

**Indagine lichenologica nel
territorio circostante la città di
Civitavecchia.**

Campagna 2015

Rapporto tecnico

Committente: CESI SpA

Responsabile di progetto per DIFAR: Dott. Paolo Giordani

Data: 29/05/2016

Sommario

1	PREMESSA	4
2	RETE DI BIOMONITORAGGIO	5
2.1	Pianificazione delle attività	5
3	Materiali e metodi.....	5
3.1	Area di studio	5
3.2	Metodi di rilevamento	6
3.2.1	Rete di Bioindicazione.....	6
3.2.2	Rilevamento della biodiversità lichenica (IBL)	7
3.2.3	Rete di Bioaccumulo	9
3.2.4	Campionamento dei talli lichenici per il bioaccumulo.....	10
4	METODICHE DI ANALISI CHIMICA	10
4.1	Licheni	10
4.1.1	Metodologia di analisi statistica	11
5	RISULTATI	12
5.1	Bioindicazione	12
5.1.1	Rilevamento	12
5.1.2	Analisi floristica	12
5.1.3	Analisi ecologica	12
5.1.4	Pattern spaziale della diversità lichenica	17
5.1.5	Trend temporali della diversità lichenica.....	19
5.2	Bioaccumulo.....	25
5.2.1	Bioaccumulo nei talli di <i>Flavoparmelia caperata</i>	25
5.2.2	Analisi dei suoli e fattori di arricchimento	26
5.2.3	Cluster analysis e correlazione fra elementi	31
5.2.4	Distribuzione degli elementi nell'area di studio	34



DIPARTIMENTO DI FARMACIA
UNIVERSITA' DI GENOVA

DIFAR

6	Conclusioni	59
7	Bibliografia	62

1 PREMESSA

In data 30/9/2015 il Dipartimento di Farmacia dell'Università di Genova (DIFAR) è stato incaricato da CESI S.p.A., mediante stipula di contratto di prestazione d'opera, dello svolgimento di attività di consulenza per il biomonitoraggio mediante licheni epifiti (bioindicazione e bioaccumulo) della rete allestita da CESI nel corso del 2006 (CESI, 2006) nel territorio circostante la città di Civitavecchia.

Questa relazione tecnica illustra i risultati relativi alle attività di gestione del sistema di biomonitoraggio della qualità dell'aria nell'area di studio che comprende i territori dei comuni di Tarquinia, Monte Romano, Blera, Civitavecchia, Allumiere e Tolfa. Tali attività, svolte nel 2015, sono state condotte per evidenziare eventuali alterazioni del comparto atmosferico sulla base di quanto prescritto nella Specifica Tecnica CESI. In particolare, i servizi specialistici sviluppati nell'ambito del presente lavoro sono i seguenti:

- rilievi dell'Indice di Biodiversità Lichenica (IBL) su 78 forofiti suddivisi in 26 gruppi (Unità di Campionamento Primarie, UCP), secondo il metodo ANPA (2001);
- campionamento del lichene foglioso *Flavoparmelia caperata* da utilizzare come bioaccumulatore in 23 UCP;
- preparazione di campioni di *Flavoparmelia caperata* per l'analisi chimica come da progetto (pulizia e separazione della porzione corrispondente alla crescita dell'ultimo anno);
- confronto con i dati delle indagini lichenologiche degli anni 2008, 2009, 2011 e 2012;
- elaborazione dei dati, interpretazione e redazione della relazione conclusiva.

Le attività di biomonitoraggio del 2015 sono state condotte, ove possibile, nelle stesse condizioni della precedente campagna ante operam o attuando varianti nel rispetto dei criteri indicati dalle versioni più aggiornate delle metodologie prescelte in fase progettuale.

2 RETE DI BIOMONITORAGGIO

2.1 Pianificazione delle attività

Le attività inerenti alla gestione della rete sono iniziate a partire dal mese di ottobre 2015 con il reperimento di tutto il materiale documentale necessario per le attività di campo e di elaborazione. Questo ha comportato:

- il riesame del progetto,
- l'aggiornamento dei metodi indicati,
- il reperimento della cartografia digitale,
- la predisposizione della strumentazione GPS per la navigazione nel territorio secondo gli schemi di ricerca,
- il lavoro di campo che comprende la ricerca degli alberi per l'indagine lichenologica, il rilievo dell'IBL e il campionamento dei talli lichenici e dei suoli.

L'indagine lichenologica è proseguita fino al mese di dicembre 2015. CESI SpA, incaricata dello svolgimento delle attività di analisi chimica dei licheni e del suolo, ha svolto le procedure di laboratorio dal mese di dicembre 2015 al mese di febbraio 2016. Nel dicembre 2015, sulla base dei dati analitici ricevuti, in accordo con il referente scientifico di progetto Dr. Paolo Giordani e con il personale di CESI SpA, sono iniziate le attività di elaborazione e di redazione del rapporto con la preparazione della cartografia, del database geografico e la compilazione delle monografie di ogni singolo albero o sito di esposizione. L'elaborazione statistica e l'interpretazione è proseguita fino a marzo 2016. Le attività si sono concluse alla fine del mese di aprile 2016.

3 Materiali e metodi

3.1 Area di studio

La localizzazione e l'estensione dell'area sono state stabilite sulla base delle prescrizioni riportate in fase di progettazione (CESI, 2006), come riportato anche sulla Specifica Tecnica CESI. L'area di studio è situata sulla costa del Lazio settentrionale, in Provincia di Roma e, in particolare, si estende nei territori dei comuni di Tarquinia, Monte Romano, Blera, Civitavecchia, Allumiere e Tolfa. Il territorio è caratterizzato da una stretta fascia pianeggiante che si estende parallelamente al mare a NW dell'abitato di Civitavecchia ed è percorsa dalla ferrovia Roma-Pisa. Più all'interno transitano la S.S. n. 1 Aurelia ed il tratto settentrionale dell'Autostrada Roma-Civitavecchia. Verso l'entroterra, il pianoro si raccorda con i rilievi collinari della Tolfa, che raggiungono le quote massime in prossimità degli abitati di Allumiere e Tolfa (Monte Tolfaccia, 579 m s.l.m., circa 10 km ad E di Civitavecchia). Verso NW, la fascia costiera continua con andamento pianeggiante

raggiungendo la Punta S. Agostino e la foce del Fiume Mignone. A sud, invece, si trovano, in successione, l'area industriale occupata dalla centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Sud, l'area portuale e l'abitato di Civitavecchia.

3.2 *Metodi di rilevamento*

Le metodologie utilizzate sono conformi a quanto prescritto nel manuale operativo del metodo di bioindicazione, adottato a livello nazionale (ANPA, 2001) e alle modifiche apportate in fase di progettazione (CESI, 2006). Per quanto riguarda il protocollo adottato per la campagna di bioaccumulo sono state seguite le metodologie riportate nella Specifica Tecnica CESI, nel documento di progetto (CESI, 2006) e in Nimis e Bargagli (1999). In alcuni casi, per evitare ripetizioni e ridondanze nella relazione, viene fatto direttamente riferimento ai suddetti documenti operativi. Dove necessario, invece, vengono dettagliati alcuni particolari relativi alle metodiche adottate, soprattutto per quanto concerne le fasi del bioaccumulo e l'elaborazione dei dati.

3.2.1 Rete di Bioindicazione

La rete è costituita da 38 stazioni in corrispondenza delle quali sono state individuate altrettante Unità di Campionamento Primarie (UCP); soltanto 26 di queste sono in effetti risultate campionabili (Figura 1), secondo lo studio di progettazione della rete (CESI, 2006). Nella presente indagine sono stati rilevati 78 alberi delle 26 stazioni, per un totale di 312 rilievi di biodiversità lichenica. Le stazioni risultano distribuite sul territorio secondo una griglia di riferimento costruita a partire dall'intersezione più vicina della rete nazionale ANPA (732000 E, 4692000 N; UTM ED50, fuso 32) con un passo di 6×6 km, rinfittito a 3×3 km nelle aree dove la modellazione diffusionale degli effluenti gassosi prevede i contributi più significativi (Monti della Tolfa) (CESI, 2006). Per ulteriori dettagli tecnici relativi allo schema di ricerca e sostituzione delle UCP si consiglia di consultare la relazione relativa alla fase di allestimento della rete (CESI, 2006).

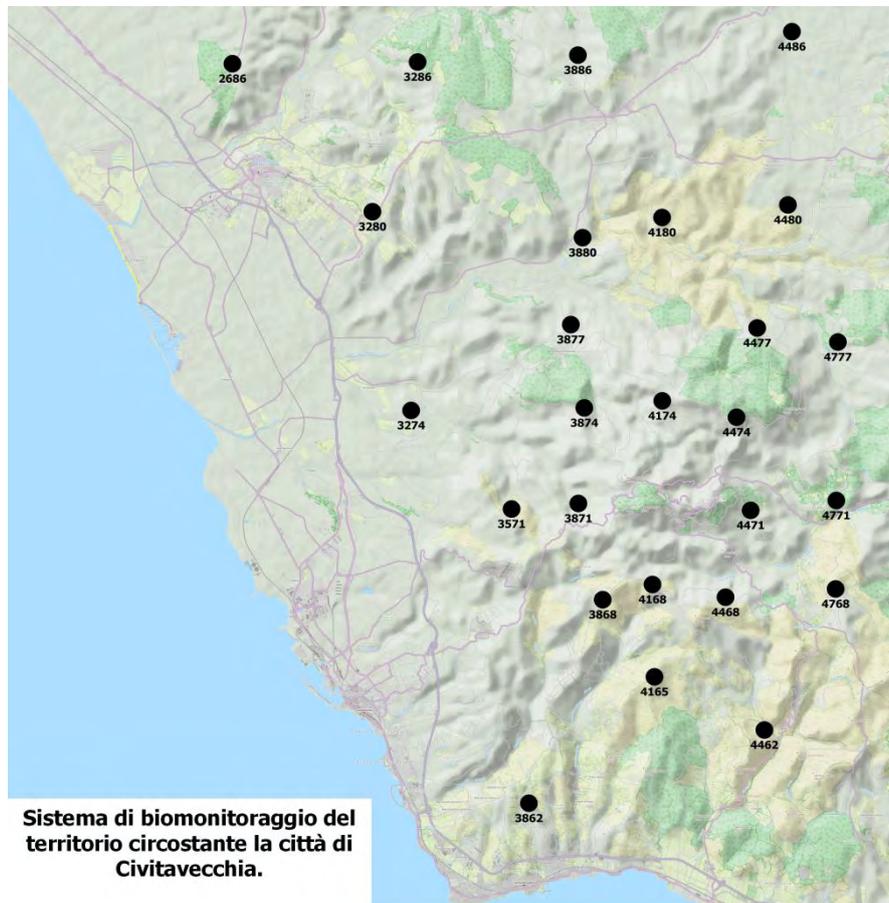


Figura 1. Siti di campionamento della rete di bioindicazione.

3.2.1.1 Piano di campionamento e scelta degli alberi substrato

La rete è stata configurata secondo quanto riportato nelle linee guida del manuale ANPA (2001), che prevedono l'individuazione di Unità di Campionamento Primarie (UCP) e Unità di Campionamento Secondarie (UCS). Per ulteriori dettagli si rimanda al metodo ANPA e al documento di progetto che riporta l'allestimento della rete (ANPA, 2001; CESI, 2006). Per quanto riguarda la selezione degli alberi idonei al rilevamento sono stati adottati i criteri riportati in fase di progettazione della rete (CESI, 2006). Tali accorgimenti sono stati adottati anche nella presente campagna di rilevamento nel caso della necessità di sostituzione di alberi.

3.2.2 Rilevamento della biodiversità lichenica (IBL)

Il metodo adottato, descritto nel manuale ANPA (2001), è lo stesso indicato nel progetto del 2006. In particolare si è operato secondo le seguenti indicazioni metodologiche:

- il reticolo di campionamento è costituito da quattro subunità, ciascuna formata da una serie lineare di cinque quadrati di 10×10 cm, che devono essere disposte verticalmente sul tronco;

- la parte inferiore di ciascuna unità deve essere disposta ad un metro dalla superficie del suolo;
- i quattro elementi della griglia devono essere posizionati in corrispondenza dei quattro punti cardinali. Una rotazione di 20° in senso orario è ammessa per evitare parti del tronco non idonee ad essere campionate (vedi oltre). Nel posizionare i quattro elementi della griglia vanno evitate, anche se caratterizzate da elevata copertura lichenica:
 - o parti del tronco danneggiate o decorticate,
 - o parti con presenza di evidenti nodosità,
 - o parti corrispondenti alle fasce di scolo con periodico scorrimento di acqua piovana,
 - o parti con copertura di briofite superiore al 25% (eventuali licheni muscicoli vanno comunque considerati nel calcolo della biodiversità);
- vanno annotate tutte le specie licheniche (inclusi i licheni crostosi sterili) presenti all'interno di ciascuna unità e la loro frequenza, calcolata come numero di quadrati in cui ogni specie è presente (i valori di frequenza di ciascuna specie variano quindi tra 0 e 5); se lo stesso individuo di una specie è presente in più di un quadrato, la sua frequenza è pari al numero di quadrati in cui è presente;
- per ogni specie vanno inoltre annotati eventuali segni di evidente danneggiamento dei talli (decolorazione, necrosi, etc.);
- vanno evitati l'asporto e il danneggiamento dei licheni entro l'area del reticolo, per permettere un'eventuale ripetizione dello studio;
- va comunque evitato l'asporto di specie incluse nella Lista Rossa dei licheni d'Italia (Nimis, 1992);
- quando l'identificazione di certi talli sia problematica in campo e/o in laboratorio, si consiglia di includere anche questi nel calcolo della biodiversità come "Sp. nr. x", previo accertamento che non si tratti di forme danneggiate o poco sviluppate di specie già presenti nel reticolo.

Il valore di biodiversità lichenica relativo all'albero campionato (BLs) si ottiene facendo la somma delle frequenze rilevate per ciascuna subunità. Le specie licheniche per le quali l'identificazione in campo è risultata problematica o incerta sono state prelevate e portate in laboratorio per un'analisi più accurata tramite binoculare, microscopio ottico con polarizzatore e spot-test colorimetrici e per poterle determinare con l'utilizzo di chiavi analitiche per l'identificazione. Il binoculare consente di osservare in modo più netto quei caratteri macroscopici che in campo sono difficili da individuare, come i diversi tipi di strutture riproduttive e i caratteri secondari. Il microscopio ottico è stato utilizzato in particolare per l'identificazione dei licheni crostosi, per i quali è necessaria la

preparazione di sezioni sottili delle strutture riproduttive. Le principali caratteristiche per l'identificazione di tali specie licheniche sono: il numero, il colore e la forma delle spore, la presenza-assenza di cristalli di ossalato di calcio nell'epimenio o ai margini degli apotecii (osservabili solo a luce polarizzata), la colorazione dell'epitecio, ecc.

Gli spot-test colorimetrici si basano su reazioni che avvengono tra alcune sostanze licheniche (principalmente acidi fenolici o grassi che si depositano sulla superficie delle ife) e specifici reagenti. Quelli più usati sono: soluzione satura di idrossido di potassio (K), soluzione diluita di ipoclorito di sodio (C), parafenilendiammina (P) e soluzione iodio-iodurata (J). Applicando sul tallo o sulla medulla una goccia di reagente si possono talvolta osservare variazioni di colore che costituiscono un carattere tassonomico. Per l'identificazione delle specie sono state utilizzate le seguenti chiavi analitiche: "I macrolicheni d'Italia, Chiavi analitiche per la determinazione" (Nimis, 1987), "Chiavi analitiche del genere Lecanora Ach. in Italia" (Nimis e Bolognini, 1993), "The lichen flora of Great Britain and Ireland" (Purvis et al., 1992), "Likenoj de Okcidentia Europo. Illustrita determinlibro" (Clauzade e Roux, 1985). La nomenclatura segue Nimis e Martellos (2008) e i nomi degli autori sono abbreviati secondo Brummitt & Powell (1992). I dati raccolti in campo (IBL) sono stati elaborati facendo riferimento a quanto indicato nel manuale ANPA (2001), sulla base di quanto riportato in letteratura (Loppi *et al.* 2002a; Giordani, Brunialti & Alleteo 2002; Giordani 2004, 2006, 2007; Castello & Skert 2005).

3.2.3 Rete di Bioaccumulo

Vengono riportate le informazioni relative alle metodiche e ai materiali utilizzati nella campagna di bioaccumulo, che ha previsto l'analisi del contenuto di 12 elementi (Al, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn, As, Se, Hg) nel tallo del lichene foglioso *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale. Per le informazioni sui principi relativi alla tecnica del bioaccumulo mediante licheni e per ulteriori dettagli tecnici si consiglia di consultare il documento del progetto del sistema di biomonitoraggio (CESI, 2006) e la proposta di metodo ANPA per l'utilizzo dei licheni come bioaccumulatori (Nimis e Bargagli, 1999).

3.2.3.1 Piano di campionamento

Secondo quanto riportato nella Specifica Tecnica CESI, all'interno del territorio interessato dall'indagine in corrispondenza di ciascuna delle 23 UCP che costituiscono la rete di bioaccumulo è stata raccolta una quantità adeguata del lichene foglioso *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale da utilizzare per il bioaccumulo di elementi in traccia. Il materiale lichenico, dove possibile, è stato raccolto sugli stessi forofiti su cui è stata rilevata la biodiversità lichenica. I talli lichenici sono stati raccolti sugli alberi selezionati, nella parte di tronco non interessata dai rilievi, oppure su altri alberi presenti all'interno dell'UCS di riferimento. Nel caso non fossero stati presenti nell'UCS di riferimento, la ricerca è proseguita nell'UCP di riferimento, secondo lo schema di sostituzione delle

UCS riportato nel manuale ANPA (2001). Rispetto alle indagini delle campagne precedenti, non è stato possibile reperire una quantità sufficiente di materiale nella UCP 3862, nei pressi dell'abitato di Santa Severa. In altri casi analoghi, la ricerca è risultata piuttosto difficoltosa per la scarsità e la qualità dei talli della specie prescelta. Questo inconveniente non pregiudica la possibilità di confrontare i risultati ottenuti nelle diverse sessioni di rilevamento, ma questo aspetto metodologico andrà sicuramente valutato nelle prossime eventuali campagne di monitoraggio.

3.2.4 Campionamento dei talli lichenici per il bioaccumulo

Le operazioni di prelievo sono state condotte sulla base di quanto indicato da Nimis e Bargagli (1999). Normalmente si prelevano i talli su alberi della stazione di bioindicazione, al di fuori dell'area di rilievo dell'Indice di Biodiversità Lichenica, oppure su altri forofiti presenti nei dintorni della stazione stessa. In ogni caso, il prelievo deve avvenire a un'altezza minima dal suolo di almeno 100 cm. Il prelievo di talli deve essere eseguito su almeno 3 alberi di qualsiasi specie che presentino almeno 6 talli campionabili in totale (almeno 6 talli distribuiti su 3 alberi). Le operazioni di prelievo vengono eseguite con l'ausilio di attrezzature in acciaio inox (coltelli, pinzette etc.) e le porzioni di tallo vengono raccolte in flaconi di materiale plastico. Dai campioni raccolti vengono selezionate e pulite al microscopio binoculare le porzioni di tallo corrispondenti alla crescita dell'ultimo anno fino a raggiungere un'aliquota di almeno 150 mg, da sottoporre ad analisi chimica.

4 METODICHE DI ANALISI CHIMICA

Il materiale lichenico e di suolo superficiale, raccolto secondo le procedure descritte nei paragrafi precedenti, è stato inviato a CESI per l'analisi della composizione elementare. Come stabilito nel progetto, gli elementi da considerare per le determinazioni analitiche sono:

- licheni - Al, As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Sb, Sn, Ti, Tl, V, Zn,
- suoli - Al, As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Sb, Sn, Ti, Tl, V, Zn.

Le metodologie analitiche utilizzate non sono descritte nella presente relazione, in quanto non si tratta di un'attività in carico al DIFAR.

4.1 Licheni

I campioni preparati al microscopio binoculare sono stati sottoposti a macinazione e a mineralizzazione secondo il metodo EPA 3052:1996 (mineralizzazione totale con HF). La soluzione ottenuta è stata utilizzata per la determinazione degli elementi considerati impiegando, a seconda dell'elemento, il metodo UNI EN ISO 17294-2:2005 (ICP-MS) o il metodo ISO 11885:2007 (ICP-OES):

- ICP-OES per Al, Cu, Pb, Zn, Ti,

- ICP-MS per Be, Cd, V, Sb, As, Cr, Hg, Ni, Pd, Sn, Tl.

4.1.1 Metodologia di analisi statistica

Le elaborazioni statistiche a cui sono stati sottoposti i dati di bioindicazione e di bioaccumulo, comprendono sia tecniche esplorative, come l'indagine esplorativa delle matrici di dati grezzi e analisi di tipo descrittivo, sia metodi di analisi multivariata. Per le analisi sono stati utilizzati i software IBM SPSS Statistics 21, STATISTICA 6.0 (StatSoft Italia srl 2001) e PcORD 4.0 (MJM Software Design), che includono numerosi moduli di statistiche descrittive, analisi univariate e multivariate.

