1	3	3	2	1	2	.	5	5	5	2	3	5	.	.	2	1
Punctelia subrudecta	1
Parmelia sulcata	1	1	.	2	5	3	3	2	1	1	5	.	3	4	2
Phaeophyscia endopoenicea
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	3	5
Physcia gr. adscendens
Xanthoria parietina

4.2.4. 3ª campagna post operam: anno 2016

Stazione Albero Esposizione	01				01				01				02				02				02			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Caloplaca pyracea
Candelaria concolor	3	4	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.
Candelariella reflexa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	2	.	5	.	2	4	5	2	.	.	2
Cladonia parasitica	2	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	3	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	3	.	.	.	2	.	2	.
Lepraria incana	4	1	3	.	.	1	1	4	1	.	.	3
Lepraria umbricola	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	5	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata	1	.	.
Phaeophyscia endopoenicea
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
Physcia gr. adscendens	5	3	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	03				03				03				04				04				04			
	a	a	a	a	d	d	d	d	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Caloplaca pyracea
Candelaria concolor	2	.	2	5	2	5	.	4	2	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	.	.	.	2	3	3	2	5	2	4	2	5	3	5	.	.	.	1	.	.	.	.	.
Cladonia parasitica	2	3	1	3	4	2	.	4	3	3	2
Hyperphyscia adglutinata	.	5	.	5	5	5	3	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.
Lecanora gr. subfusca	1	1	.	.	1	1	1	.	1	1	.	.
Lepraria lobificans	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	1	2	.	.	1	.	1	2	1	.
Lepraria incana	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria umbricola	1	5	.	.	.	.	5
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.
Normandina pulchella	1	.	.	.	.	.	.	4	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	2	1	1	1	1	.	.	.
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata	1	.	1	.	.	.	.	.
Phaeophyscia endopoenicea
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	3	2	5	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	05				05				05				06				06				06					
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	d	d	d	d		
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s		
Caloplaca pyracea	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelaria concolor	5	3	5	4	3	4	5	5	3	2	3	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	
Candelariella reflexa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	.	3	5	5	3	4	5	1	.	2	5		
Cladonia parasitica		
Hyperphyscia adglutinata	5	.	3	4	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.		
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	1	5	.	.	.	3	2	2	2	.	.	.	1	3	.	1	2
Lepraria incana	
Lepraria umbricola	
Lepraria membranacea	
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	1	.	.
Normandina pulchella	3	5	2	1	5	5	5	3	.	5	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	1	.
Punctelia subrudecta	
Parmelia sulcata	
Phaeophyscia endopoenicea	
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	.	.	.	2	.	.	.	1	.	.	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	
Xanthoria parietina	

Stazione Albero Esposizione	07				07				07				08				08				08						
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c			
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s			
Caloplaca pyracea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelaria concolor	1	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	5	1	.	.	1	3	1	.
Candelariella reflexa	5	3	.	4	3	1	2	5	1	.	.	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	5	5
Cladonia parasitica	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	2	.	.	.	.	.	4	1	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	5	5	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	2	5	.	2	5	.	.	3	.	.	1	3	.	.	.	2	.	.	.	.	.	2	5	4	5	5
Lepraria incana	4	1	1	5	1	.	1	1	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
Lepraria umbricola	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
Lepraria membranacea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Melanelixia sp.	2	.	.	1	.	1	.	.	.	2	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	.	.	.	1	.	2	.	1	.	.	.	.	2	.	.	.	3	3	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	2	3	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
Phaeophyscia endopoenicea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.
Xanthoria parietina	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	09				09				09				10				10				10					
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	e	e	e	e	f	f	f	f		
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s		
Caloplaca pyracea
Candelaria concolor	.	1	3	3	5	3	5	5	3	.	1	2	3	5	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.
Candelariella reflexa	.	.	1	1	5	5	5	1	4	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	.	5	1
Cladonia parasitica
Hyperphyscia adglutinata	3	.	2	5	4	5	4	2	2	.	.	.	5	5	5	4	.	.	.	5	.	1	1	.	.	
Hypogymnia sp.
Lecanora gr. subfusca
Lepraria lobificans
Lepraria incana
Lepraria umbricola
Lepraria membranacea
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.
Normandina pulchella	1	5	4	.	.	.	.	.	1	.	.	.	5	5	5	1	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata
Punctelia subrudecta
Parmelia sulcata
Phaeophyscia endopoenicea
Phaeophyscia chloantha	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena
Physcia gr. adscendens	1	.	.	.	1	2	3	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	1
Xanthoria parietina