5 RISULTATI

5.1 Bioindicazione

5.1.1 Rilevamento

Nel corso della campagna di rilevamento condotta nel 2015 sono stati rilevati 78 alberi appartenenti a due specie (*Quercus pubescens* e *Q. cerris*). Grazie alle caratteristiche chimico-fisiche della loro scorza, le specie caducifoglie del genere *Quercus* sono tra le più comunemente utilizzate come substrati negli studi di biomonitoraggio ambientale tramite licheni epifiti (Giordani et al., 2002; Loppi et al., 2002a). Rispetto alla precedente campagna del 2012 non è stato necessario sostituire gli alberi selezionati, garantendo quindi un'elevata confrontabilità dei dati. In totale sono state rilevate 26 UCP, ciascuna con tre alberi. Per ogni albero sono stati eseguiti 4 rilievi di biodiversità lichenica (rispettivamente a N, E, S, W) per un numero di 312 rilievi complessivi.

5.1.2 Analisi floristica

Nel corso della campagna 2015, sono stati rilevati complessivamente 77 taxa lichenici (Appendice A). I risultati sono in linea con quanto osservato nelle campagne di monitoraggio precedenti e confermano la presenza di una flora lichenica relativamente ricca di specie, che denota una buona biodiversità complessiva dell'area di studio. Questo è essenzialmente dovuto alla buona eterogeneità dell'area di studio riconducibile alle caratteristiche geomorfologiche del territorio, che risulta in parte pianeggiante a vocazione agricola e con una ampia distribuzione di pascoli e in parte collinare, con aree forestate. Come già riportato nelle precedenti relazioni, *Physcia adscendens*, *Hyperphyscia adglutinata* sono tra le specie comuni e abbondanti in tutta l'area studio, a testimonianza della prevalenza di comunità licheniche epifite particolarmente legate ad aree agricole, caratterizzate da specie che tollerano condizioni di elevata luminosità e xericità, oltre ad apporti rilevanti di sostanze eutrofizzanti. Nelle aree più boscate del territorio in esame sono invece abbondanti specie delle comunità del *Parmelion*, quali ad esempio *Flavoparmelia caperata* e *Punctelia subrudecta*, legate ad ambienti più umidi, ombrosi e meno ricchi di nutrienti. Si rimanda alle relazioni precedenti per una lettura più approfondita delle caratteristiche ecologiche delle comunità epifite dell'area di studio.

5.1.3 Analisi ecologica

Per ogni specie lichenica è stata individuata una serie di tratti funzionali, definiti come componente del loro fenotipo che determina un effetto sui processi ecologici e la loro risposta a fattori ambientali (Violle et al., 2007). I tratti selezionati sono principalmente associati con i processi riproduttivi e fotosintetici dei licheni, che possono giocare un ruolo decisivo nella fase di dispersione e di sviluppo di nuovi talli. Altri tratti sono simultaneamente associati a diversi ruoli

eco-fisiologici nei licheni. Per esempio, la forma di crescita è alla base della capacità della specie di regolare diverse funzioni importanti in licheni, come la colonizzazione del substrato, l'evapotraspirazione o la capacità di assorbimento della luce. Per ogni tratto sono stati assegnati attributi funzionali, cioè un particolare valore o modalità adottata dal tratto che varia temporalmente e spazialmente lungo gradienti ambientali. In particolare, abbiamo preso in considerazione le seguenti caratteristiche funzionali descritte in *ITALIC*, database dei licheni italiani, da Nimis e Martellos (2008):

- Strategia fotosintetica. Può assumere i seguenti attributi: non fotosintetico; fotosintetica con alghe verdi clorococcoidi; fotosintetico con alghe del genere *Trentepohlia* (Tr), adattate agli habitat più caldi e umidi; o fotosintetico con cianobatteri (CY - strettamente legati alla disponibilità di acqua, ma con meccanismi di resistenza al disseccamento).
- Forma di crescita: crostosa (Cr - strettamente collegata al substrato con la loro superficie inferiore); placodiomorph crustose (Cp); squamulosa (Sq - intermedia tra crustose e foliose talli, interamente composto da squamule); Fogliosa (solo parzialmente attaccata al substrato) a lobi larghi (Fb); Fogliosa a lobi stretti (Fn); fruticosa (FR- con tallo lobi, lacinie, in piedi fuori dalla superficie del substrato).
- Strategia riproduttiva: prevalentemente sessuale per mezzo di ascospore (Se) o principalmente asessuata, sia per soredi (So - propaguli non corticati di ife e fotobionte, originati dallo strato midollare) o isidi (Is - protuberanze corticate della corteccia superiore e strato algale).

5.1.3.1 Identificazione dello spazio ecologico funzionale

I dati relativi all'ecologia delle specie sono stati utilizzati per costruire gli spazi ecologici-funzionali occupati dalle comunità licheniche nell'area studio a partire dal 2008. Questo approccio permette un'analisi più completa e meno ridondante dei caratteri ecologici descritti e consente valutazioni quantitative di eventuali cambiamenti osservati nel corso degli anni. Per ogni campagna di rilevamento dal 2008 al 2015, è stato identificato uno spazio ecologico funzionale multidimensionale posizionando ogni taxon secondo la sua nicchia funzionale e calcolando conseguentemente le distanze funzionali tra le specie. Dal momento che le variabili che descrivono caratteri funzionali lichenici non erano tutti su una scala quantitativa, abbiamo usato la distanza di Gower (Gower, 1966), che permette di analizzare diversi tipi di variabili. Successivamente, per ogni set di dati, abbiamo elaborato un ordinamento Principal Coordinate Analysis (PCOA) sulle matrici di distanza per ottenere un valore sintetico dei valori dei tratti funzionali multidimensionali di ogni specie. Similmente alla PCA, la PCOA fornisce coordinate delle specie in uno spazio euclideo multidimensionale. Come la PCA, la PCOA si basa su un'equazione eigen-value, ma può utilizzare qualsiasi misura di associazioni. (Laliberté e Legendre, 2010). Studiando cambiamenti nella diversità funzionale, l'uso di un approccio multidimensionale anziché l'osservazione dei singoli caratteri ecologici riduce il possibile effetto delle correlazioni tra le caratteristiche. Entrambe le

misure di diversità funzionale (ricchezza e dissimilarità), e di conseguenza loro rilevanza statistica, sono fortemente dipendenti dal numero di caratteri funzionali presi in considerazione e del numero di assi funzionali del spazio funzionale multidimensionale considerato (Villegger et al., 2011) . Anche se non c'è una regola specifica per la selezione di un numero appropriato di tratti e dimensioni, abbiamo deciso di utilizzare un compromesso tra la capacità interpretazione dei dati e dei limiti computazionali per le prove di dissimilarità e permutazione.

5.1.3.2 Ricchezza e dissimilarità funzionale

Seguendo il metodo proposto da Vileger et al. (2008, 2011), abbiamo calcolato la ricchezza funzionale delle liste floristiche rilevate in ciascuna campagna di monitoraggio effettuata dal 2008 al 2015. La ricchezza funzionale è la quantità di spazio funzionale occupato da ogni insieme di specie ed è definita come l'ampiezza del volume compreso all'interno del poligono che racchiude tutte le specie di un dato insieme. Di conseguenza, se un insieme di specie comprende taxa caratterizzati da una bassa variabilità dei tratti ecologici (ad esempio se costituito solamente da specie crostose o solo da specie a riproduzione sessuata), si ha una bassa ricchezza funzionale, mentre insiemi in cui le specie hanno combinazioni estreme dei tratti considerati hanno un'alta ricchezza funzionale.

Per ogni coppia di insiemi, abbiamo calcolato la diversità funzionale come il rapporto tra il volume nello spazio funzionale non condiviso da due assemblaggi di dati (ad esempio '2008' contro '2015 ") rispetto alla loro totale diversità funzionale (volume totale). Dai confronti bivariati tra le diverse campagne di rilevamento, appare evidente come le comunità licheniche epifite dell'area di studio abbiano mantenuto livelli comparabili di ricchezza funzionale, a supporto del fatto che non sono state osservate modificazioni significative delle caratteristiche ecologiche delle comunità nel corso del periodo di indagine (Figura 2). È anzi possibile osservare come il poligono che racchiude lo spazio ecologico-funzionale dell'assemblaggio di specie rilevate nel 2015 è maggiore rispetto a quello dell'indagine *ante-operam* del 2008, mentre la ricchezza funzionale delle comunità licheniche del 2012 è del tutto sovrapponibile a quella delle comunità osservate nell'ultima campagna di rilevamento del 2015.

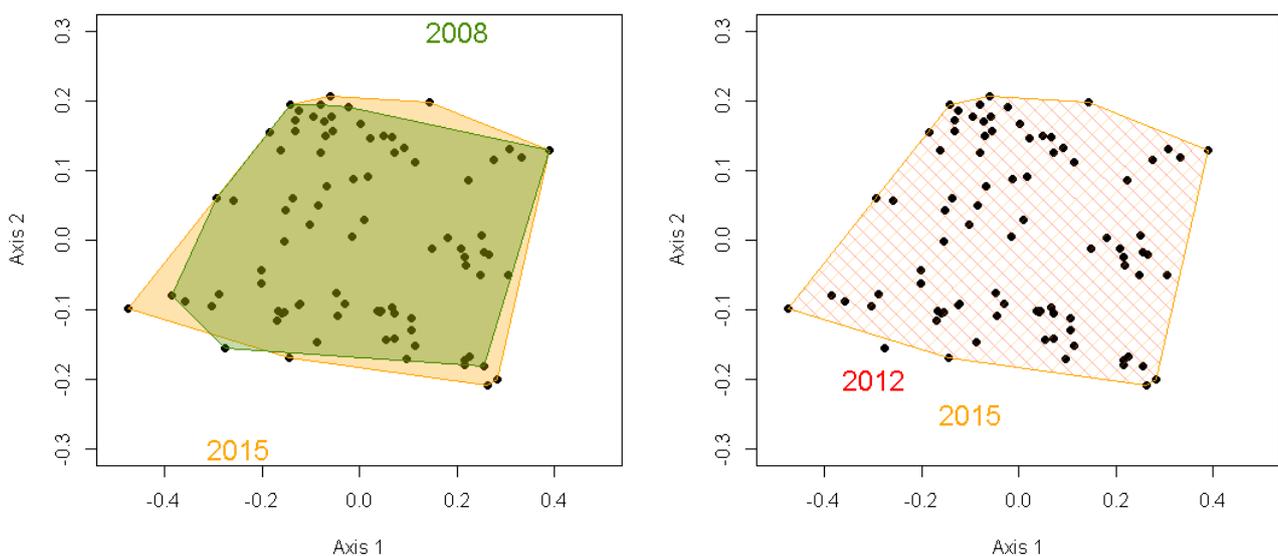


Figura 2. Sovrapposizioni nello spazio multivariato di ricchezza ecologica-funzionale tra la flore licheniche rilevata nel corso delle campagne 2015, 2012 e 2008.

Il dato grafico è supportato dalle valutazioni relative al livello di condivisione della ricchezza funzionale delle comunità nei diversi periodi di campionamento e, di conseguenza, alla dissimilarità funzionale osservata (Tabella 1). Il volume ecologico-funzionale condiviso è simile in tutti i confronti considerati, ma è minimo quando si comparano le comunità licheniche del 2008 con quelle degli altri anni. La ricchezza funzionale non condivisa tra la flora lichenica del 2009 e quella degli anni successivi è minore rispetto ai confronti tra il 2008 e gli stessi anni. Infine, se si prendono in considerazione le ultime 3 campagne di monitoraggio (2011, 2012 e 2015) si osservano i valori maggiori di ricchezza funzionale condivisa e valori = 0 di ricchezza non condivisa e di dissimilarità funzionale. In sintesi, a fronte di modeste variazioni nella composizione floristica delle comunità, già riportate nelle precedenti relazioni, le caratteristiche ecologiche e funzionali dei licheni epifiti dell'area indagata hanno subito pochissimi cambiamenti dal 2008 e nessun cambiamento dal 2011 ad oggi. Le comunità, inoltre, sono caratterizzate da un livello alto di ricchezza funzionale che ne indica una buona condizione generale di conservazione.

Tabella 1. Dissimilarità ecologica-funzionale tra le comunità licheniche rilevate nell'area studio in 5 campagne di monitoraggio dal 2008 al 2015.

Ricchezza funzionale condivisa	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2012
Anno 2009	0,215			
Anno 2011	0,214	0,223		
Anno 2012	0,214	0,223	0,243	
Anno 2015	0,214	0,223	0,243	0,243

Ricchezza funzionale non condivisa	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2012
Anno 2009	0,010			
Anno 2011	0,030	0,020		
Anno 2012	0,030	0,020	0,000	
Anno 2015	0,030	0,020	0,000	0,000

Dissimilarità funzionale (Beta Jaccard)	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2012
Anno 2009	0,044			
Anno 2011	0,125	0,086		
Anno 2012	0,125	0,086	0,000	
Anno 2015	0,125	0,086	0,000	0,000

5.1.4 Pattern spaziale della diversità lichenica

L'analisi della diversità lichenica sulla base della scala di naturalità/alterazione mostra un quadro generalmente positivo dello stato di salute delle comunità licheniche epifite, riconducibile ad un basso impatto ambientale (Figura 3). Nel complesso i dati osservati confermano quanto rilevato nelle ultime campagne di monitoraggio, come verrà analizzato nel dettaglio nei paragrafi successivi. Si individua un'ampia zona con valori IBL compresi nelle fasce di semi-naturalità ($80 < IBL < 95$ naturalità bassa; $95 < IBL < 115$ naturalità intermedia) e di naturalità ($IBL > 115$). Tale area si estende principalmente ai Monti della Tolfa, comprendendo stazioni di campionamento localizzate nei territori di Blera, Allumiere e Tolfa, ma anche il territorio circostante le città di Civitavecchia e Santa Marinella. In particolare, le zone con la più alta biodiversità ($IBL > 115$) si individuano in prossimità delle UCP 4480, 4174, 4768, 4468 e 4165.

Per contro, un'ampia porzione di territorio a NW dell'area di studio rientra nella fascia di bassa e intermedia alterazione ($60 < IBL < 80$) e si estende alle zone circostanti Tarquinia e immediatamente a ridosso di Monte Romano. Le stazioni 2686, 3286, 3886, 3880, 3877 e 3274 sono quelle in cui sono stati registrati i valori di biodiversità più bassi riconducibili alla fascia di alterazione intermedia. Per questi valori più bassi si può ipotizzare l'influenza dell'uso del suolo, che in questa porzione di territorio è prevalentemente agricolo. Queste condizioni tendono a selezionare specie più ruderali, come quelle che costituiscono le comunità di *Xanthorion*, mentre sembrano essere più limitanti per specie oligotrofiche delle comunità del *Parmelion* più legate a formazioni forestali o comunque ad ambiti soggetti ad un impatto antropico minore nella gestione del suolo.

Questa distinzione tra la porzione settentrionale e quella meridionale dell'area di studio, pur non destando particolari preoccupazioni per le motivazioni sopra riportate, sembra essersi accentuata rispetto a quanto osservato nelle campagne di monitoraggio precedenti.

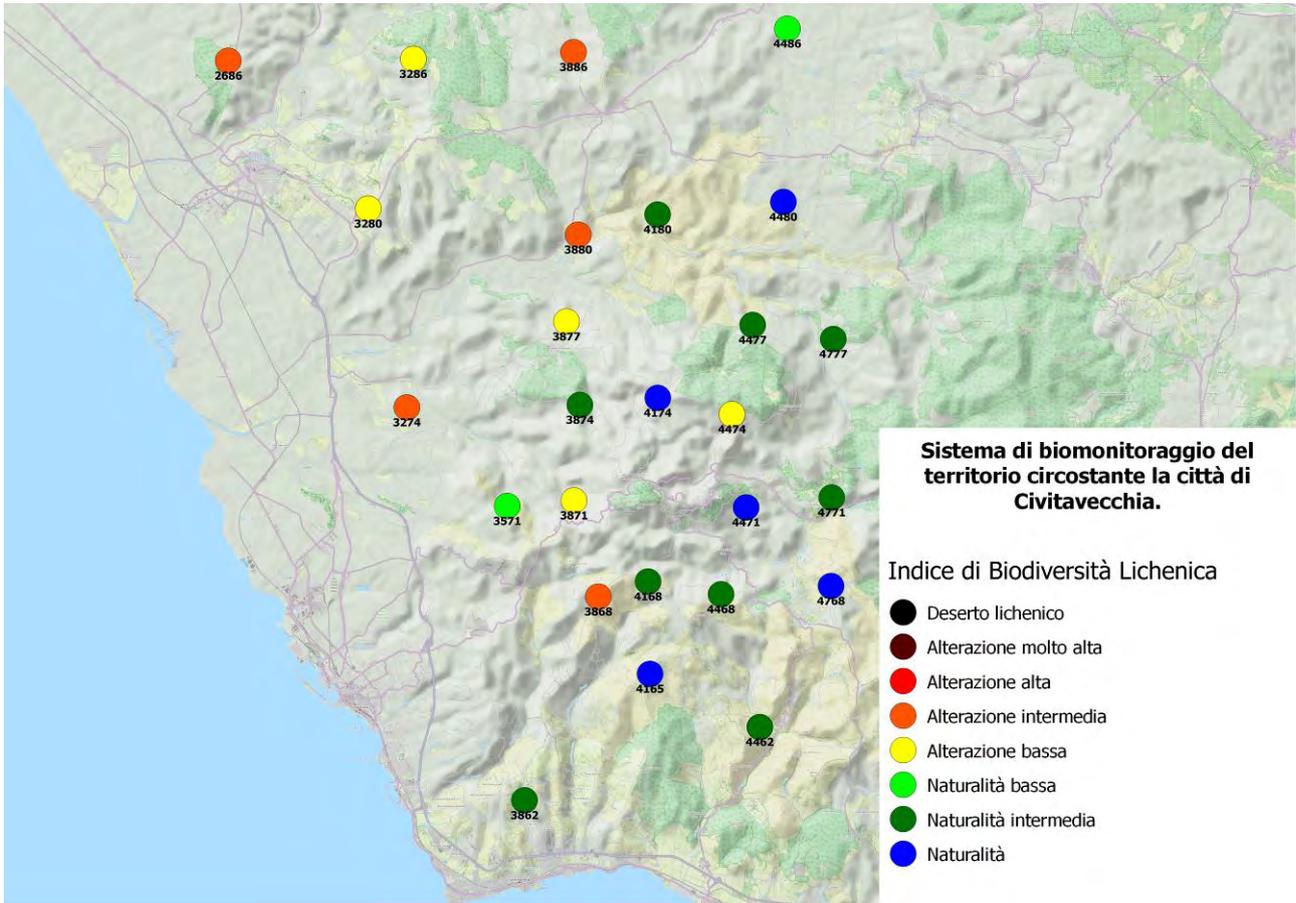


Figura 3. Distribuzione spaziale delle classi di naturalità/alterazione dell'Indice di Biodiversità Lichenica.

5.1.5 Trend temporali della diversità lichenica

Vengono presentate alcune valutazioni sull'andamento temporale dell'Indice di Biodiversità Lichenica (IBL) rilevato nel corso delle 5 campagne *pre- e post-operam* effettuate a partire dal 2008 nel territorio circostante la città di Civitavecchia. Il test ANOVA di Friedman per dati appaiati (Figura 4) evidenzia una mancanza di differenze significative tra i valori IBL osservati nelle diverse campagne di biomonitoraggio.

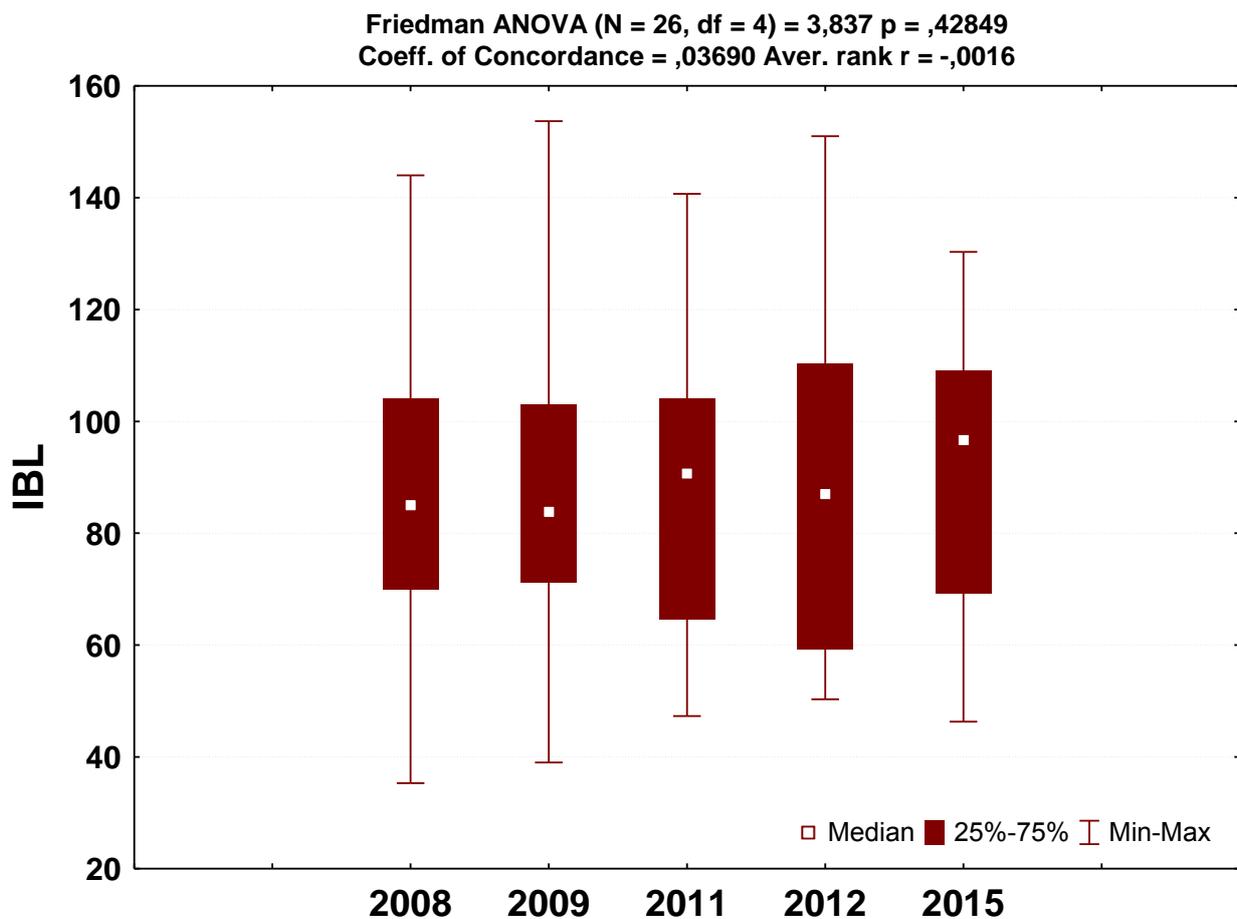


Figura 4. Test ANOVA di Friedman tra i valori IBL osservati nel corso delle 5 campagne di monitoraggio realizzate a partire dal 2008.

Un confronto più mirato tra le situazioni osservate nel 2012 e nel 2015 è presentato in Figura 5. Nel complesso, il test di Wilcoxon per dati appaiati non evidenzia differenze statisticamente significative tra le due popolazioni di valori IBL, supportando l'ipotesi di una mancanza di cambiamenti nei dati di diversità lichenica nell'intera area di studio. Si possono tuttavia osservare alcune peculiarità nelle distribuzioni dei dati delle due campagne di biomonitoraggio. La mediana e il 25° percentile dei valori IBL del 2015 sono maggiori rispetto a quelli del 2012 (96,7 vs. 87,0 e 69,3 vs. 59,3 rispettivamente). Il 75° percentile è sostanzialmente invariato (109,0 nel 2015 vs. 110,3 nel 2012), mentre il valore massimo registrato nell'ultima campagna è sensibilmente minore rispetto a quello osservato nel 2012 (130,3 vs. 151).

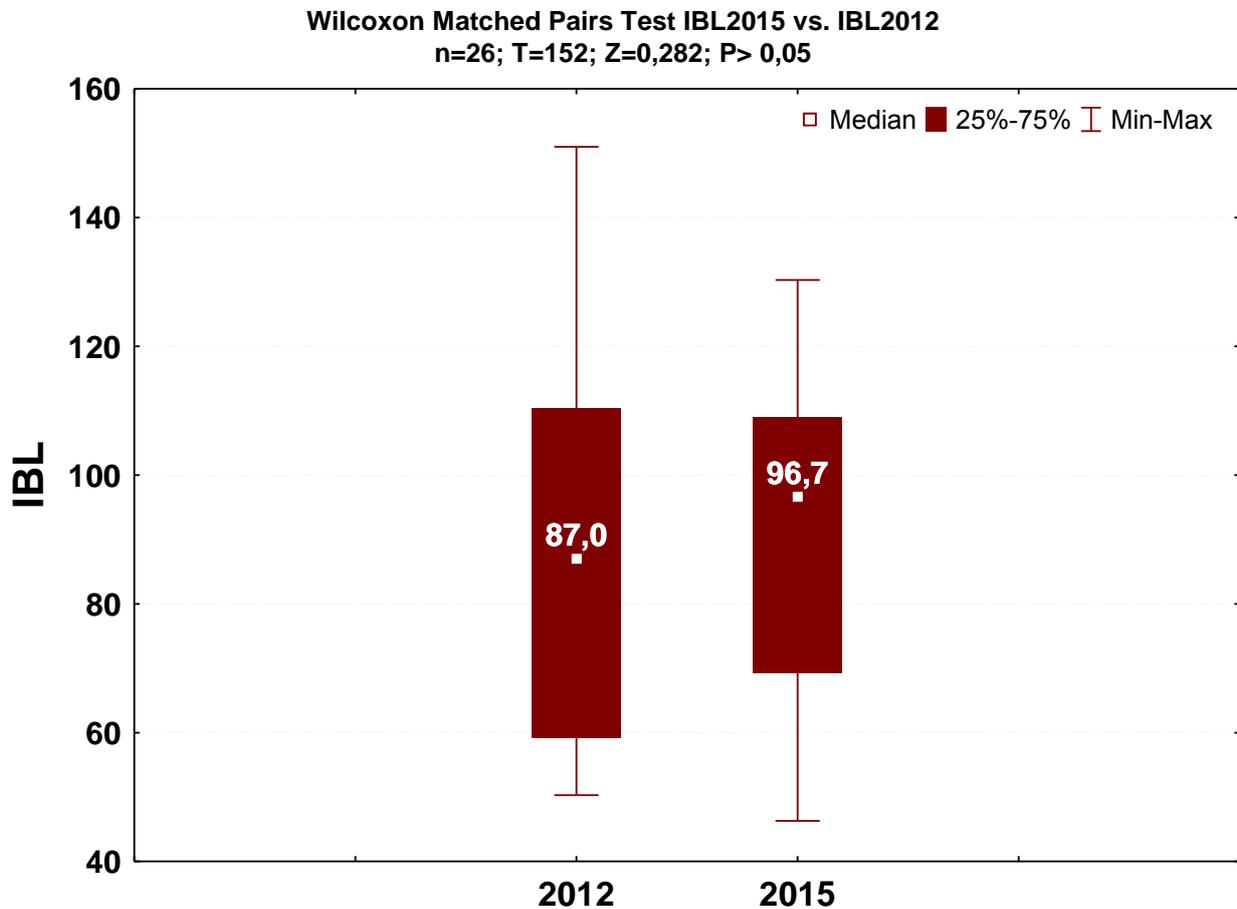


Figura 5. Wilcoxon Matched pairs test tra i valori IBL rilevati nelle campagne di monitoraggio 2012 e 2015.

I dati osservati nell'analisi temporale trovano sostanziale conferma nell'analisi spaziale delle variazioni percentuali dell'IBL dalla prima campagna del 2008 all'ultimo monitoraggio del 2015. Nel 50% delle stazioni di rilevamento la diversità lichenica è rimasta invariata ($\pm 10\%$ rispetto al valore rilevato nel 2008). Questi siti risultano omogeneamente distribuiti nell'area studio, senza rivelare un preciso pattern da nord a sud o da ovest ad est. Nella zona centrale dell'area studio, 5 siti hanno avuto un incremento percentuale di IBL compreso tra il 10% e il 40% rispetto al 2008, mentre 3 dei 4 siti che hanno fatto registrare aumenti di IBL $> 40\%$ sono localizzati nell'area a SE di Tolfa. Tre siti localizzati tra la piana costiera e le prime propaggini dei Monti della Tolfa hanno invece subito una riduzione $> 10\%$ di IBL rispetto al 2008.

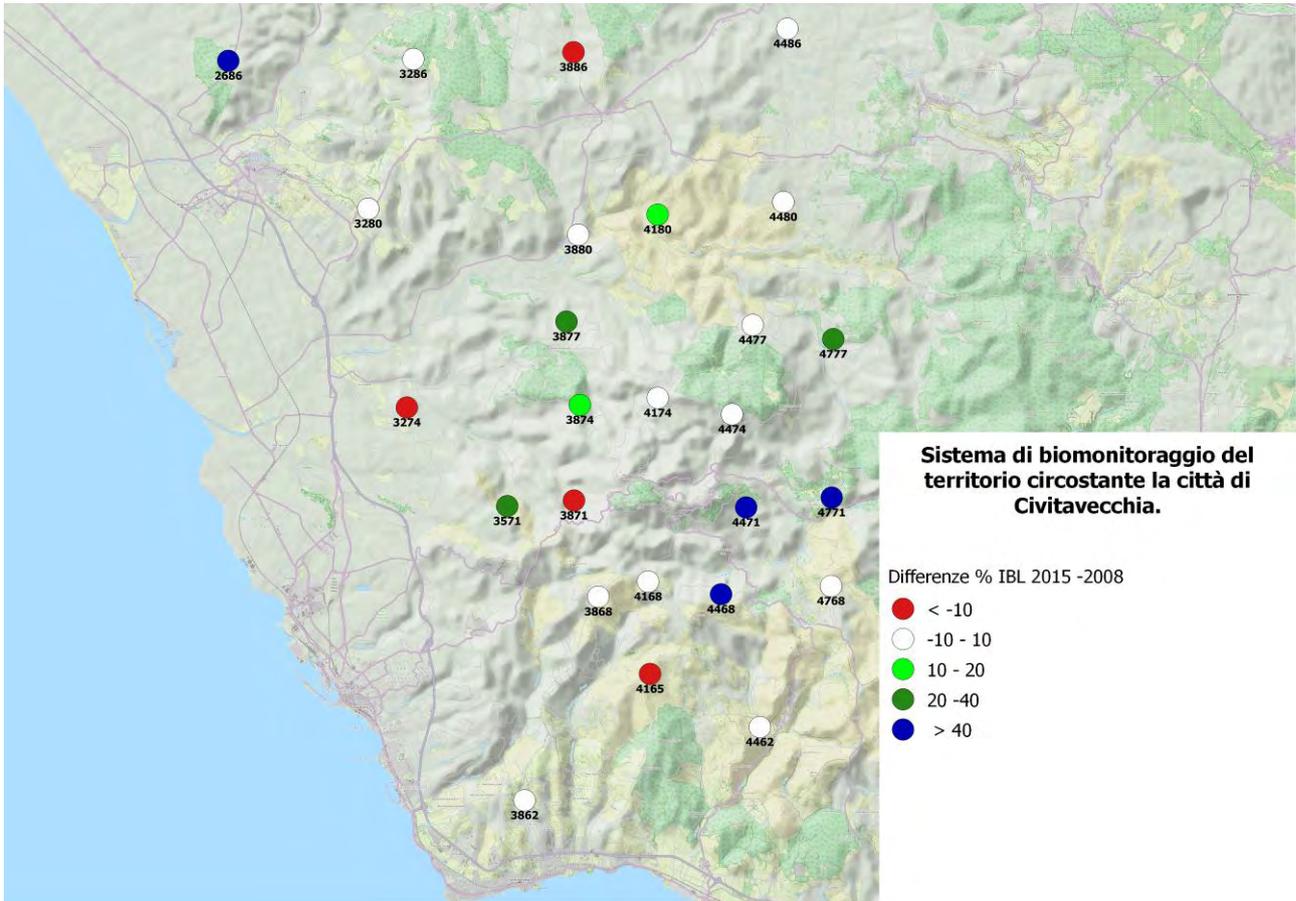


Figura 6. Pattern spaziale delle differenze percentuali di IBL tra le campagne 2015 e 2008.

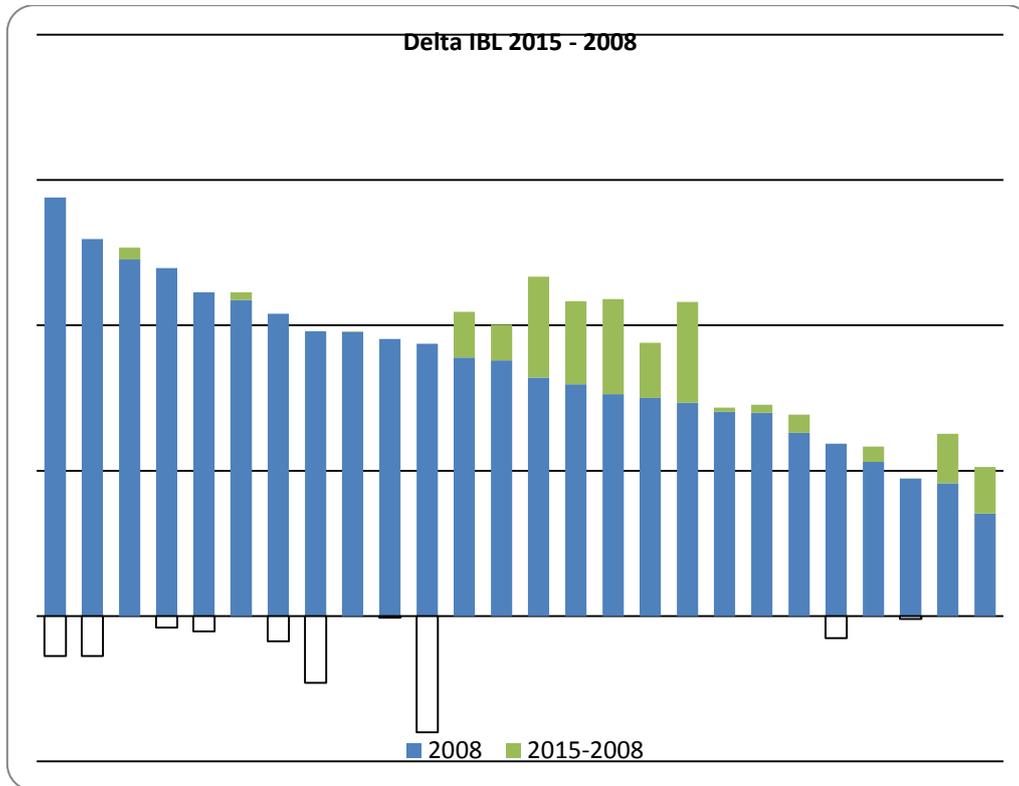


Figura 7. Variazioni assolute dei valori IBL dal 2008 al 2015 nelle 26 stazioni di campionamento. Da sinistra a destra le stazioni sono riportate secondo un rango crescente di IBL rilevato nel 2008.

È interessante notare come gli incrementi di diversità lichenica dal 2008 al 2015 siano stati principalmente osservati nei siti di campionamento che avevano fatto registrare valori minori nel corso della prima campagna di rilevamento (Figura 7), mentre le stazioni di campionamento in cui la diversità è diminuita sono principalmente quelle che nel 2008 avevano valori maggiori di IBL.

Un'analisi simile, relativa al confronto tra le campagne di monitoraggio del 2012 e del 2015, ha messo in evidenza risultati solo parzialmente sovrapponibili, suggerendo come gli andamenti della diversità lichenica a breve e medio termine possano fornire informazioni complementari. Per quanto riguarda il pattern spaziale delle differenze percentuali di IBL (Figura 8), in 12 stazioni di campionamento è stata rilevata una situazione sostanzialmente invariata ($\pm 10\%$). Otto siti di campionamento, principalmente localizzati nell'area a nord di Allumiere, hanno fatto registrare aumenti di IBL compresi tra il 10% e il 50%. Pur sottolineando la mancanza di differenze significative di IBL tra 2012 e 2008 considerando l'area di studio nel suo complesso, in 6 stazioni di campionamento su 26 sono state rilevate diminuzioni di IBL $> 10\%$. I siti sono principalmente nell'area a sud di Tolfa e mostrano un distinto pattern di localizzazione.

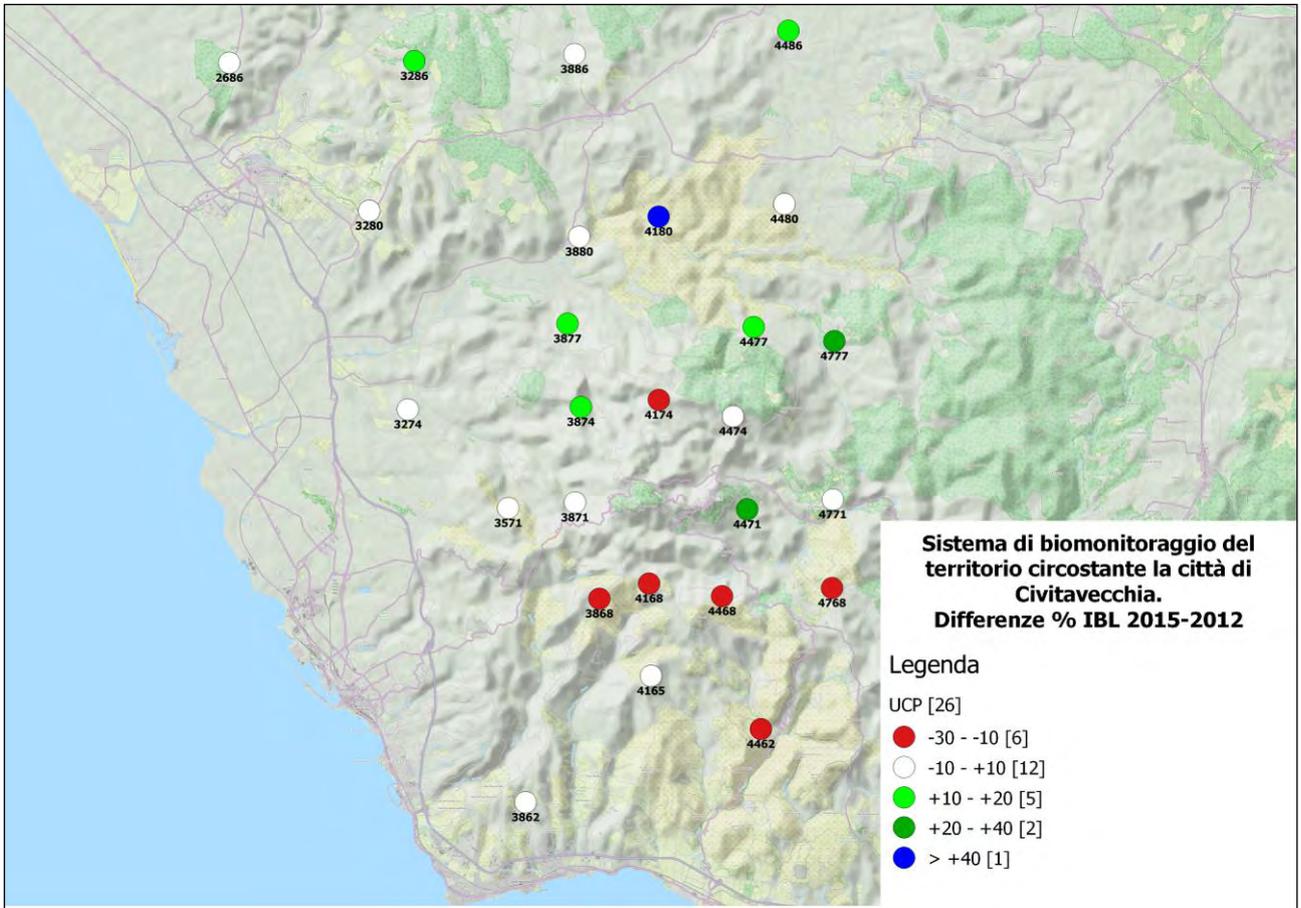


Figura 8. Pattern spaziale delle differenze percentuali di IBL tra le campagne 2015 e 2012.

Similmente a quanto riportato per gli andamenti a lungo termine, anche considerando le variazioni del valore assoluto di IBL tra il 2012 e il 2015 (Figura 9), emerge come i decrementi più sensibili siano stati rilevati nelle stazioni più ricche (IBL > 100 nel 2012). Gli incrementi sembrano invece riguardare i siti di campionamento con valori intermedi di diversità.

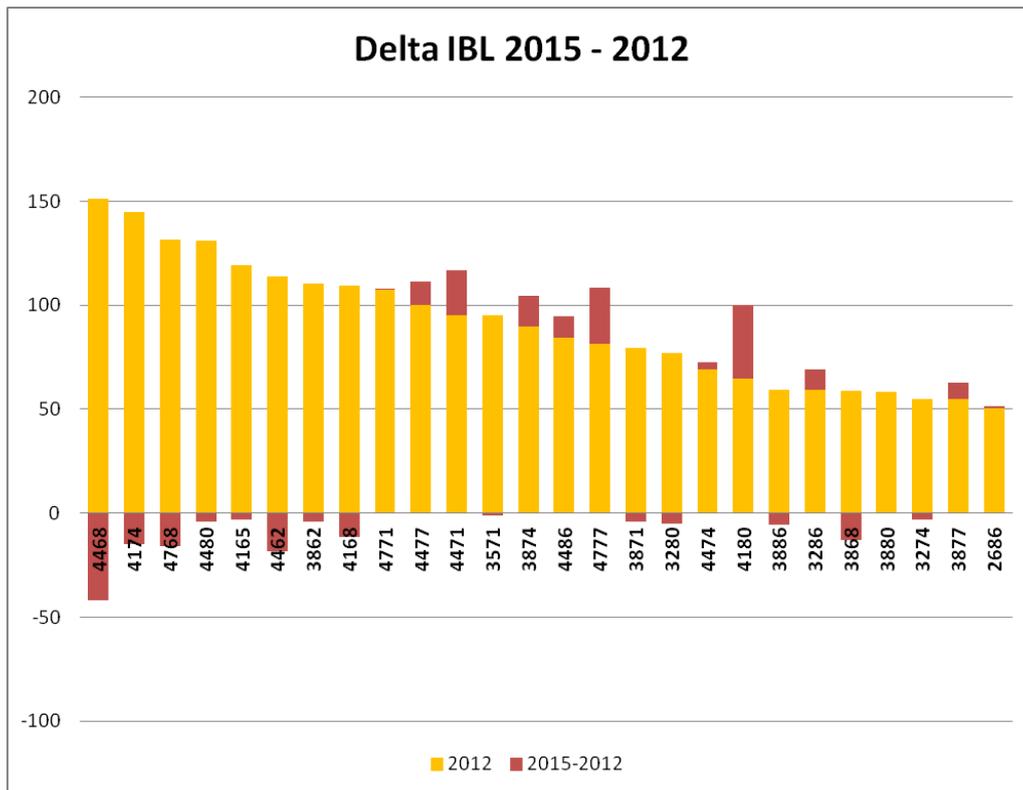


Figura 9. Variazioni assolute dei valori IBL dal 2012 al 2015 nelle 26 stazioni di campionamento. Da sinistra a destra le stazioni sono riportate secondo un rango crescente di IBL rilevato nel 2012.