Stazione Albero Esposizione	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Caloplaca pyracea	
Candelaria concolor	
Candelariella reflexa	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cladonia parasitica	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	.	1	.	5	5	5	5	5	5	5	
Hyperphyscia adglutinata	
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	
Lepraria lobificans	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	3	5	5	4	2	5	5	3	5	3	5	5	5	
Lepraria incana	3	.	.	.	.	.	.	2	.	1	2	.	1	5	2	.	.	.	
Lepraria umbricola	
Lepraria membranacea	2	.	.	.	5	.	.	3	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	2	.	.	1	.	3	4	.	1	.	5	.	1	.	.	.	.	5	1	1	1	.	.
Melanelixia sp.	1	.	.	.	
Normandina pulchella	
Flavoparmelia caperata	.	.	3	5	.	.	1	1	3	3	2	2	1	.	5	5	5	1	3	5	.	3	1	
Punctelia subrudecta	
Parmelia sulcata	1	.	.	.	1	.	2	1	3	5	.	3	4	2
Phaeophyscia endophoenicea	
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	2	3	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	
Xanthoria parietina	

4.2.5. 4^a campagna post operam: anno 2018

Stazione Albero Esposizione	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	1	4	5	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	3	5	.	1	4	4	3	.	.	
Cladonia parasitica	1	.	.	
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria incana	4	1	5	.	.	.	1	5	1	.	4	
Lepraria lobificans	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	3	.	.	.	4	.	.	.	3	.	3
Lepraria membranacea	
Lepraria umbricola	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	5	5	1	.	1	.	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia subrudecta	
Parmelia sulcata	1	.	.	1	1	.	
Phaeophyscia sp.	
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
Physcia gr. adscendens	3	2	.	.	.	1	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04
	e	e	e	e	d	d	d	d	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	.	1	.	.	5	5	.	4	2	3	1	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.
Candelariella reflexa	2	5	3	4	4	3	3	5	5	5	4	5	3	5	.	2	.	1	.	.	.	.	1
Cladonia parasitica	1	2	3	1	3	4	.	.	4	4	1	1
Flavoparmelia caperata	2	1	1	1
Hyperphyscia adglutinata	.	2	1	1	5	5	3	2	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	1	1	.	.	1	1	.	.	1	1	.	
Lepraria incana	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	1	2	1	.	.	.	1	.	.	1	1	
Lepraria membranacea	
Lepraria umbricola	5	.	.	.	.
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	
Normandina pulchella	4	4	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	4	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia subrudecta	
Parmelia sulcata	1	.	.	.	.	.	1	
Phaeophyscia sp.	
Phaeophyscia chloantha	
Phlyctis argena	1	.	3	.	.	.	.	1	1	.	
Physcia gr. adscendens	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	05				05				05				06				06				06			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	d	d	d	d
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	5	3	5	4	4	4	5	5	5	4	3	4	1	.	.	.	.	1	.	.	.	2	.	
Candelariella reflexa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	.	3	5	5	3	5	5	2	.	1	5
Cladonia parasitica
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	1
Hyperphyscia adglutinata	5	1	3	4	2	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymna sp.
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	1	1	.	.	.	.	1	.
Lepraria incana	1	.	1	2	.	.	.	.
Lepraria lobificans	4	.	3	1	1	2	.	.	.	1	3	.	1	2
Lepraria membranacea
Lepraria umbricola
Lepraria vouaxii
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	5	5	4	2	5	5	5	5	.	5	1	2	1	.	.	1	.	2	2	.	.	.	.	.
Parmelia subrudecta
Parmelia sulcata
Phaeophyscia sp.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	07				07				07				08				08				08			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	.	1	.	2	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	2	1	1	.
Candelariella reflexa	4	1	.	5	1	.	2	5	2	.	1	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	
Cladonia parasitica	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	2	2	.	.	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	2	.	.	.	.	.	4	1	1	.	.	.	1	.	.	5	3	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymna sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria incana	4	2	1	5	4	.	2	2	2	.	.	4	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	2	
Lepraria lobificans	1	5	.	1	5	.	.	2	.	.	1	1	.	.	.	.	.	2	5	5	5	5	5	
Lepraria membranacea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria umbricola	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.
Lepraria vouaxii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Melanelixia sp.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	1	.	.	1	1	4	.	1	1	.	.	.	2	1	.	4	5	2	.	.	2	2	.
Parmelia subrudecta	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.
Phaeophyscia sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	09				09				09				10				10				10			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	e	e	e	e	f	f	f	f
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	3	1	4	5	5	3	5	5	1	1	1	.	3	5	.	.	.	.	2	.	.	1	.	
Candelariella reflexa	1	.	.	1	5	5	5	1	4	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	.	1	5	3	
Cladonia parasitica
Flavoparmelia caperata
Hyperphyscia adglutinata	5	.	5	5	4	5	4	3	.	.	.	.	5	5	5	4	.	.	3	.	.	5	.	
Hypogymna sp.
Lecanora gr. subfusca
Lepraria incana	3	1	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans
Lepraria membranacea
Lepraria umbricola
Lepraria vouaxii
Melanelixia sp.
Normandina pulchella	2	5	4	.	.	.	1	.	1	1	.	.	5	5	5	2	1	.	3	.
Parmelia subrudecta
Parmelia sulcata
Phaeophyscia sp.
Phaeophyscia chloantha	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	1	1	.	3
Physcia gr. adscendens	1	.	.	1	1	3	3	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	11				11				11				12				12				12			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	
Candelariella reflexa	
Cladonia parasitica	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	.	5	1	5	5	5	5	5	5	5	
Flavoparmelia caperata	.	.	2	4	.	.	.	1	2	4	1	1	2	.	5	5	5	1	3	5	.	.	3	1
Hyperphyscia adglutinata
Hypogymna sp.
Lecanora gr. subfusca
Lepraria incana	2	.	1	2	.	.	1	5	2	.	.	.
Lepraria lobificans	5	5	5	5	.	4	5	5	5	5	2	5	5	3	2	4	5	3	5	3	5	5	5	
Lepraria membranacea	1	.	.	.	2	1	.	2	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria umbricola
Lepraria vouauxii	.	.	.	1	.	1	4	.	1	.	.	3	2	.	.	.	.	.	.	4	2	2	1	.
Melanelixia sp.	1	.	.	.
Normandina pulchella
Parmelia subrudecta
Parmelia sulcata	1	.	1	3	1	1	2	.	3	5	.	3	4	2
Phaeophyscia sp.
Phaeophyscia chloantha
Phlyctis argena	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens

4.2.6. 5ª campagna post operam: anno 2020

Stazione Albero Esposizione	01				01				01				02				02				02			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	.	2	5	.	1	5	5	3	1	.	.
Cladonia parasitica	1	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	.	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria incana	4	1	5	.	.	1	4	1	1	.	5	.
Lepraria lobificans	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	1	5	.	1	.	3	.	4	1
Lepraria membranacea
Lepraria umbricola	1	1
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	5	5	2	.	2	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
Parmelia sulcata	1	1	.	.	.
Phaeophyscia chloantha
Phaeophyscia sp.
Phlyctis argena	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.
Physcia gr. adscendens	2	2	1	.	.	1	.	.	1	.	.	.
Punctelia subrudecta	1	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	03				03				03				04				04				04			
	e	e	e	e	d	d	d	d	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	.	2	.	.	4	4	.	4	3	3	1	.	.	.	1	1	.	.	1	.	1	.	.	.
Candelariella reflexa	1	1	1	.	2	2	3	5	5	5	5	5	1	5	3	3	.	.	.	.	.	.	.	.
Cladonia parasitica	2	3	2	1	2	4	.	5	4	2	4
Flavoparmelia caperata	1	2	1	.	1	1	.	.	.
Hyperphyscia adglutinata	.	2	2	1	3	3	5	2	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.
Lecanora gr. subfusca	1	1	.	.	1	1	.	1	1	.	.	.
Lepraria incana	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans	1	4	.	.	1	.	1	.	.	2	.	.
Lepraria membranacea
Lepraria umbricola	5	.	.	.	.	.
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.
Normandina pulchella	5	5	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	5	5	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.
Parmelia sulcata	1
Phaeophyscia chloantha
Phaeophyscia sp.
Phlyctis argena	4	.	3	.	.	.	2	1	.	.	.
Physcia gr. adscendens	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta

Stazione Albero Esposizione	05				05				05				06				06				06			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	d	d	d	d
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	5	1	5	3	3	1	.	2	5	1	3	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Candelariella reflexa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	.	1	5	5	3	5	5	.	.	4	
Cladonia parasitica	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	
Hyperphyscia adglutinata	4	.	3	1	2	.	2	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	
Lecanora gr. subfusca	1	.	.	3	1	.	.	.	.	1	.	
Lepraria incana	1	.	.	1	.	1	3	.	.	.	.
Lepraria lobificans	3	.	3	.	1	2	.	.	1	3	.	1	2	
Lepraria membranacea	
Lepraria umbricola	
Lepraria vouauxii	
Melanelixia sp.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	5	5	4	3	5	5	5	5	.	5	4	4	1	.	.	1	.	4	5	.	.	.	.
Parmelia sulcata	
Phaeophyscia chloantha	
Phaeophyscia sp.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta	