5.2 Bioaccumulo

Vengono riportati i risultati della campagna di bioaccumulo condotta nel 2015 in corrispondenza di 22 stazioni della rete in cui sono stati raccolti talli di *F. caperata*. Come già ricordato precedentemente, nella UC 3862, rilevata nelle precedenti campagne di monitoraggio, non è stato possibile campionare una quantità sufficiente di materiale per l'analisi chimica. I dettagli relativi ai dati stazionari sono riportati in Appendice B (Fogli Raccolta Dati).

5.2.1 Bioaccumulo nei talli di *Flavoparmelia caperata*

In Tabella 2 sono riportate le concentrazioni e le principali statistiche descrittive relative ai 12 elementi analizzati in corrispondenza delle 22 stazioni.

Tabella 2. Concentrazioni, espresse in ppm (mg/kg su peso secco), degli elementi analizzati nei talli raccolti nelle stazioni della rete di bioaccumulo.

Stazione	Al	As	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Ti	V	Zn
3286	811	0,37	1,45	4,24	0,140	21,8	0,69	1,29	0,194	46,4	2,19	27,6
3571	390	0,33	1,35	4,59	0,121	71,8	0,59	1,55	0,354	26,2	1,09	33,2
3868	800	0,77	1,77	5,55	0,239	66,4	0,79	2,93	0,415	60,1	1,80	36,8
3871	874	0,40	2,56	4,83	0,127	41,8	0,94	1,51	0,280	64,2	2,03	32,4
3874	1359	2,58	3,19	5,69	0,143	46,9	1,31	2,05	0,231	98,0	2,52	35,4
3886	843	0,36	1,34	4,50	0,130	34,9	0,58	1,82	0,190	55,5	2,01	33,3
4165	592	0,47	1,11	3,90	0,124	26,2	0,50	12,82	0,283	36,6	1,30	29,2
4168	1134	0,57	1,96	5,31	0,156	167,2	1,37	4,86	0,340	75,4	2,36	37,0
4171	518	0,79	1,13	3,86	0,150	54,1	0,45	2,02	0,235	33,2	0,91	43,6
4174	1232	0,67	1,92	5,48	0,122	46,9	0,79	1,87	0,293	78,1	1,98	38,9
4177	894	0,38	2,11	4,34	0,086	22,4	1,14	6,20	0,209	64,2	2,19	34,9
4180	2226	0,45	3,49	4,56	0,099	53,0	1,36	2,89	0,272	148,5	4,51	29,9
4462	1323	1,38	2,16	4,07	0,174	53,2	0,84	2,93	0,287	81,1	2,14	27,3
4468	742	0,31	1,50	4,20	0,118	92,1	0,83	1,11	0,260	50,7	1,37	25,8
4471	1021	0,72	2,37	6,32	0,143	114,4	0,87	1,79	0,213	67,4	1,83	43,1
4474	828	0,34	1,57	4,20	0,127	66,3	0,64	1,79	0,304	59,2	1,67	32,0
4477	1034	1,05	1,87	5,18	0,117	56,6	0,87	2,25	0,245	63,1	1,89	34,9
4480	1039	0,40	1,75	5,32	0,125	26,7	0,88	1,62	0,250	63,2	2,09	32,0
4486	2830	0,62	1,92	4,92	0,098	101,7	1,05	3,29	0,185	104,2	3,10	35,9
4768	1134	0,38	2,93	5,01	0,123	78,8	1,12	17,01	0,303	76,0	2,08	41,8
4771	1033	3,26	1,52	4,64	0,224	29,1	0,78	1,40	0,255	65,9	1,53	32,6
4777	1301	0,46	1,72	5,08	0,094	51,4	0,85	1,89	0,224	78,6	2,25	32,4

Media (mg/kg)	1089	0,78	1,94	4,81	0,135	60,2	0,87	3,50	0,265	68,0	2,04	34,1
Dev. St.	538	0,75	0,64	0,64	0,037	34,8	0,26	3,94	0,057	26,1	0,74	4,8
CV(%)	49,4	96,6	32,8	13,3	27,6	57,8	30,0	112,7	21,5	38,4	36,1	14,2
Min (mg/kg)	390	0,31	1,11	3,86	0,086	21,8	0,45	1,11	0,185	26,2	0,91	25,8
Max (mg/kg)	2830	3,26	3,49	6,32	0,239	167,2	1,37	17,01	0,415	148,5	4,51	43,6

5.2.2 Analisi dei suoli e fattori di arricchimento

Per consentire una valutazione dell'eventuale contributo di particolato di natura terrigena all'accumulo nei talli lichenici, vengono riportati i valori di concentrazione nel suolo degli stessi 12 elementi presi in considerazione per l'analisi di *F. caperata*. Le analisi sono state effettuate nel corso dell'indagine del 2008 e, nel caso della stazione 3871, dell'indagine 2009. Per comodità di lettura dei dati di bioaccumulo del 2015, viene riportata la tabella delle concentrazioni elementari nei suoli (Tabella 3). Come già evidenziato nelle relazioni delle precedenti campagne, le concentrazioni nei suoli di Al, As, Cr, Ti e V risultano in media molto superiori rispetto alle concentrazioni analizzate nel lichene ($Cs/Cl > 100$). Il rapporto fra la concentrazione nel suolo e nel lichene per Mn, Ni e Pb è compreso tra 26 e 49, mentre per Cu, Hg, Se e Zn è più basso e compreso fra 3,4 e 8,1.

Tabella 3. Concentrazioni (ppm, mg/Kg su peso secco) degli elementi rilevate nei suoli nel 2008. I valori massimi di ogni elemento sono evidenziati in grassetto. Cs/Cl = rapporto tra le concentrazioni degli elementi nei suoli e nel lichene. *Campione di suolo raccolto nel 2009.

Stazione	Al	As	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Ti	V	Zn
3286	39900	10,4	64,4	9,05	0,34	738	18,8	29,1	<0,1	2600	49,1	84,1
3571	82800	6,72	181	31,4	0,24	836	38,6	37,1	<0,1	5300	115	90,4
3862	84400	2,13	147	33,3	0,37	1161	65,7	29,2	<0,1	5100	106	96,8
3868	81200	189	151	43,6	3,85	1885	62,3	74,9	0,10	4800	101	136
3871*	84068	7,52	137	54,7	0,08	2041	34,9	46,5	0,66	3403	189	111
3874	75200	245	99,0	29,8	0,73	515	32,0	56,1	0,10	5500	111	81,2
3886	72600	34,7	183	39,9	0,41	1508	75,3	41,2	0,18	4600	97,3	78,2
4165	69200	9,37	184	31,5	0,21	777	49,1	75,1	0,18	4700	99,9	104
4168	99930	13,7	170	9,37	0,44	472	77,7	40,4	<0,1	5800	123	96,6
4171	56100	104	99,2	13,6	2,64	452	37,1	85,2	<0,1	2200	53,0	75,4
4174	71600	29,5	64,6	6,29	0,24	329	16,9	98,7	0,19	4500	91,8	76,3
4177	69400	7,17	141	25,0	0,69	1141	51,2	38,7	0,19	3900	81,5	60,8
4180	76700	5,82	162	36,1	0,39	849	42,7	31,5	<0,1	4600	97,8	89,5
4462	78000	5,02	144	15,1	0,42	1071	55,4	43,6	<0,1	4700	93,5	84,3
4468	84800	16,1	186	91,1	0,20	1558	78,0	24,2	0,29	4400	102	66,2
4471	73200	16,1	130	61,3	0,27	1468	61,7	56,0	<0,1	4800	92,5	66,8
4474	76200	13,8	52,0	1,57	0,14	1045	26,6	64,9	0,16	4500	79,5	101
4477	71600	0,17	117	27,3	0,25	921	48,5	25,3	<0,1	3900	77,5	79,2
4480	77330	4,02	153	41,4	0,22	1605	61,4	43,3	<0,1	3800	97,7	83,6
4486	88300	9,18	20,6	17,1	0,13	1004	9,6	78,6	<0,1	4700	75,8	109
4768	68800	10,6	215	54,3	0,16	1909	97,6	32,6	<0,1	3500	91,2	74,1
4771	78600	14,3	109	18,7	0,35	1548	43,0	95,2	<0,1	4300	96,7	78,2
4777	78700	5,79	115	45,5	0,12	1502	43,8	50,7	<0,1	4500	83,7	102
MEDIA	75593	33,06	132	32,0	0,56	1145	49,0	52,1	0,23	4352	95,9	88,0
DS	11533	62,26	48,7	20,9	0,88	496	21,7	22,6	0,17	849	26,7	17,3
CV%	15,3	188	37,1	65,1	157	43,3	44,3	43,4	74,6	19,5	27,8	19,6
MIN	39900	0,17	20,6	1,57	0,08	329	9,6	24,2	0,10	2200	49,1	60,8
MAX	99930	245	215	91,1	3,85	2041	97,6	98,7	0,66	5800	189	136
Cs/Cl (media)	189	359	108	6,1	5,83	43,6	65,0	35,9	0,70	119	127,1	2,86
Cs/Cl (DS)	57	530	59,8	4,2	7,36	26,7	35,9	19,1	0,56	42,2	40,8	0,92

Vengono riportati i dati relativi al Fattore di arricchimento (Fa) ottenuti utilizzando rispettivamente Al e Ti come elementi terrigeni di riferimento (Tabella 4). I valori ottenuti con i diversi elementi di riferimento sono sostanzialmente coerenti tra loro e solo in pochi casi si registrano variazioni rilevanti tra Fa Al e Fa Ti nella stessa stazione di campionamento. Per quanto riguarda gli elementi considerati, Cr, Ni e V hanno valori medi di Fa di poco superiori all'unità che fanno ipotizzare un considerevole apporto di particolato terrigeno nel campione lichenico analizzato. Considerazioni simili possono essere fatte per Mn e Pb, benché questi elementi abbiano valori leggermente maggiori di fattore di arricchimento. Al contrario, poiché gli altri elementi considerati hanno valori medi del Fa molto superiori all'unità, è possibile ipotizzare un contributo di origine antropica, che risulta particolarmente importante per alcuni elementi. In particolare i valori maggiori di Fa sono stati ottenuti per As, Se, Cu, Hg e Zn.

Tabella 4. Valori del Fattore di arricchimento (Fa) calcolati per ogni elemento utilizzando come riferimento le concentrazioni di Al e di Ti. (continua). * = Fa calcolati sulla base di valori di Se nel suolo inferiori al limite di rilevabilità.

Stazione		As	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	V	Zn
3286	Fa Al	1,7	1,1	23,0	20,2	1,5	1,8	2,2	95,4*	2,2	16,2
	Fa Ti	2,0	1,3	26,3	23,1	1,7	2,1	2,5	108,8*	2,5	18,4
3571	Fa Al	10,4	1,6	31,0	107,0	18,2	3,2	8,9	751,1*	2,0	77,9
	Fa Ti	9,9	1,5	29,5	101,9	17,4	3,1	8,4	715,6*	1,9	74,2
3868	Fa Al	0,4	1,2	12,9	6,3	3,6	1,3	4,0	421,0	1,8	27,5
	Fa Ti	0,3	0,9	10,2	5,0	2,8	1,0	3,1	331,2	1,4	21,6
3871	Fa Al	5,1	1,8	8,5	152,7	2,0	2,6	3,1	40,8	1,0	28,1
	Fa Ti	2,8	1,0	4,7	84,1	1,1	1,4	1,7	22,5	0,6	15,5
3874	Fa Al	0,6	1,8	10,6	10,8	5,0	2,3	2,0	127,8	1,3	24,1
	Fa Ti	0,6	1,8	10,7	11,0	5,1	2,3	2,0	129,6	1,3	24,5
3886	Fa Al	0,9	0,6	9,7	27,3	2,0	0,7	3,8	90,9	1,8	36,6
	Fa Ti	0,9	0,6	9,4	26,3	1,9	0,6	3,7	87,5	1,7	35,3
4165	Fa Al	5,9	0,7	14,5	69,1	3,9	1,2	20,0	183,9	1,5	32,8
	Fa Ti	6,4	0,8	15,9	75,8	4,3	1,3	21,9	201,8	1,7	36,0
4168	Fa Al	3,7	1,0	50,0	31,3	31,2	1,6	10,6	299,7*	1,7	33,7
	Fa Ti	3,2	0,9	43,6	27,3	27,2	1,4	9,2	261,4*	1,5	29,4
4171	Fa Al	0,8	1,2	30,7	6,1	13,0	1,3	2,6	254,4*	1,9	62,6
	Fa Ti	0,5	0,8	18,8	3,8	7,9	0,8	1,6	155,5*	1,1	38,3
4174	Fa Al	1,3	1,7	50,6	29,5	8,3	2,7	1,1	89,6	1,3	29,6
	Fa Ti	1,3	1,7	50,2	29,3	8,2	2,7	1,1	88,9	1,2	29,4
4177	Fa Al	4,1	1,2	13,5	9,7	1,5	1,7	12,4	85,4	2,1	44,6
	Fa Ti	3,2	0,9	10,6	7,6	1,2	1,4	9,7	66,9	1,6	34,9
4180	Fa Al	2,7	0,7	4,4	8,7	2,1	1,1	3,2	93,7*	1,6	11,5
	Fa Ti	2,4	0,7	3,9	7,9	1,9	1,0	2,8	84,2*	1,4	10,3
4462	Fa Al	16,2	0,9	15,9	24,4	2,9	0,9	4,0	169,2*	1,3	19,1

Stazione		As	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	V	Zn
4468	Fa Ti	15,9	0,9	15,6	24,0	2,9	0,9	3,9	166,3*	1,3	18,8
	Fa Al	2,2	0,9	5,3	67,5	6,8	1,2	5,2	102,5	1,5	44,5
	Fa Ti	1,7	0,7	4,0	51,2	5,1	0,9	4,0	77,8	1,2	33,8
4471	Fa Al	3,2	1,3	7,4	38,0	5,6	1,0	2,3	152,7*	1,4	46,3
	Fa Ti	3,2	1,3	7,3	37,7	5,6	1,0	2,3	151,8*	1,4	46,0
4474	Fa Al	2,3	2,8	246,1	83,5	5,8	2,2	2,5	174,8	1,9	29,1
	Fa Ti	1,9	2,3	203,3	68,9	4,8	1,8	2,1	144,4	1,6	24,0
4477	Fa Al	427,7	1,1	13,1	32,4	4,3	1,2	6,2	169,7*	1,7	30,5
	Fa Ti	381,7	1,0	11,7	28,9	3,8	1,1	5,5	151,4*	1,5	27,2
4480	Fa Al	7,4	0,9	9,6	42,3	1,2	1,1	2,8	186,1*	1,6	28,5
	Fa Ti	6,0	0,7	7,7	34,1	1,0	0,9	2,2	150,2*	1,3	23,0
4486	Fa Al	2,1	2,9	9,0	23,5	3,2	3,4	1,3	57,7*	1,3	10,3
	Fa Ti	3,0	4,2	13,0	34,0	4,6	4,9	1,9	83,5*	1,8	14,9
4768	Fa Al	2,2	0,8	5,6	46,6	2,5	0,7	31,7	183,9*	1,4	34,2
	Fa Ti	1,7	0,6	4,2	35,4	1,9	0,5	24,0	139,5*	1,1	26,0
4771	Fa Al	17,4	1,1	18,9	48,7	1,4	1,4	1,1	194,1*	1,2	31,7
	Fa Ti	14,9	0,9	16,2	41,8	1,2	1,2	1,0	166,5*	1,0	27,2
4777	Fa Al	4,8	0,9	6,8	47,4	2,1	1,2	2,3	135,5*	1,6	19,2
	Fa Ti	4,6	0,9	6,4	44,9	2,0	1,1	2,1	128,3*	1,5	18,2
Media	Fa Al	23,8	1,3	27,1	42,4	5,8	1,6	6,1	184,5	1,6	32,7
	Fa Ti	21,3	1,2	23,8	36,5	5,2	1,5	5,3	164,3	1,4	28,5

In Figura 10 viene riportata la distribuzione spaziale dei valori medi del fattore di arricchimento, calcolato utilizzando l'alluminio come elemento di riferimento. Risulta evidente la presenza di pattern spaziali piuttosto definiti: la parte settentrionale dell'area di studio è caratterizzata dai valori di Fa più bassi (sempre < 10), mentre nelle stazioni ai margini orientali e meridionali dell'area di studio sono stati osservati valori intermedi di Fa, compresi tra 11 e 20. I valori maggiori interessano invece 4 siti di campionamento localizzati nella parte centrale dell'area di studio, in corrispondenza delle prime propaggini dei monti della Tolfa e in alcune aree a nord di Tolfa e Allumiere.

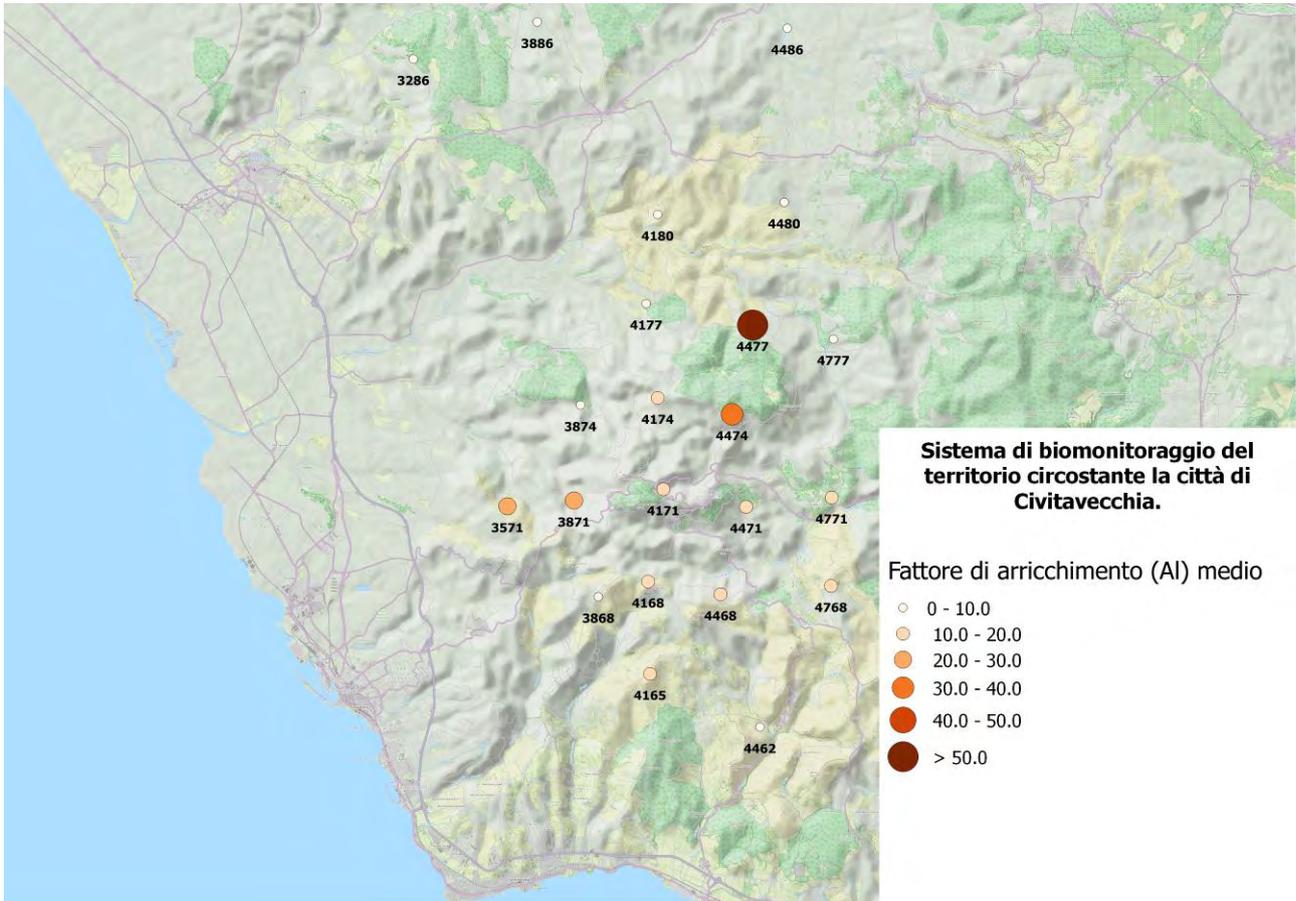


Figura 10. Distribuzione spaziale dei valori medi del fattore di arricchimento (Fa AI) degli elementi nel tallo lichenico.

5.2.3 Cluster analysis e correlazione fra elementi

Nelle figure successive vengono riportate le analisi di classificazione degli elementi e dei siti di campionamento realizzata mediante Cluster Analysis. L'elaborazione permette di identificare gruppi di elementi e di stazioni con caratteristiche simili all'interno dell'area di indagine.

La classificazione degli elementi (Figura 11) distingue 3 gruppi principali. Cluster 1 include Al, Ti, V. In particolare, il cluster comprende i due macro-elementi di origine terrigena (Al e Ti) e il V che è normalmente utilizzato come tracciante dell'impatto della combustione di petrolio (Minganti et al., 2003a). Come già evidenziato nelle relazioni precedenti, la provenienza di questo elemento potrebbe essere dovuta alle peculiarità della litologia locale (Kuneshka e Michetti 1997).

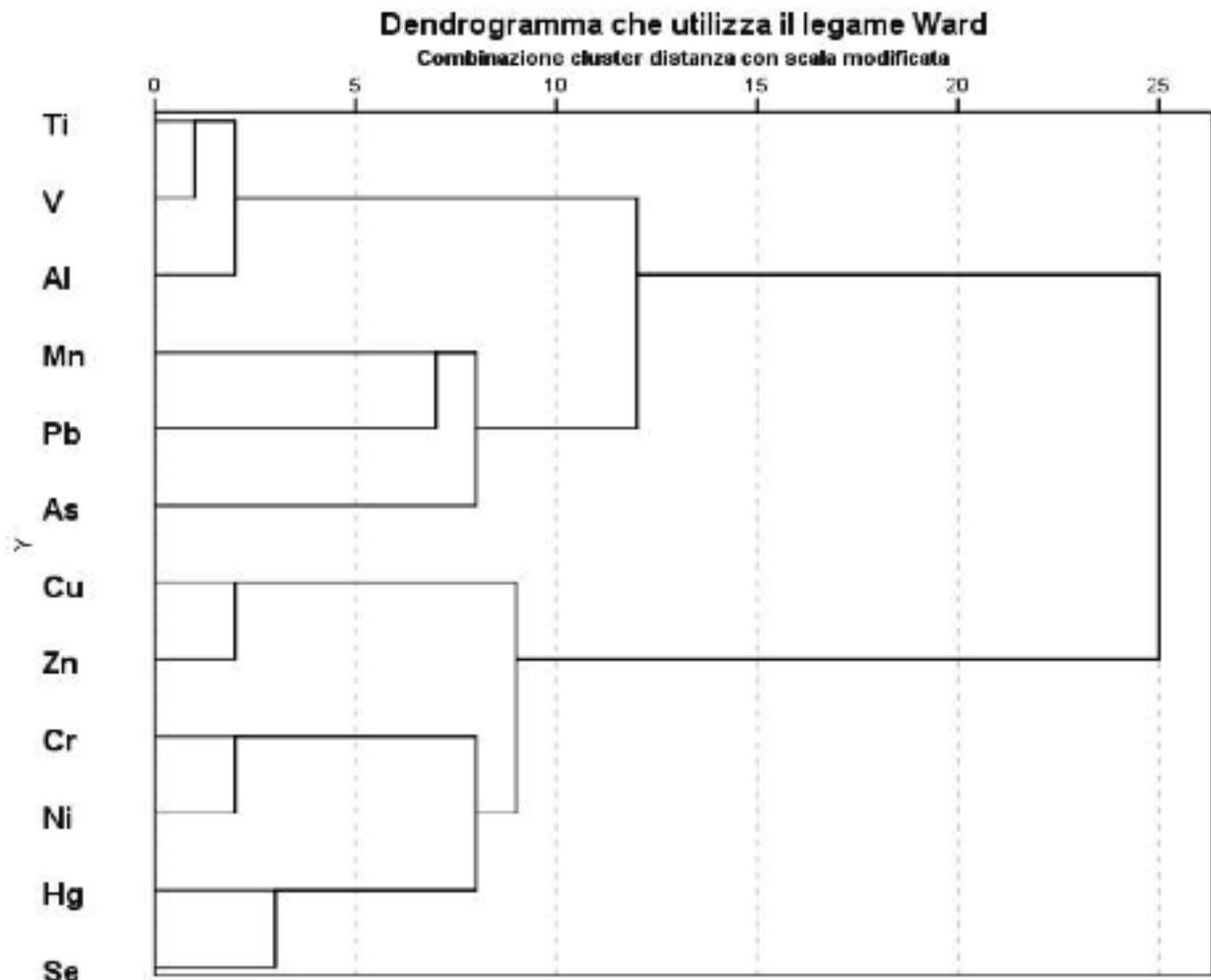


Figura 11. Dendrogramma di classificazione degli elementi rilevati nelle stazioni di bioaccumulo nel corso della campagna di monitoraggio 2015. Algoritmo di clustering: metodo di Ward; misura di distanza: distanza euclidea.

Il secondo cluster include As, Pb, e Mn, caratterizzati da valori piuttosto omogenei all'interno dell'area di studio, particolarmente bassi per quanto riguarda i primi quattro elementi, più alti per il manganese (se rapportati ai valori solitamente osservati sul territorio nazionale), ma sostanzialmente riconducibili ad apporti di natura terrigena. Il terzo cluster comprende gli altri elementi, tra cui Hg. Questi elementi sono caratteristici dell'area di indagine, considerando le particolarità geologiche ed idrogeologiche della zona, che, oltre alla galena, ospita parecchi altri minerali caratterizzati da solfuri di metalli, quali Cu e Fe (pirite e calcopirite), Hg (cinabro), generalmente accompagnati anche da solfoarseniuri (es. FeAsS, ENEL, 1999). Come già riportato nelle precedenti relazioni, in passato, nella zona erano presenti diverse attività di estrazione dei minerali di Pb, Hg e Fe, e sono ancora evidenti le tracce della coltivazione delle miniere di galena e delle loro discariche (Provincia di Roma, 1980; ENEL, 1999), che probabilmente sono la causa principale dell'impatto di questi elementi nell'area di studio. Per gli altri elementi di questo cluster (Cr, Ni), oltre ad una possibile provenienza terrigena, si può ipotizzare un apporto atmosferico, che risulta comunque di bassa rilevanza rispetto ai valori osservati sul territorio nazionale.

La correlazione non parametrica per ranghi di Spearman (Tabella 5) evidenzia elevate correlazioni tra gli elementi del cluster 1, con particolare riferimento ad elementi di natura terrigena, quali Ti, Al e V. Gli elementi del cluster 2 (Hg e As) sono significativamente correlati tra loro, ma debolmente con gli elementi degli altri cluster. Tra gli elementi del cluster 3, solo Zn e Cu mostrano una correlazione significativa. Quest'ultimo è anche correlato con Ni e Ti.

Tabella 5. Correlazioni per ranghi di Spearman tra i 12 elementi analizzati nel corso della campagna di rilevamento 2015. In grassetto le correlazioni statisticamente significative ($p < 0.05$). In blu gli elementi del cluster 1, in rosso gli elementi del cluster 2 e in nero quelli del cluster 3.

	Al	As	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Ti	V
As	0,40										
Cr	0,72	0,27									
Cu	0,45	0,35	0,51								
Hg	-0,20	0,45	-0,08	0,07							
Mn	0,09	0,03	0,23	0,26	0,04						
Ni	0,72	0,13	0,87	0,51	-0,25	0,22					
Pb	0,36	0,28	0,35	0,05	-0,13	0,17	0,37				
Se	-0,19	-0,05	0,07	0,04	0,26	0,32	-0,07	0,14			
Ti	0,96	0,42	0,81	0,46	-0,13	0,16	0,74	0,36	-0,10		
V	0,81	0,08	0,65	0,31	-0,24	-0,08	0,77	0,33	-0,34	0,76	
Zn	0,11	0,37	0,25	0,53	0,16	0,39	0,18	0,35	-0,02	0,16	-0,03

La classificazione dei siti di campionamento mediante Cluster Analysis ha evidenziato 3 gruppi principali di stazioni (Figura 12). Il primo cluster raggruppa 11 stazioni, prevalentemente distribuite nella parte centrale dell'area di studio nei pressi degli abitati di Allumiere e Tolfa. Le stazioni del cluster 2 sono invece localizzate nella parte orientale dell'area di studio a distanze mediamente maggiori dalla costa. Il cluster 3 include stazioni variamente distribuite nell'area di studio senza un evidente pattern geografico.

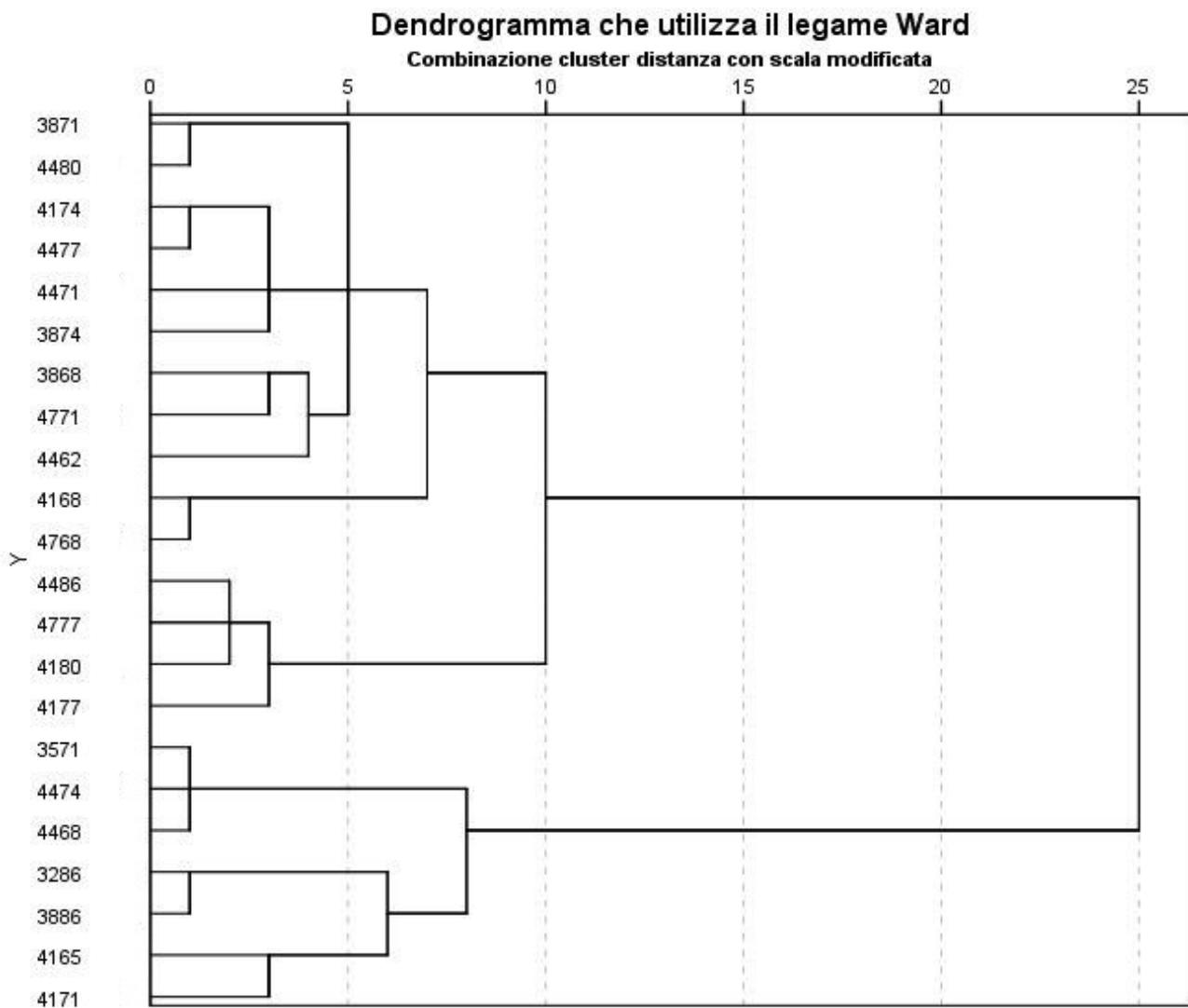


Figura 12. Dendrogramma di classificazione delle stazioni di campionamento del bioaccumulo nel corso della campagna di monitoraggio 2015. Algoritmo di clustering: legame completo; misura di distanza: distanza euclidea.

5.2.4 Distribuzione degli elementi nell'area di studio

Nei paragrafi successivi sono presentati i pattern spaziali delle concentrazioni degli elementi in traccia considerati. I dati fanno riferimento ai dati degli elementi nei talli lichenici raccolti nelle diverse stazioni di campionamento, come già riportato in Tabella 2 e sono interpretati in termini di scale di naturalità/alterazione, come proposto da Nimis & Bargagli (1999) e aggiornata in Nimis et al. (2002). La fase di interpretazione dei dati è un aspetto critico del monitoraggio biologico. La scala di interpretazione proposta da Nimis et al. (2002) ha il vantaggio di essere stata redatta sulla base di un numero elevato di dati raccolti in tutto il territorio italiano e riferiti ai licheni fogliosi più comunemente utilizzati negli studi di bioaccumulo *in situ* (*F. caperata*, *P. subrudecta*, *X. parietina*).

Tuttavia, l'accumulo di elementi all'interno del tallo lichenico coinvolge una complessa successione di processi biologici naturalmente soggetti ad una certa variabilità, in relazione a fattori ambientali (ad esempio quantità, frequenza ed intensità delle precipitazioni) e biologici. Tra questi, alcune peculiarità del metabolismo lichenico, quali la biosintesi di sostanze organiche comunemente dette "sostanze licheniche", portano ad una certa specie-specificità dell'accumulo degli elementi e in qualche caso anche a variabilità intraspecifiche.

Inoltre, la scala in questione è stata elaborata a partire da campioni sottoposti a mineralizzazione con $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ e non con HF come quelli analizzati nel corso della presente campagna di monitoraggio. Sulla base di quanto riportato da Bettinelli et al. (2002), la procedura di digestione con HF permette di ottenere dati analitici più realistici, in quanto consente una completa mineralizzazione del campione. In particolare, risultati molto simili sono stati ottenuti con le due procedure di digestione per Cu, Mn, Ti e Zn (ICP-OES and ICPMS), V e Cr (GFAAS e ICP-OES) e Ni (GFAAS e ICP-MS), mentre i valori di V e Cr analizzati mediante ICP-MS sono risultati significativamente più bassi di quelli ottenuti mediante ICPOES e GF-AAS. Pertanto, non solo la procedura di mineralizzazione, ma anche la metodica strumentale utilizzata possono influire sui risultati analitici.

Nonostante gli elementi di variabilità descritti in questo paragrafo, la scelta di utilizzare le scale di naturalità/alterazione è stata fatta quindi considerando la robustezza del database di partenza. A tutt'oggi, questo tipo di approccio rappresenta una delle migliori soluzioni per un'interpretazione verificabile e riproducibile dei dati di bioaccumulo.

5.2.4.1 Alluminio

Le concentrazioni di alluminio nei talli campionati nei siti di rilevamento nel corso della campagna 2015 sono risultati relativamente alti (Figura 13): le stazioni 4486 e 4180 hanno fatto registrare rispettivamente valori di alterazione alta e media, mentre altre 10 stazioni sono considerabili nella classe intermedia di "naturalità/alterazione media". Nei restanti siti di campionamento le concentrazioni di alluminio bioaccumulate nei talli lichenici corrispondevano a valori di naturalità media o alta. I siti con valori di alterazione maggiore sono localizzati nella parte orientale dell'area studio, in un contesto prevalentemente caratterizzato da attività agricole e di allevamento.

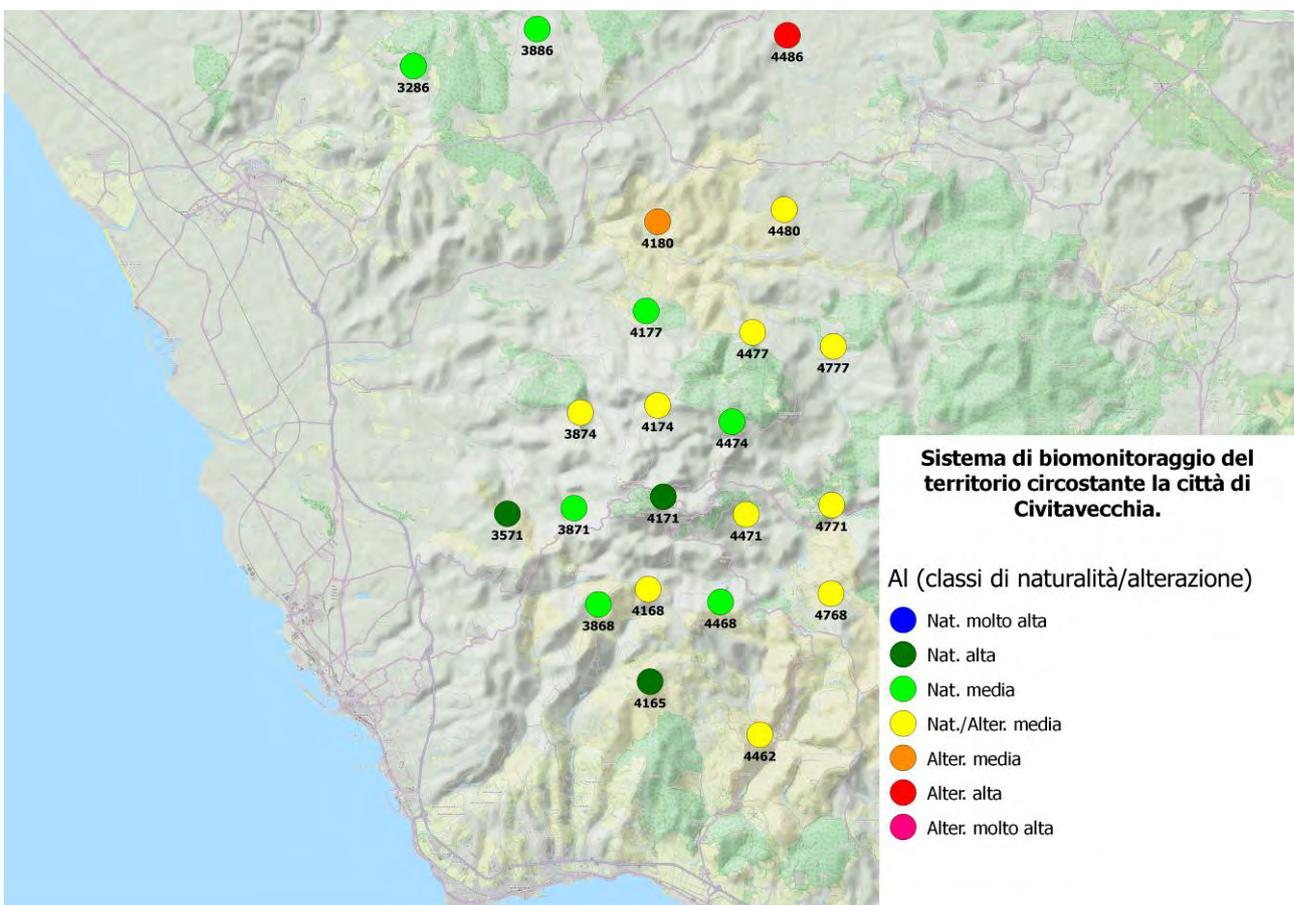


Figura 13. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per l'alluminio.

Le concentrazioni di alluminio rilevate nel corso della campagna 2015 risultano significativamente maggiori sia rispetto a quelle del 2012, sia se confrontate con quelle del 2008 (Figura 14.). Nel corso dell'ultima indagine è stato riscontrato un valore mediano di circa 1000 mg/Kg che potrebbe essere associato ad un maggiore apporto terrigeno nel materiale. Questo dato in ogni caso non inficia i risultati generali ottenuti.

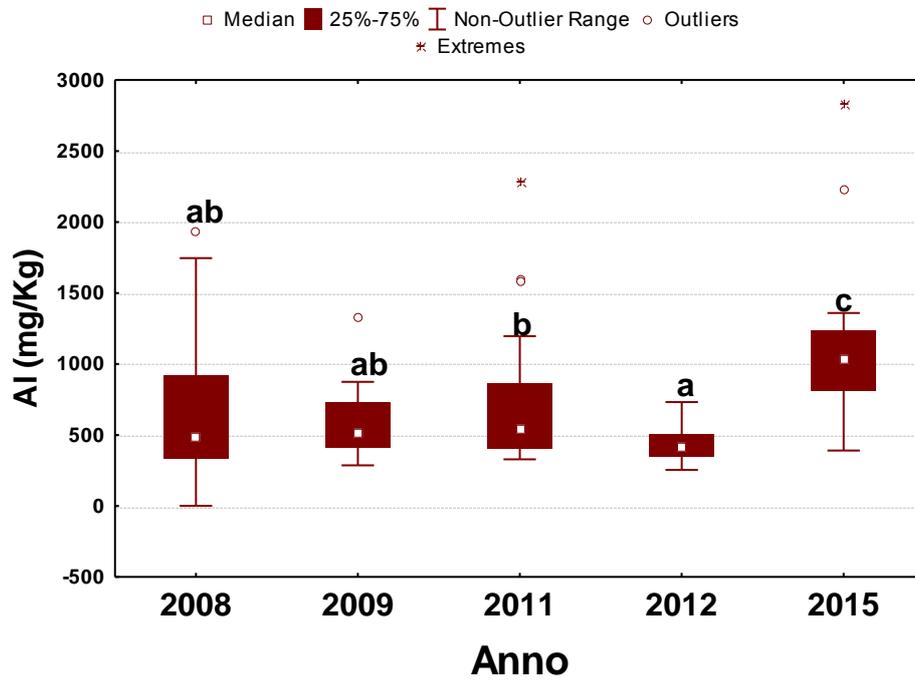


Figura 14. Distribuzione dei valori di concentrazione di alluminio nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.2 Arsenico

Nel complesso, le concentrazioni di arsenico nei talli di *F. caperata* dell'area studio sono caratterizzate da valori di naturalità media e alta (Figura 15). I valori più bassi sono stati rilevati nei siti localizzati nella parte settentrionale del territorio indagato. Come già riscontrato nelle precedenti campagne di monitoraggio, sono tuttavia presenti alcuni hotspot con valori elevati, riconducibili alle caratteristiche geologiche dell'area in esame. In particolare, una concentrazione di 3,26 mg/kg misurata in corrispondenza della stazione 4771 è associata con una classe di alterazione molto alta, mentre l'alterazione alta della stazione 3874 è dovuta a valori di As = 2,58 mg/kg.