Stazione Albero Esposizione	07				07				07				08				08				08			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.
Candelariella reflexa	1	1	.	5	1	.	.	2	3	.	1	5	5	5	2	5	5	4	5	5	2	4	4	5
Cladonia parasitica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Flavoparmelia caperata	1	.	2	2	.	.	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
Hyperphyscia adglutinata	1	.	.	.	.	.	3	.	1	.	.	.	1	1	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.
Hypogymnia sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lecanora gr. subfusca	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria incana	3	2	2	5	5	.	2	1	5	.	.	5	.	1	.	2	.	.	1	3	.	.	2	2
Lepraria lobificans	1	5	.	.	3	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	5	5	5	5	
Lepraria membranacea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lepraria umbricola	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
Lepraria vouauxii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Melanelixia sp.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Normandina pulchella	.	3	.	.	1	1	4	.	1	1	.	.	2	2	2	.	5	5	2	.	.	2	3	.
Parmelia sulcata	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia chloantha	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phlyctis argena	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Physcia gr. adscendens	.	.	.	.	.	1	1	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
Punctelia subrudecta	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Stazione Albero Esposizione	09				09				09				10				10				10			
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	e	e	e	e	f	f	f	f
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	1	1	2	2	5	3	5	5	.	2	.	1	1	2	.	.	.	.	2	.	.	.	.
Candelariella reflexa	5	5	5	3	3	2	2	5	5	5	5	5	3	5	5	.	1	5	3	
Cladonia parasitica
Flavoparmelia caperata
Hyperphyscia adglutinata	3	.	.	1	5	2	3	1	.	.	.	.	5	5	3	4	.	.	1	4	.	.	5	.
Hypogymnia sp.
Lecanora gr. subfusca
Lepraria incana	5	1	.	.	.	.
Lepraria lobificans
Lepraria membranacea
Lepraria umbricola
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.
Normandina pulchella	3	5	5	.	3	.	.	.	.	2	1	.	5	5	5	2	.	.	5	.
Parmelia sulcata
Phaeophyscia chloantha	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia sp.
Phlyctis argena	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	4
Physcia gr. adscendens	1	.	.	1	1	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta

Stazione Albero Esposizione	09				09				09				10				10							
	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	e	e	e	e	f	f	f	f
Specie	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s	w	n	e	s
Candelaria concolor	1	1	2	2	5	3	5	5	.	2	.	1	1	2	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.
Candelariella reflexa	5	5	5	3	3	2	2	5	5	5	5	5	5	3	5	5	.	1	5	3
Cladonia parasitica
Flavoparmelia caperata
Hyperphyscia adglutinata	3	.	.	1	5	2	3	1	.	.	.	.	5	5	3	4	.	.	1	4	.	.	5	.
Hypogymnia sp.
Lecanora gr. subfusca
Lepraria incana	5	1	.	.	.	.	.
Lepraria lobificans
Lepraria membranacea
Lepraria umbricola
Lepraria vouauxii
Melanelixia sp.
Normandina pulchella	3	5	5	.	3	.	.	.	.	2	1	.	5	5	5	2	.	.	5	.
Parmelia sulcata
Phaeophyscia chloantha	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phaeophyscia sp.
Phlyctis argena	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	4
Physcia gr. adscendens	1	.	.	1	1	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Punctelia subrudecta

4.3. Dati completi relativi al bioaccumulo

4.3.1. Campagna ante operam: anno 2010

Percentuali di azoto misurati nelle tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni di corteccia raccolti.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
01	a	1.24	1.21	1.22	1.22
01	b	1.05	1.03	1.01	1.03
01	c	1.06	1.11	1.47	1.21
02	a	1.29	1.24	1.17	1.23
02	b	1.50	1.29	1.50	1.43
02	c	1.12	1.13	1.10	1.12
03	a	1.23	1.33	1.32	1.29
03	b	1.44	1.54	1.43	1.47
03	c	1.15	1.10	1.10	1.12
04	a	1.19	1.21	1.20	1.20
04	b	1.09	1.07	0.99	1.05
04	c	0.99	0.88	1.01	0.96
05	a	1.20	1.25	1.16	1.20
05	b	1.53	1.43	1.51	1.49
05	c	1.07	0.93	1.01	1.00
06	a	0.90	0.94	0.89	0.91
06	b	1.09	1.24	1.23	1.19
06	c	1.33	1.41	1.28	1.34
07	a	1.20	1.26	1.24	1.23
07	b	1.38	1.35	1.58	1.44
07	c	1.22	1.31	1.20	1.24
08	a	0.71	0.63	0.65	0.66
08	b	1.10	1.13	1.10	1.11
08	c	0.98	0.79	1.08	0.95
09	a	0.88	0.92	0.83	0.88
09	b	1.39	1.42	1.29	1.37
09	c	0.90	0.95	0.90	0.92
10	a	1.33	1.37	1.25	1.32
10	b	1.52	1.41	1.59	1.51
10	c	1.23	1.20	1.19	1.21
11	a	1.42	1.41	1.44	1.42
11	b	1.53	1.57	1.49	1.53
11	c	1.44	1.26	1.25	1.32
12	a	1.22	1.18	1.17	1.19
12	b	1.46	1.53	1.52	1.50
12	c	1.14	1.12	1.13	1.13