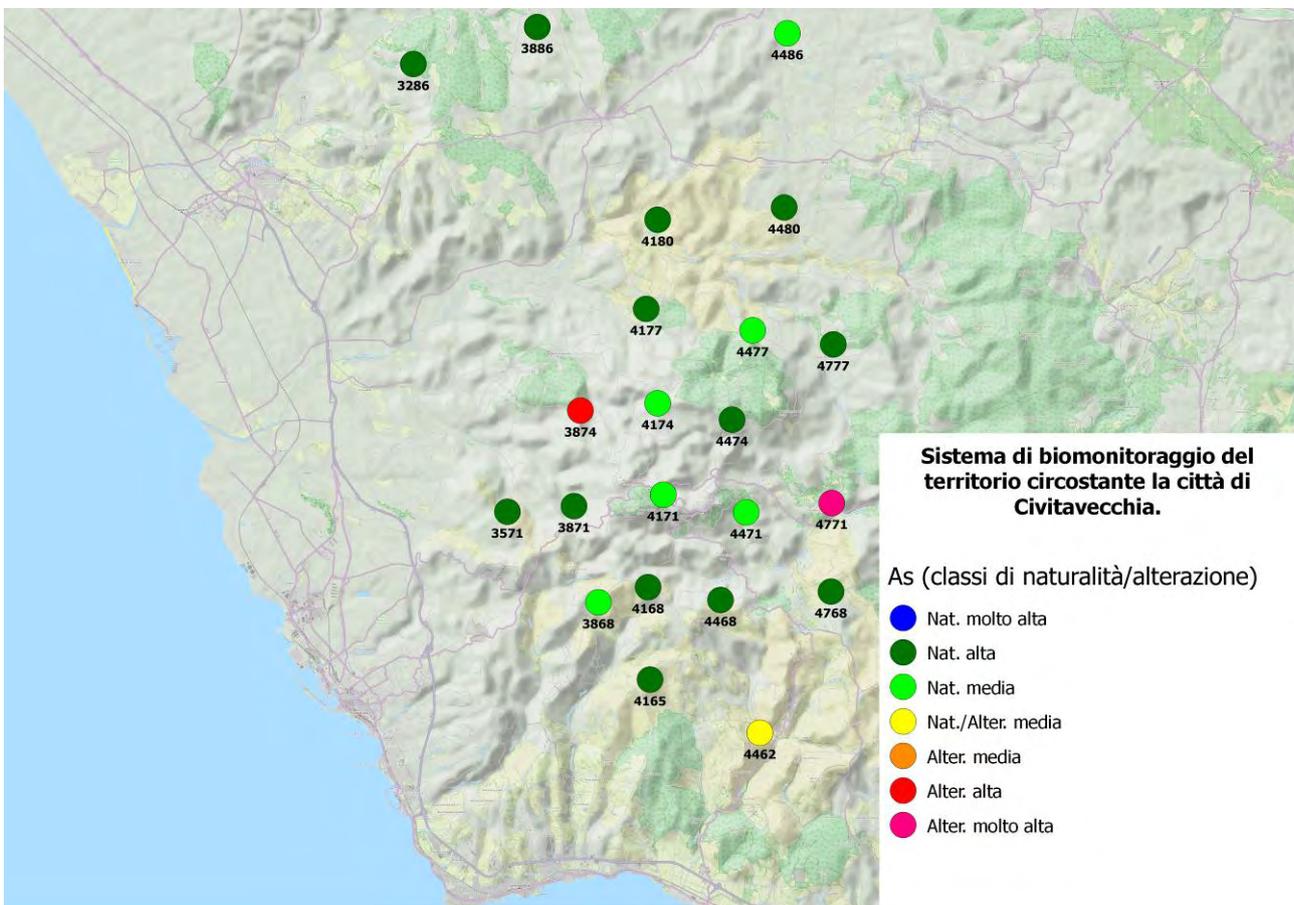


Figura 15. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per l'arsenico.

È stata osservata una certa variabilità nell'andamento temporale delle concentrazioni di arsenico nell'area di studio (Figura 16). I valori rilevati nella campagna di monitoraggio 2015 sono significativamente maggiori sia di quelli misurati nel 2012, sia di quelli ottenuti nell'indagine *ante-operam* del 2008. La loro distribuzione è invece comparabile con quelle osservate nei monitoraggi 2011 e 2012. È comunque da sottolineare come in tutte le campagne di rilevamento la distribuzione interquartile si è sempre attestata su valori < 1 mg/Kg corrispondenti a condizioni di naturalità.

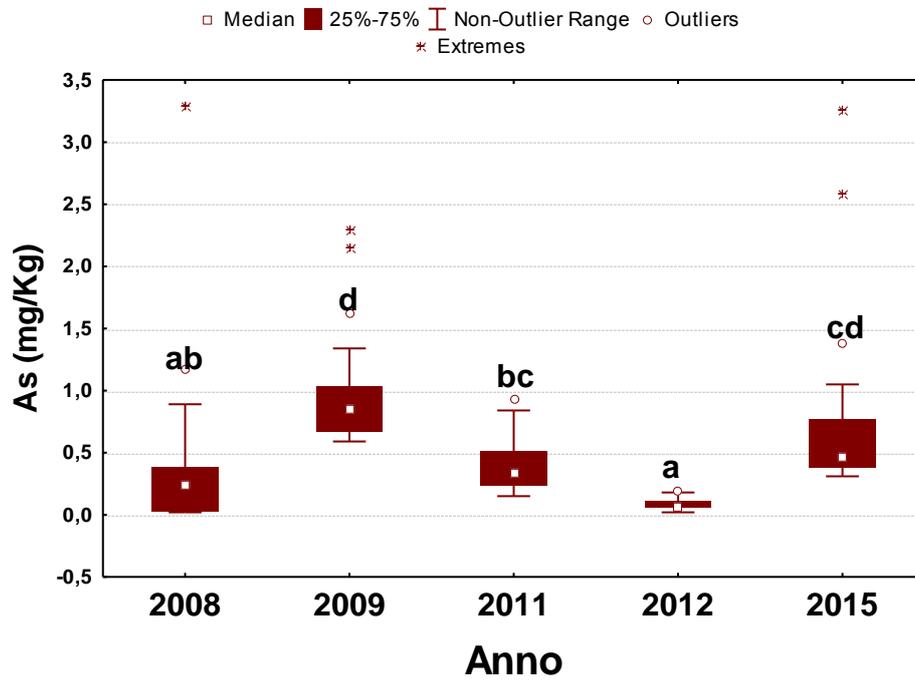


Figura 16. Distribuzione dei valori di concentrazione di arsenico nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

Cromo

La maggior parte dell'area di studio ricade nella 2° classe percentile di naturalità alta (Figura 17). La prima classe di naturalità molto alta è rappresentata con alcuni hotspot in corrispondenza delle stazioni 4171 e 4365. Gli altri siti di campionamento hanno valori di concentrazione di cromo comunque riconducibili a situazioni di naturalità media.

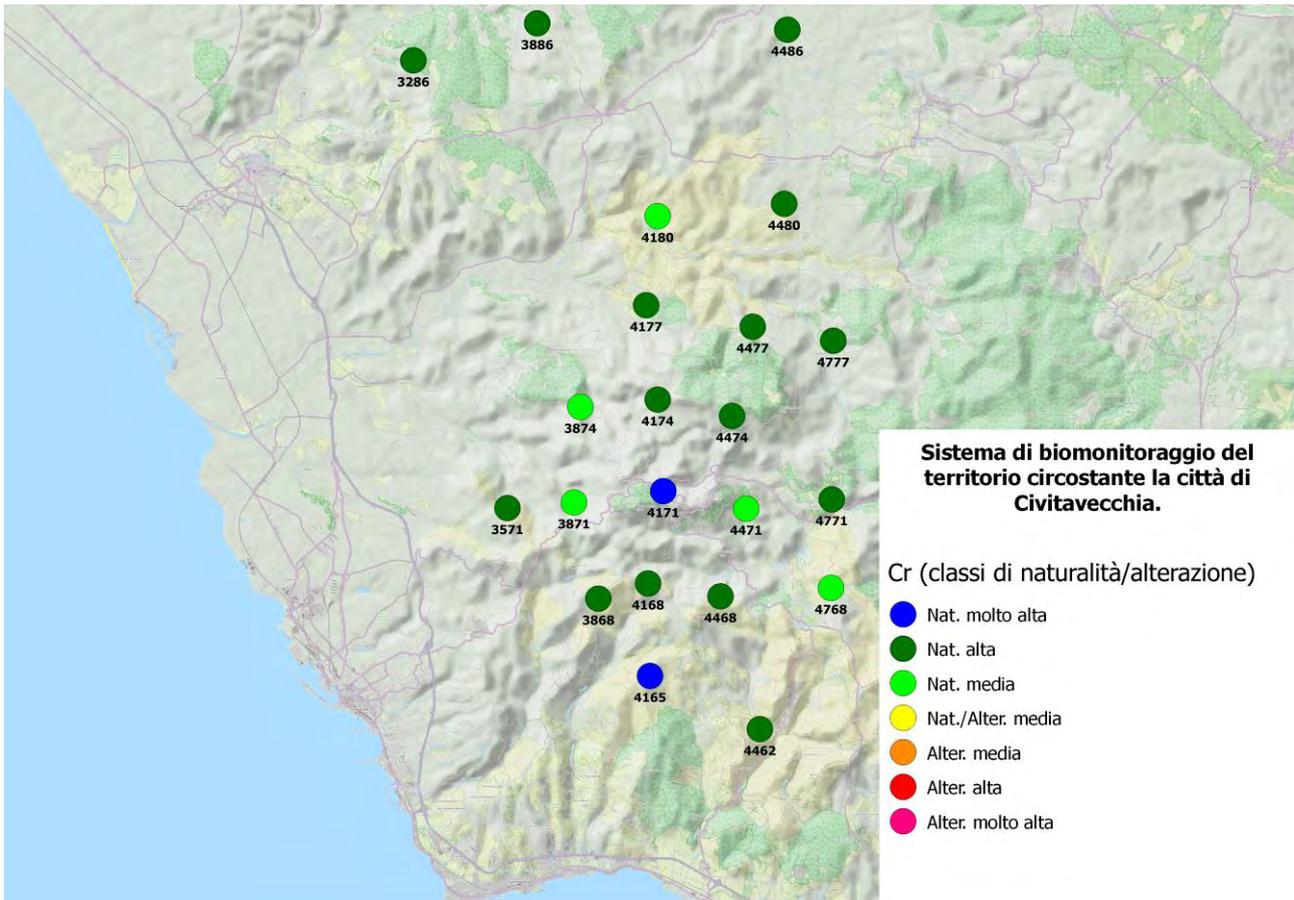


Figura 17. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il cromo.

Il bioaccumulo di cromo nei talli lichenici raccolti durante la campagna 2015 è stato significativamente maggiore rispetto a quello osservato nel 2012, ma in linea con i valori dello studio iniziale del 2008 (Figura 18). Secondo il test di Friedman, nonostante si siano verificate fluttuazioni temporali dei valori di concentrazione, solo nel 2009 si sono osservate differenze significative rispetto al rilevamento *ante-operam*.

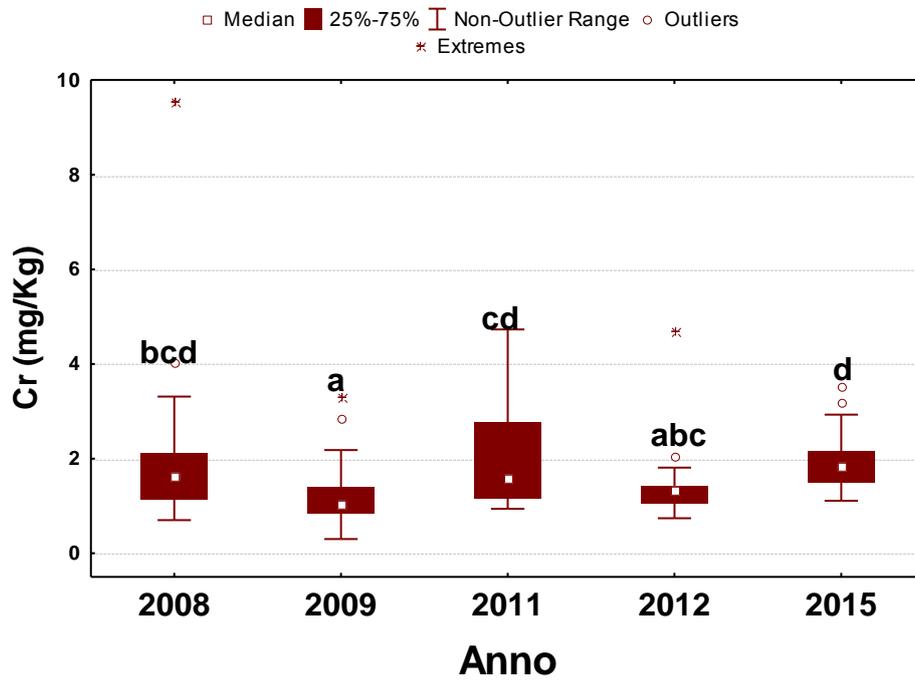


Figura 18. Distribuzione dei valori di concentrazione di cromo nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.3 Rame

Come già evidenziato nel corso della campagna di monitoraggio 2012, l'area studio è omogeneamente caratterizzata da una situazione di naturalità molto alta riguardo al bioaccumulo di rame nei talli lichenici (Figura 19), con un valore minimo di 3,86 mg/Kg rilevato nella stazione 4165.

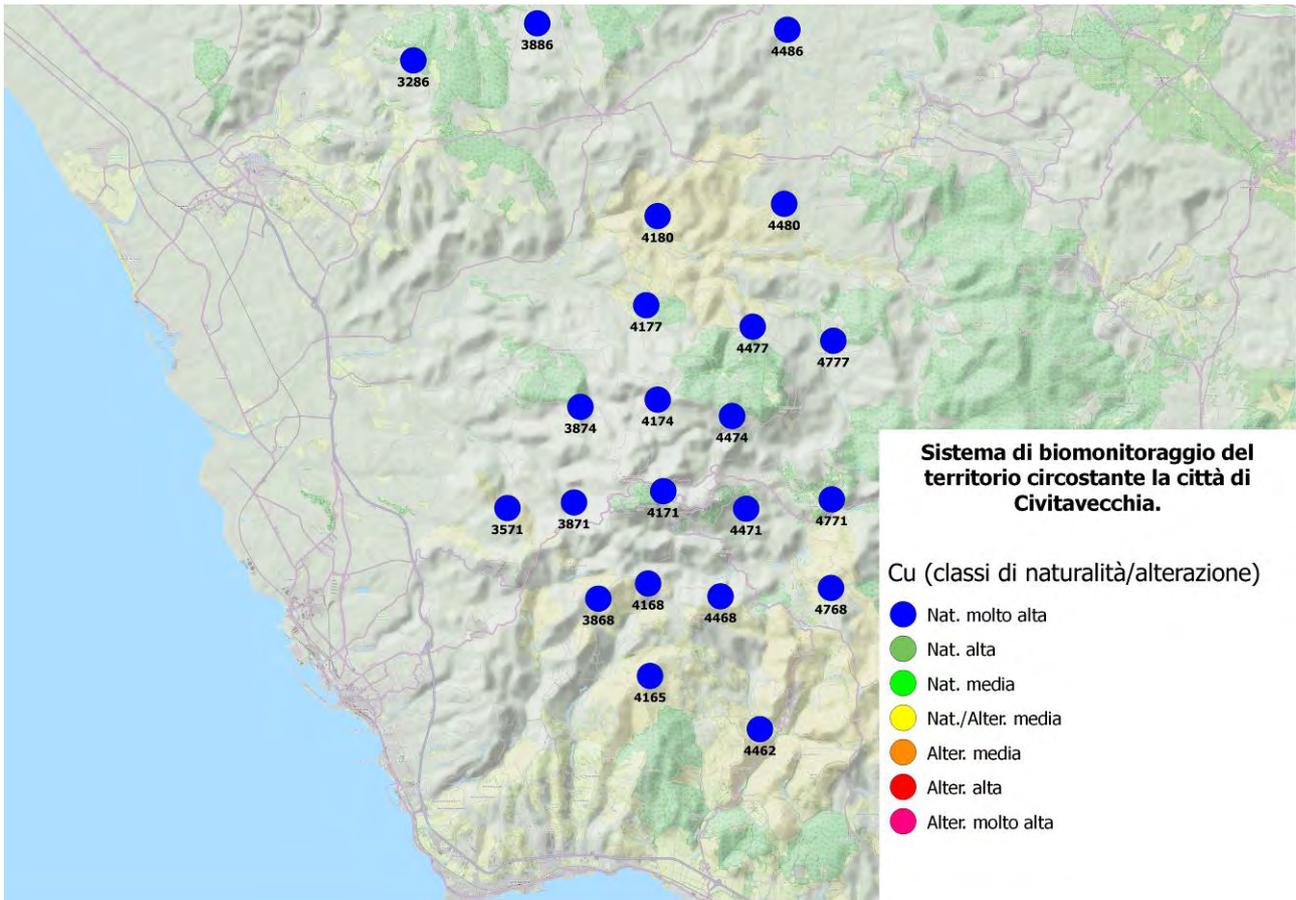


Figura 19. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il rame.

Il confronto con le campagne precedenti evidenzia un costante decremento delle concentrazioni di rame nei siti campionati a partire dal monitoraggio del 2008 (Figura 20). Secondo i test bivariati di Friedman, i valori rilevati nell'indagine del 2015 sono significativamente minori rispetto a quelli del 2008, 2009 e 2011, ma non rispetto a quelli del 2012. Questi ultimi erano però significativamente minori rispetto alla campagna *ante operam* del 2008.

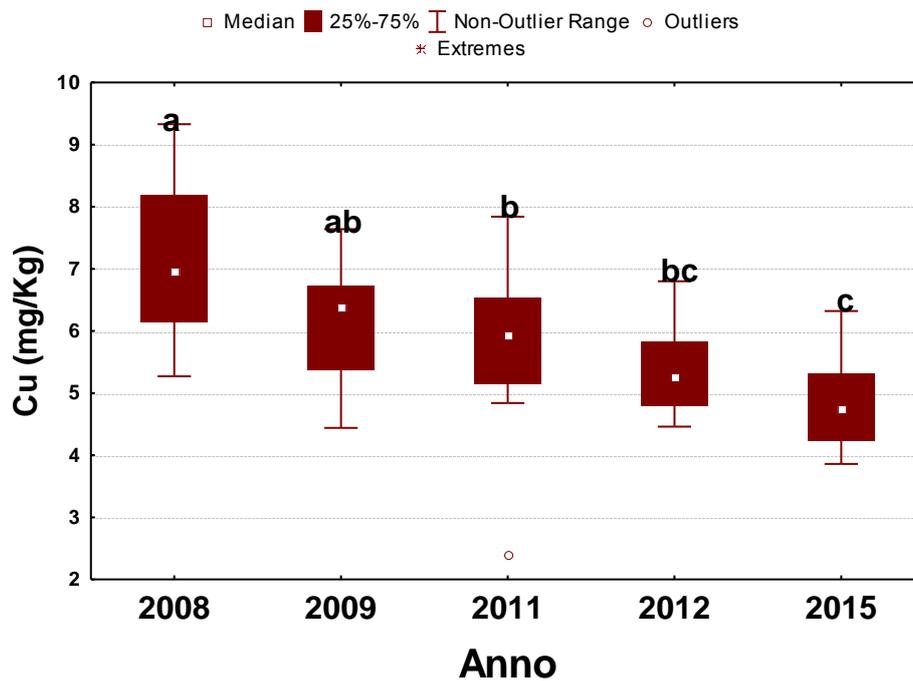


Figura 20. Distribuzione dei valori di concentrazione di rame nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.4 Mercurio

La carta di distribuzione del Hg (Figura 21) evidenzia una diffusa condizione di naturalità alta o media, ad eccezione di 2 siti di campionamento (3868 e 4771) dove sono stati rilevati valori riconducibili alla 4° classe percentuale (naturalità/alterazione medie). In entrambi i casi, le anomalie sono riconducibili alle caratteristiche geologiche del sito.