Percentuali di azoto misurati in tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni del lichene *Flavoparmelia caperata* (NB: per il campione raccolto dall'albero 11b è stato possibile effettuare soltanto due analisi, causa le ridotte quantità di materiale a disposizione).

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
07	a	2.36	2.31	2.31	2.33
07	b	2.01	2.06	1.94	2.00
11	a	1.74	1.67	1.75	1.72
11	b	2.02	1.98	x	2.00
12	a	1.76	1.79	1.81	1.79
12	b	1.85	1.92	1.94	1.90

Valori di pH e conducibilità elettrica nei campioni di corteccia.

Stazione	Albero	pH	Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
01	a	4.04	68
01	b	4.42	77
01	c	4.29	70
02	a	4.00	94
02	b	3.97	61
02	c	4.54	73
03	a	4.75	87
03	b	4.96	76
03	c	4.76	81
04	a	4.05	87
04	b	3.52	78
04	c	3.79	70
05	a	5.07	129
05	b	4.19	102
05	c	4.25	86
06	a	3.98	65
06	b	3.81	74
06	c	4.40	64
07	a	3.85	98
07	b	3.86	76
07	c	4.38	76
08	a	4.52	79
08	b	4.33	71
08	c	4.70	78
09	a	4.48	77
09	b	4.98	102
09	c	4.26	100
10	a	5.07	94
10	b	4.73	133
10	c	4.75	92
11	a	3.65	80
11	b	3.65	84
11	c	3.77	90
12	a	3.86	68
12	b	3.75	84
12	c	4.55	104

4.3.2. 1^a campagna post operam: anno 2012

Percentuali di azoto misurati nelle tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni di corteccia raccolti.

Stazione	Analisi Albero	N%			media
		1	2	3	
01	a	1.40	1.33	1.36	1.36
01	b	1.04	1.00	1.05	1.03
01	c	1.40	1.33	1.36	1.36
02	a	1.43	1.38	1.39	1.40
02	b	1.42	1.39	1.43	1.41
02	c	1.21	1.29	1.23	1.24
03	a	1.32	1.24	1.30	1.29
03	b	1.40	1.40	1.42	1.41
03	c	1.20	1.22	1.18	1.20
04	a	1.23	1.17	1.21	1.20
04	b	0.91	0.96	0.88	0.92
04	c	1.11	1.05	1.13	1.10
05	a	1.19	1.21	1.23	1.21
05	b	1.09	1.17	1.12	1.13
05	c	1.28	1.25	1.30	1.28
06	a	1.39	1.47	1.43	1.43
06	b	1.23	1.24	1.24	1.24
06	c	1.55	1.52	1.51	1.53
07	a	1.58	1.52	1.54	1.55
07	b	1.64	1.63	1.65	1.64
07	c	1.50	1.49	1.52	1.50
08	a	0.94	1.05	1.02	1.00
08	b	1.31	1.27	1.29	1.29
08	c	1.21	1.16	1.19	1.19
09	a	1.01	0.93	0.95	0.96
09	b	1.15	1.18	1.15	1.16
09	c	1.13	1.17	1.10	1.13
10	a	1.30	1.27	1.28	1.28
10	b	1.37	1.39	1.30	1.35
10	d	1.47	1.45	1.44	1.45
11	a	1.49	1.42	1.52	1.48
11	b	1.45	1.40	1.39	1.41
11	c	1.53	1.58	1.56	1.56
12	a	1.08	1.09	1.18	1.12
12	b	1.36	1.32	1.42	1.37
12	c	1.29	1.32	1.24	1.28

Percentuali di azoto misurati in tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni del lichene *Flavoparmelia caperata*.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
07	a	2.39	2.48	2.49	2.45
07	b	1.87	1.90	1.85	1.87
11	a	1.54	1.48	1.51	1.51
11	b	1.56	1.60	1.58	1.58
12	a	1.70	1.75	1.67	1.71
12	b	1.93	1.97	1.91	1.94

Valori di pH e conducibilità elettrica nei campioni di corteccia.