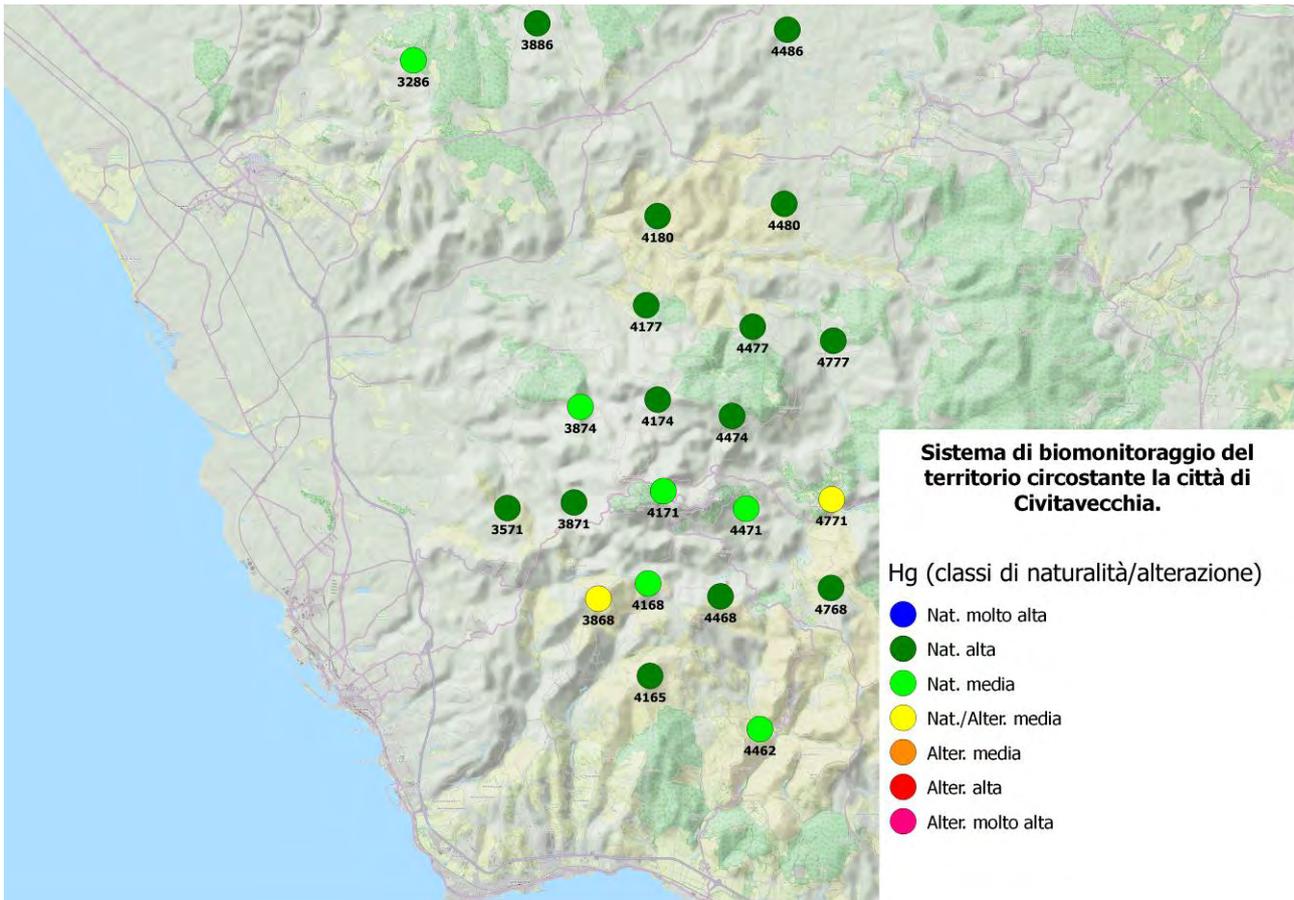


Figura 21. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il mercurio.

Anche nel caso del mercurio sono state osservate fluttuazioni temporali nella distribuzione dei valori di concentrazione nell'area di studio (Figura 22). Nel caso specifico, le concentrazioni misurate nell'indagine del 2015 sono state significativamente maggiori rispetto a quelle della precedente campagna 2012, ma comparabili con quelle dello studio *ante-operam*. Nonostante i risultati del fattore di arricchimento siano compatibili con una deposizione atmosferica a partire da sorgenti antropiche di questo elemento, tranne rari casi, i valori osservati sono contenuti (intervallo interquartile < 0,15 mg/Kg) e compatibili con condizioni di naturalità media.

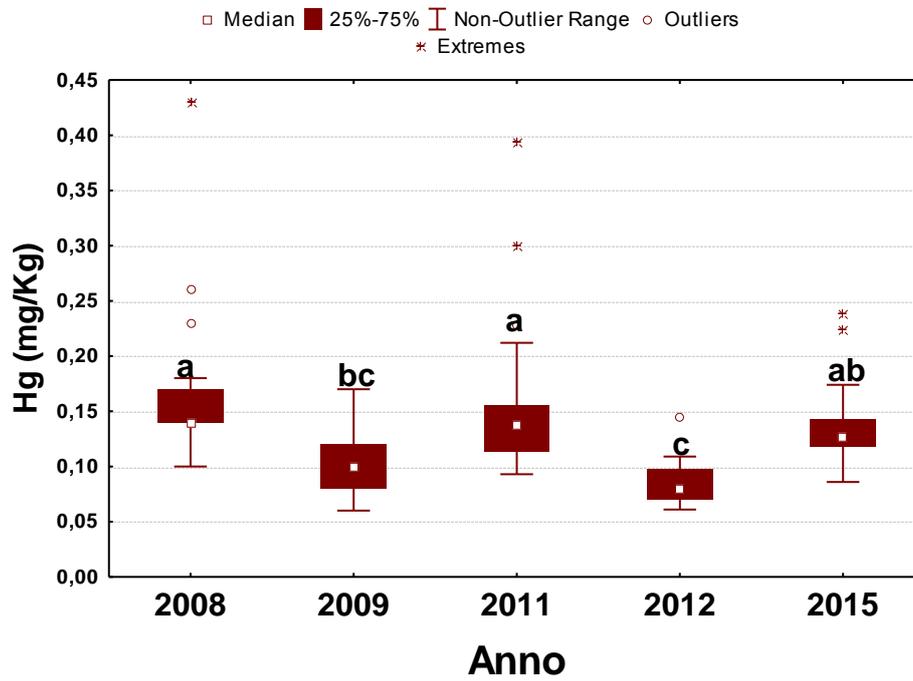


Figura 22. Distribuzione dei valori di concentrazione di mercurio nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.5 Manganese

Contrariamente a quanto osservato nella campagna di rilevamento 2012, le concentrazioni di manganese nei talli rilevati nel 2015 erano mediamente alte (Figura 23) con 8 stazioni nella 4° classe percentile, 4 stazioni nella 3° classe (alterazione media), 3 stazioni con un livello di alterazione alta e una (stazione 3886) in classe di alterazione molto alta. Come già rilevato per altri elementi, il pattern omogeneo nell'area di studio, l'analisi del fattore di arricchimento e le informazioni di letteratura portano ad ipotizzare un prevalente contributo terrigeno per questo elemento.

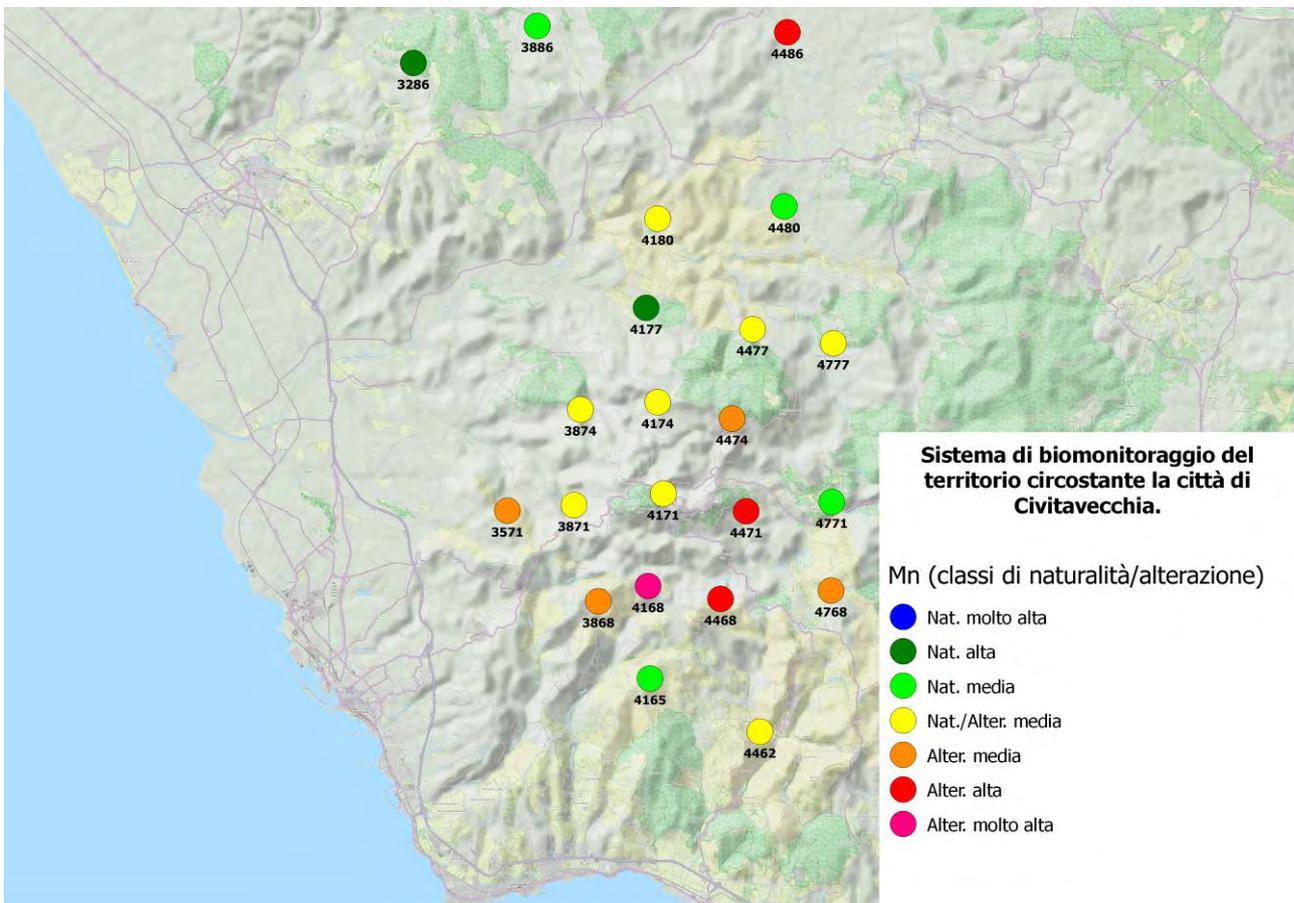


Figura 23. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il manganese.

Sono state osservate differenze significative tra le concentrazioni osservate nel 2015 e quelle delle precedenti campagne 2009, 2011 e 2012, ma non rispetto allo studio del 2008 (Figura 24).

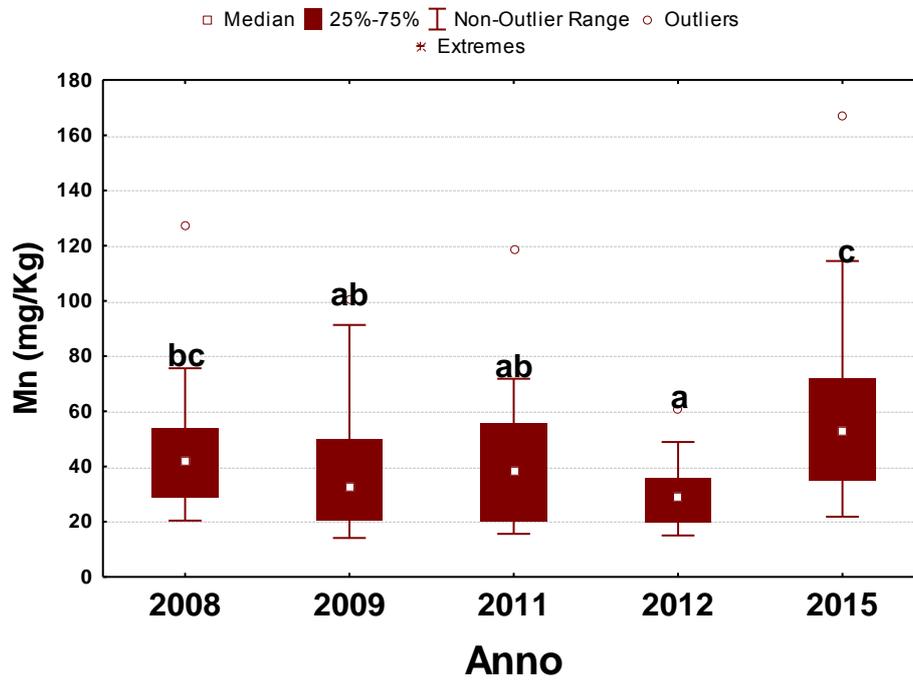


Figura 24. Distribuzione dei valori di concentrazione di manganese nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.6 Nickel

Similmente a quanto osservato per il rame, anche le concentrazioni di nickel rilevate nei siti di campionamento sono omogeneamente basse e riconducibili a classi di naturalità alta e molto alta in tutta l'area di studio (Figura 25).

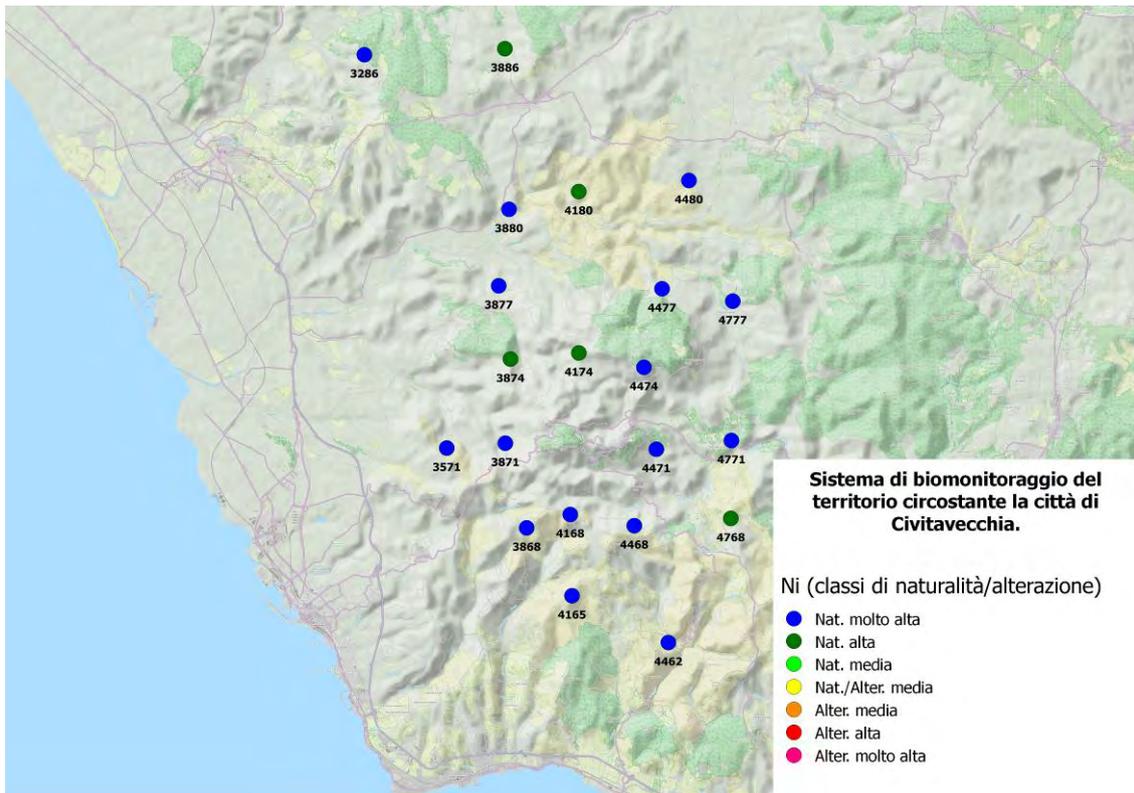


Figura 25. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il nickel.

Il dato conferma quanto osservato in tutte le precedenti campagne di monitoraggio ad eccezione di quella del 2011 nella quale erano state misurate concentrazioni di nickel significativamente maggiori (Figura 26).

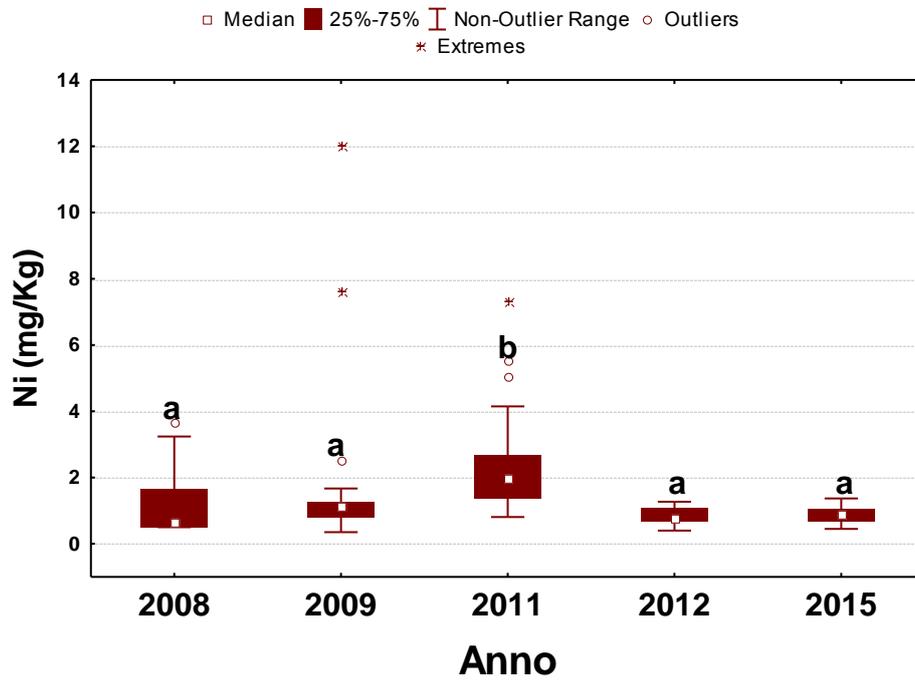


Figura 26. Distribuzione dei valori di concentrazione di nickel nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.7 Piombo

L'area di studio è caratterizzata prevalentemente da concentrazioni di piombo associabili a condizioni di naturalità molto alta (Figura 27). In due siti sono state però riscontrate concentrazioni maggiori, caratteristiche di una situazione di naturalità media, con un massimo di 17,01 mg/Kg nella stazione 4768.

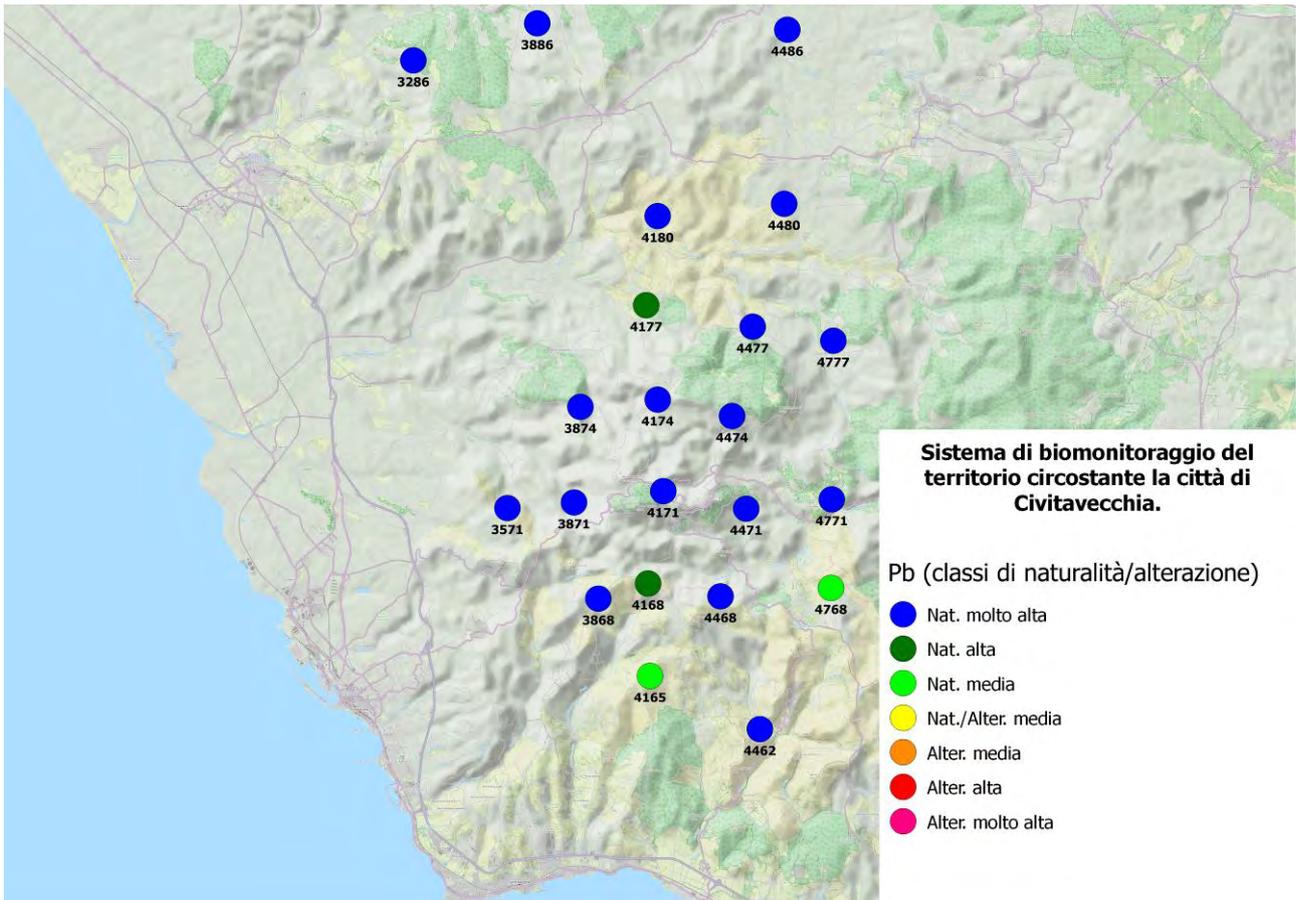


Figura 27. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il piombo.