Stazione	Albero	pH	Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
01	a	4.06	79
01	b	4.33	89
01	c	4.17	96
02	a	4.02	86
02	b	3.87	100
02	c	3.88	91
03	a	4.75	117
03	b	4.60	109
03	c	4.20	79
04	a	4.18	89
04	b	3.71	77
04	c	3.64	69
05	a	4.86	95
05	b	4.65	89
05	c	4.38	87
06	a	4.05	71
06	b	4.29	77
06	c	4.73	99
07	a	4.11	77
07	b	4.05	73
07	c	4.09	79
08	a	4.18	78
08	b	4.55	87
08	c	4.04	82
09	a	4.60	89
09	b	4.82	110
09	c	4.22	96
10	a	4.77	88
10	b	4.70	109
10	d	4.46	89
11	a	3.93	72
11	b	3.69	66
11	c	3.91	83
12	a	3.47	62
12	b	3.58	64
12	c	4.16	81

4.3.3. 2^a campagna post operam: anno 2014

Percentuali di azoto misurati nelle tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni di corteccia raccolti.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
01	a	1.46	1.28	1.44	1.39
01	b	1.31	1.33	1.31	1.32
01	c	1.02	1.10	0.89	1.00
02	a	1.41	1.42	1.32	1.38
02	b	1.42	1.41	1.38	1.40
02	c	1.29	1.39	1.29	1.32
03	a	1.33	1.33	1.23	1.30
03	d	0.98	0.89	0.91	0.93
03	c	1.25	1.14	1.11	1.17
04	a	1.29	1.27	1.32	1.29
04	b	1.34	1.32	1.39	1.35
04	c	1.17	1.07	1.13	1.12
05	a	1.26	1.27	1.25	1.26
05	b	1.36	1.36	1.26	1.33
05	c	1.12	1.04	1.10	1.09
06	a	1.36	1.08	1.13	1.19
06	b	1.27	1.37	1.33	1.32
06	c	1.39	1.49	1.40	1.43
07	a	1.38	1.23	1.31	1.31
07	b	1.41	1.44	1.48	1.44
07	c	1.35	1.35	1.35	1.35
08	a	0.91	1.09	0.97	0.99
08	b	1.32	1.23	1.17	1.24
08	c	1.02	1.06	1.16	1.08
09	a	1.10	1.08	1.07	1.08
09	b	1.29	1.35	1.29	1.31
09	c	1.24	1.18	1.22	1.21
10	a	1.40	1.39	1.41	1.40
10	b	1.37	1.25	1.33	1.32
10	d	1.57	1.27	1.43	1.42
11	a	1.51	1.63	1.51	1.55
11	b	1.41	1.39	1.32	1.37
11	c	1.68	1.65	1.61	1.65
12	a	1.28	1.36	1.46	1.37
12	b	1.48	1.55	1.56	1.53
12	c	1.68	1.40	1.46	1.51

Percentuali di azoto misurati in tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni del lichene *Flavoparmelia caperata*.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
07	a	2.43	2.48	2.42	2.44
07	b	2.47	2.32	2.20	2.33
11	a	1.68	1.51	1.61	1.60
11	b	1.86	1.72	1.76	1.78
12	a	1.93	1.90	1.82	1.88
12	b	1.85	1.62	1.77	1.75

Valori di pH nei campioni di corteccia (come riportato nel Paragrafo 2.2.2, i dati sulla conducibilità non sono stati misurati).

Stazione	Albero	pH
01	a	5.34
01	b	5.35
01	c	4.91
02	a	4.79
02	b	4.76
02	c	4.74
03	a	6.00
03	d	5.87
03	c	5.20
04	a	5.13
04	b	4.98
04	c	4.80
05	a	6.02
05	b	5.84
05	c	5.79
06	a	5.01
06	b	5.65
06	c	6.29
07	a	5.05
07	b	5.15
07	c	5.04
08	a	5.20
08	b	5.56
08	c	5.02
09	a	5.77
09	b	6.18
09	c	5.16
10	a	5.90
10	b	5.35
10	d	5.00
11	a	4.69
11	b	4.67
11	c	4.64
12	a	4.43
12	b	4.53
12	c	4.99

4.3.4. 3^a campagna post operam: anno 2016

Percentuali di azoto misurati nelle tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni di corteccia raccolti.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
01	a	1.43	1.42	1.40	1.42
01	b	1.08	1.21	1.09	1.13
01	c	1.06	0.79	0.93	0.93
02	a	1.15	0.99	0.99	1.04
02	b	1.21	1.19	1.11	1.17
02	c	1.17	1.10	1.23	1.17
03	a	1.02	1.12	0.99	1.04
03	d	1.13	1.12	0.92	1.06
03	c	1.07	1.04	1.04	1.05
04	a	1.09	1.01	1.03	1.04
04	b	0.78	0.85	0.86	0.83
04	c	0.91	0.80	0.81	0.84
05	a	1.00	0.92	0.98	0.97
05	b	0.88	1.00	0.91	0.93
05	c	0.89	0.97	0.88	0.91
06	a	1.17	1.02	1.03	1.07
06	b	0.98	0.93	0.86	0.92
06	d	1.27	1.15	1.27	1.23
07	a	1.17	1.21	1.11	1.16
07	b	1.22	1.16	1.31	1.23
07	c	1.19	1.00	1.03	1.07
08	a	0.75	0.76	0.77	0.76
08	b	0.75	0.91	0.73	0.80
08	c	0.99	1.25	0.98	1.07
09	a	0.80	0.77	0.89	0.82
09	b	1.14	1.28	1.13	1.18
09	c	0.95	0.84	0.92	0.90
10	a	1.33	1.35	1.25	1.31
10	e	1.49	1.58	1.62	1.56
10	f	1.22	1.07	1.11	1.13
11	a	1.38	1.49	1.42	1.43
11	b	1.38	1.37	1.45	1.40
11	c	1.35	1.41	1.30	1.35
12	a	1.11	0.99	1.07	1.06
12	b	1.37	1.42	1.47	1.42
12	c	1.45	1.26	1.34	1.35

Percentuali di azoto misurati in tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni del lichene *Flavoparmelia caperata* (NB: data la scarsa quantità di tallo lichenico a disposizione, non è stato possibile eseguire sempre tre repliche per ciascuna analisi).

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
07	a	2.63	2.94	x	2.44
07	b	2.95	x	x	2.33
11	a	1.48	1.49	1.35	1.60
11	b	1.98	x	x	1.78
12	a	1.75	1.81	1.92	1.88
12	b	1.66	1.87	1.73	1.75

Valori di pH nei campioni di corteccia (come riportato nel Paragrafo 2.2.2, i dati sulla conducibilità non sono stati misurati).

Stazione	Albero	pH
01	a	4.86
01	b	4.71
01	c	4.65
02	a	4.77
02	b	4.50
02	c	4.52
03	a	5.30
03	d	5.36
03	c	5.04
04	a	5.20
04	b	4.80
04	c	4.83
05	a	5.36
05	b	5.52
05	c	5.61
06	a	4.91
06	b	5.21
06	d	4.44
07	a	4.71
07	b	4.75
07	c	4.94
08	a	4.71
08	b	4.94
08	c	4.91
09	a	5.36
09	b	5.75
09	c	5.03
10	a	5.67
10	e	5.63
10	f	4.95
11	a	4.23
11	b	4.23
11	c	4.15
12	a	3.88
12	b	4.02
12	c	4.82

4.3.5. 4^a campagna post operam: anno 2018

Percentuali di azoto misurati nelle tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni di corteccia raccolti.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
01	a	0.93	1.12	1.16	1.07
01	b	1.06	0.97	0.96	1.00
01	c	1.21	1.05	1.10	1.12
02	a	1.35	1.41	1.46	1.41
02	b	1.29	1.21	1.22	1.24
02	c	1.18	1.17	1.20	1.18
03	e	1.38	1.36	1.44	1.39
03	d	1.19	1.08	1.28	1.18
03	c	0.87	0.86	0.92	0.88
04	a	1.32	1.34	1.26	1.31
04	b	1.01	0.99	1.05	1.02
04	c	0.90	1.11	0.94	0.98
05	a	1.09	1.08	1.14	1.10
05	b	1.17	1.21	1.18	1.19
05	c	1.05	1.16	0.97	1.06
06	a	1.21	1.24	1.21	1.22
06	b	1.25	1.23	1.28	1.25
06	d	1.54	1.49	1.52	1.52
07	a	1.33	1.26	1.42	1.34
07	b	1.55	1.38	1.52	1.48
07	c	1.38	1.37	1.26	1.34
08	a	1.17	1.18	1.07	1.14
08	b	1.49	1.59	1.62	1.57
08	c	1.88	1.69	1.52	1.70
09	a	0.92	1.03	0.99	0.98
09	b	1.33	1.51	1.46	1.43
09	c	1.41	1.35	1.49	1.42
10	a	1.69	1.61	1.68	1.66
10	e	1.60	1.67	1.57	1.61
10	f	1.61	1.72	1.55	1.63
11	a	1.50	1.34	1.54	1.46
11	b	1.30	1.37	1.45	1.37
11	c	1.53	1.39	1.46	1.46
12	a	1.51	1.40	1.49	1.47
12	b	1.27	1.36	1.35	1.33
12	c	1.33	1.39	1.34	1.35

Percentuali di azoto misurati in tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni del lichene *Flavoparmelia caperata*.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
07	a	2.20	2.15	2.17	2.17
11	a	1.73	1.68	1.75	1.72
11	c	1.82	1.83	1.90	1.85
12	a	2.01	1.91	2.00	1.97
12	b	2.12	2.21	2.16	2.16

Valori di pH nei campioni di corteccia (come riportato nel Paragrafo 2.2.2, i dati sulla conducibilità non sono stati misurati).

Stazione	Albero	pH
01	a	5.16
01	b	5.25
01	c	5.33
02	a	5.07
02	b	4.92
02	c	4.77
03	e	5.38
03	d	5.29
03	c	5.25
04	a	5.35
04	b	5.26
04	c	5.05
05	a	5.29
05	b	5.43
05	c	5.48
06	a	5.30
06	b	5.40
06	d	4.71
07	a	5.00
07	b	5.18
07	c	5.41
08	a	4.88
08	b	5.03
08	c	5.01
09	a	5.22
09	b	5.47
09	c	5.35
10	a	5.54
10	e	5.51
10	f	5.07
11	a	4.20
11	b	4.29
11	c	4.34
12	a	4.12
12	b	4.02
12	c	4.33

4.3.6. 5ª campagna post operam: anno 2020

Percentuali di azoto misurati nelle tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni di corteccia raccolti.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
01	a	1.22	1.46	1.26	1.31
01	b	1.15	0.98	1.01	1.05
01	c	0.98	0.83	0.77	0.86
02	a	1.32	1.10	1.30	1.24
02	b	1.19	1.28	1.41	1.29
02	c	1.29	1.65	1.32	1.42
03	e	1.63	1.23	1.50	1.45
03	d	0.78	1.03	1.03	0.95
03	c	0.97	1.32	1.14	1.14
04	a	1.18	0.96	0.83	0.99
04	b	1.22	1.28	1.16	1.22
04	c	1.20	0.80	1.33	1.11
05	a	1.35	1.52	1.28	1.38
05	b	1.23	1.10	1.39	1.24
05	c	1.12	1.21	1.00	1.11
06	a	1.20	0.96	1.39	1.18
06	b	1.11	0.88	1.03	1.01
06	d	1.13	1.21	1.24	1.19
07	a	1.30	1.60	1.46	1.45
07	b	1.39	1.28	1.28	1.32
07	c	1.48	1.16	1.20	1.28
08	a	0.84	0.89	0.86	0.86
08	b	1.17	0.85	1.11	1.04
08	c	1.22	1.09	1.41	1.24
09	a	1.05	1.33	1.18	1.19
09	b	1.05	1.29	0.90	1.08
09	c	1.01	1.13	0.85	1.00
10	a	1.47	1.26	1.34	1.36
10	e	1.39	1.11	1.36	1.29
10	f	0.91	0.99	1.17	1.02
11	a	NA	NA	NA	NA
11	b	1.31	1.47	1.27	1.35
11	c	1.58	1.89	1.49	1.65
12	a	1.11	1.38	1.20	1.23
12	b	1.30	1.20	1.18	1.23
12	c	1.27	1.39	1.41	1.36

Percentuali di azoto misurati in tre prove di analisi e relativo valore medio per i campioni del lichene *Flavoparmelia caperata*.

Stazione	Analisi Albero	N (%)			media
		1	2	3	
07	a	2.33	2.34	2.27	2.31
11	a	1.99	1.90	1.96	1.95
11	c	2.02	2.01	1.97	2.00
12	a	2.08	2.13	2.18	2.13
12	b	1.97	2.06	2.03	2.02

Valori di pH nei campioni di corteccia (come riportato nel Paragrafo 2.2.2, i dati sulla conducibilità non sono stati misurati).

Stazione	Albero	pH
01	a	4.91
01	b	5.05
01	c	5.03
02	a	5.10
02	b	5.02
02	c	5.02
03	e	5.20
03	d	5.33
03	c	5.31
04	a	5.30
04	b	5.11
04	c	5.15
05	a	4.90
05	b	5.46
05	c	5.52
06	a	5.60
06	b	5.57
06	d	5.36
07	a	5.44
07	b	5.43
07	c	5.54
08	a	4.92
08	b	4.98
08	c	4.95
09	a	5.04
09	b	5.22
09	c	5.06
10	a	5.18
10	e	5.28
10	f	5.22
11	a	NA
11	b	4.89
11	c	4.90
12	a	4.82
12	b	4.90
12	c	5.01