Le concentrazioni di piombo rilevate nel corso della campagna di monitoraggio 2015 sono in linea con quelle misurate nelle precedenti indagini, con le quali non si rilevano differenze statisticamente significative mediante l'analisi di Friedman (Figura 28). I valori di concentrazione nei talli campionati nel 2012 erano invece significativamente minori rispetto all'indagine *ante operam* del 2008.

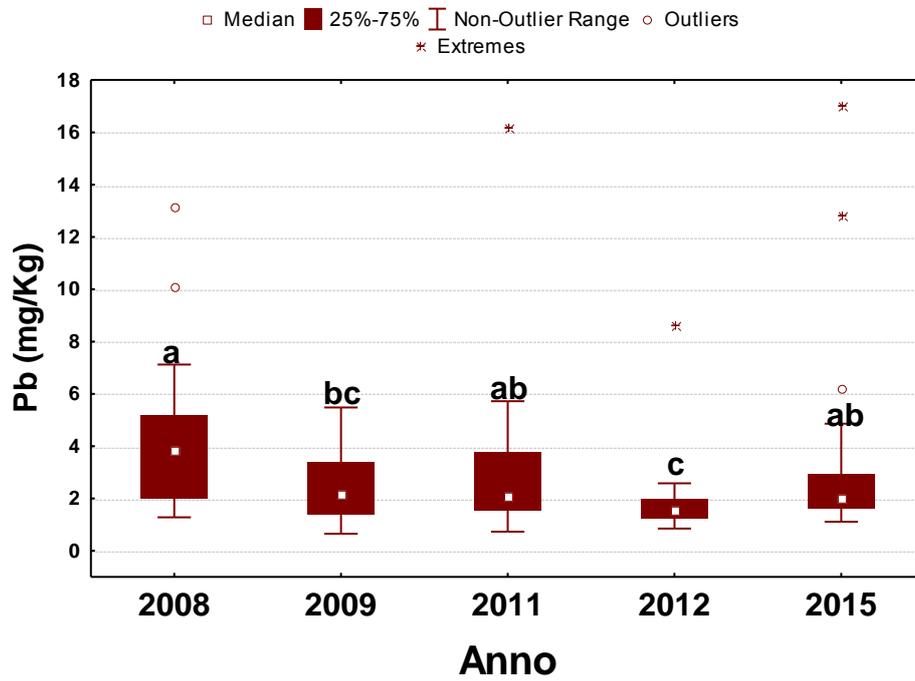


Figura 28. Distribuzione dei valori di concentrazione di piombo nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.8 Selenio

Sono state riscontrate condizioni omogenee di naturalità media per le concentrazioni di selenio in tutta l'area di indagine (Figura 29), con le sole eccezioni di alcuni siti in 4° classe percentuale (naturalità/alterazione media) e in 5° classe percentuale (alterazione media). Le concentrazioni maggiori sono state rilevate nella stazione 3868 a pochi chilometri dall'abitato di Allumiere.

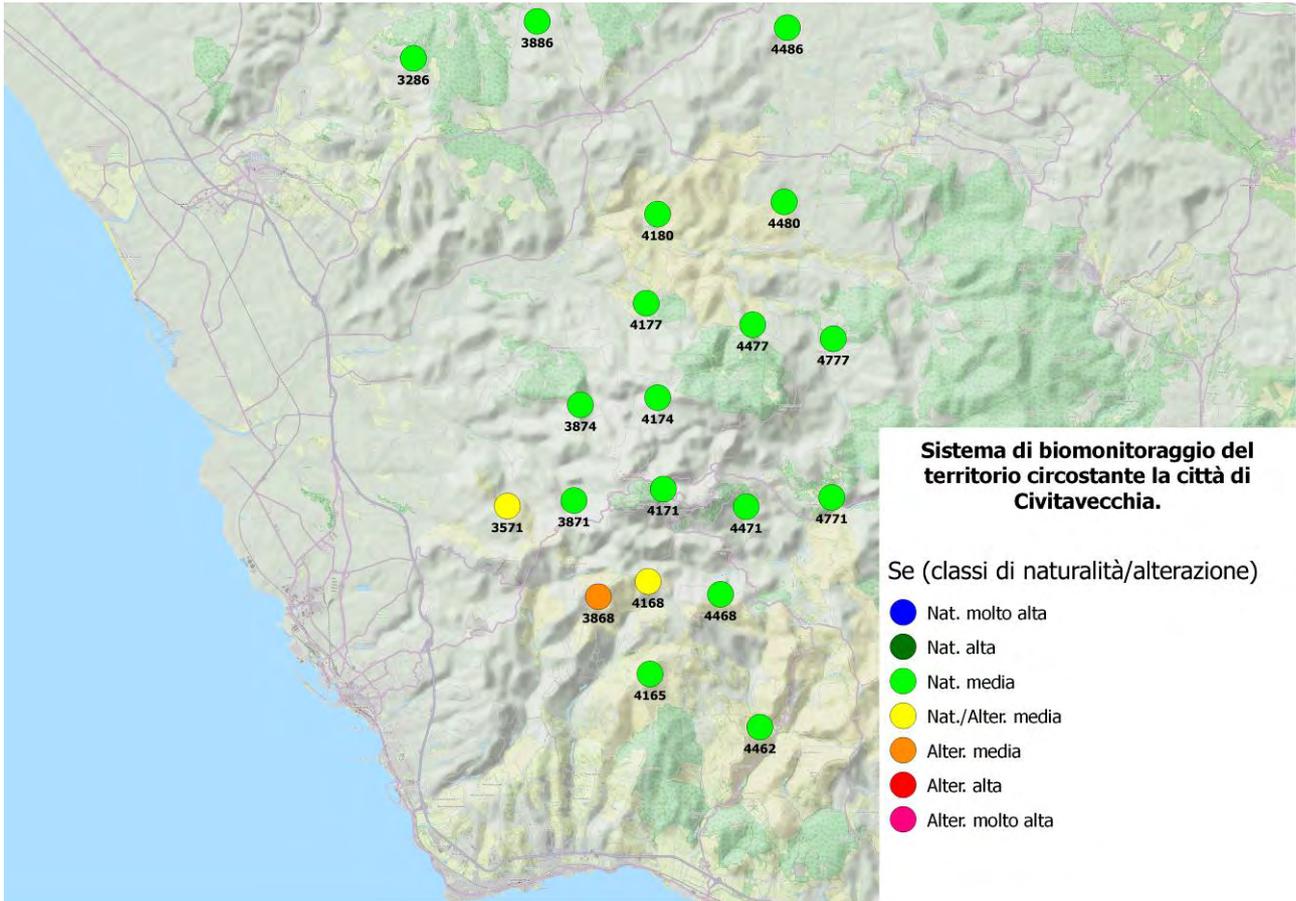


Figura 29. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il selenio.

Nonostante siano compresi entro l'intervallo non-outlier osservato nell'indagine *ante-operam*, i valori di concentrazione di selenio rilevati nel 2015 sono significativamente maggiori rispetto a quelli di tutte le precedenti campagne di rilevamento (Figura 30).

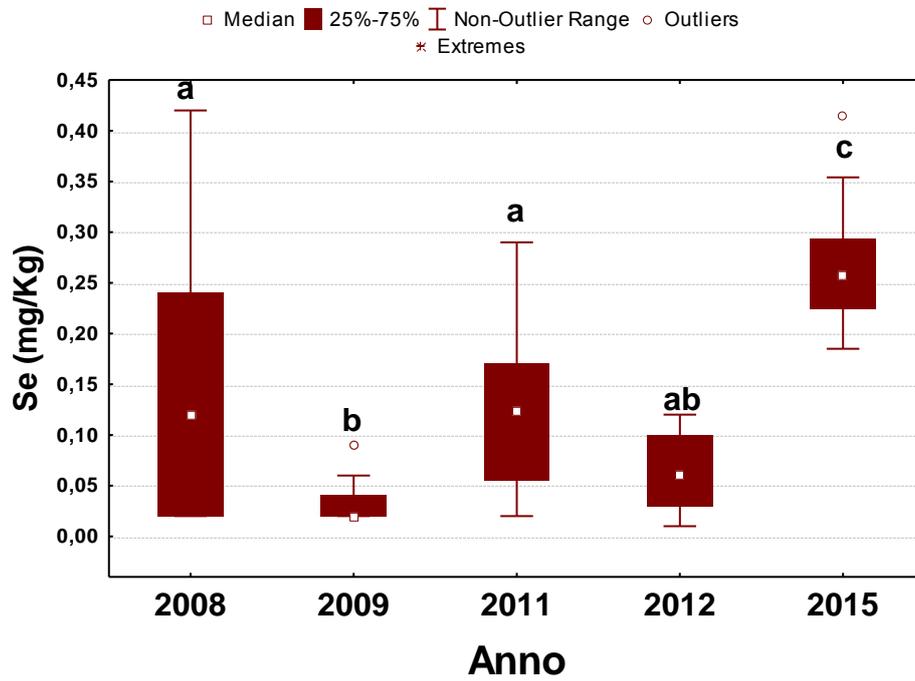


Figura 30. Distribuzione dei valori di concentrazione di selenio nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.9 Titanio

Le concentrazioni di questo elemento di natura terrigena nei siti campionati sono prevalentemente riconducibili a condizioni di naturalità media, e confermano quanto osservato nella precedente campagna 2012 (Figura 31). Sono stati tuttavia individuati valori maggiori, compresi nelle classi percentili 4°, 5° e 6°, associati a situazioni di alterazione media e alta. Per quanto non sia definibile un preciso pattern spaziale, le concentrazioni maggiori sono state rilevate in alcune stazioni della parte settentrionale dell'area di studio (4180 e 4486).

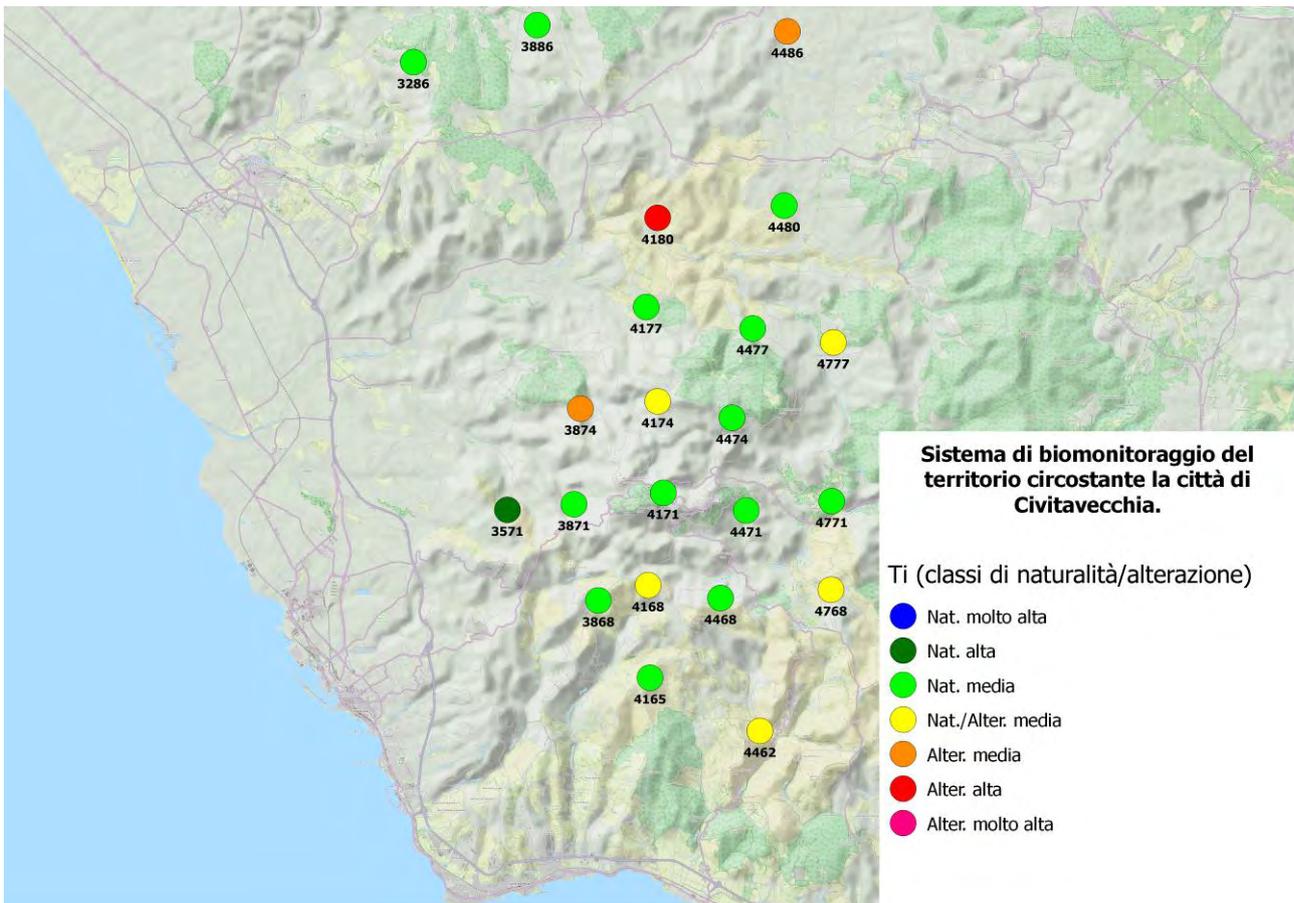


Figura 31. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il titanio.

Le concentrazioni di titanio nei talli lichenici hanno fatto registrare diverse fluttuazioni temporali, probabilmente associate con una naturale variabilità locale. I dati relativi alla campagna 2015 sono significativamente maggiori rispetto a quelli del 2008 e 2012, ma minori della precedente indagine 2011 (Figura 32).

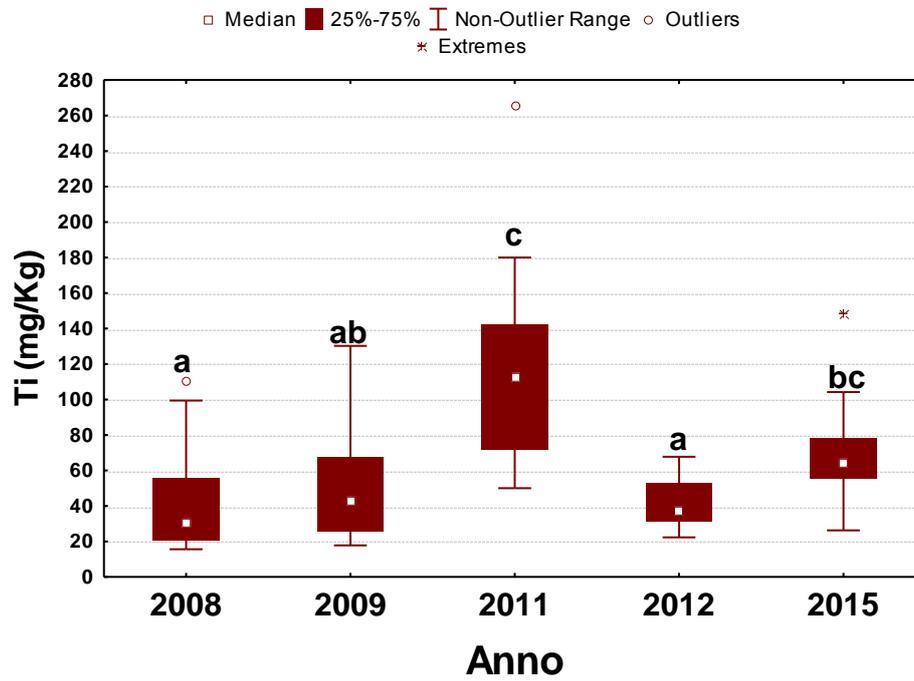


Figura 32. Distribuzione dei valori di concentrazione di titanio nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.10 Vanadio

Il bioaccumulo di vanadio nei talli lichenici dell'area di studio rimane su valori bassi, confermando il quadro generale delineato nelle precedenti indagini (Figura 33). Un'unica anomalia viene riportata per la stazione 4180, nei pressi dell'abitato di Monte Romano, dove sono stati misurati valori di $V = 4,51 \text{ mg/Kg}$ associati con condizioni di naturalità/alterazione media.

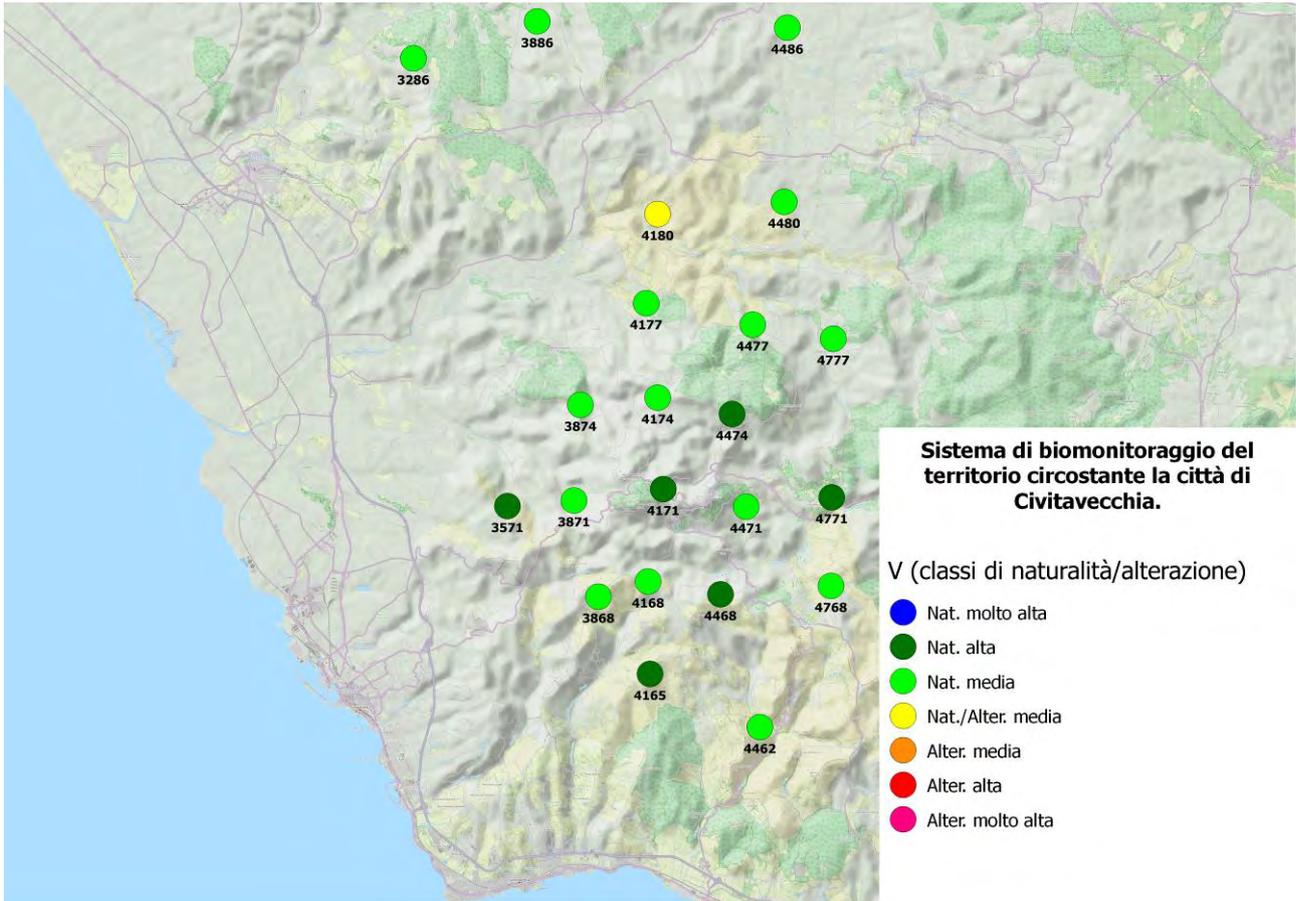


Figura 33. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per il vanadio.

I valori di concentrazione di vanadio nei siti rilevati nel 2015 sono significativamente maggiori rispetto a quelli misurati nel 2012, ma sono in linea con tutte le altre campagne di monitoraggio sia *ante-*, sia *post-operam*. Nel 2015 sono stati rilevati valori outlier e valori estremi rispetto alla distribuzione interquartile, ma questi sono comunque minori o molto simili a quelli verificati nelle altre indagini (Figura 34).

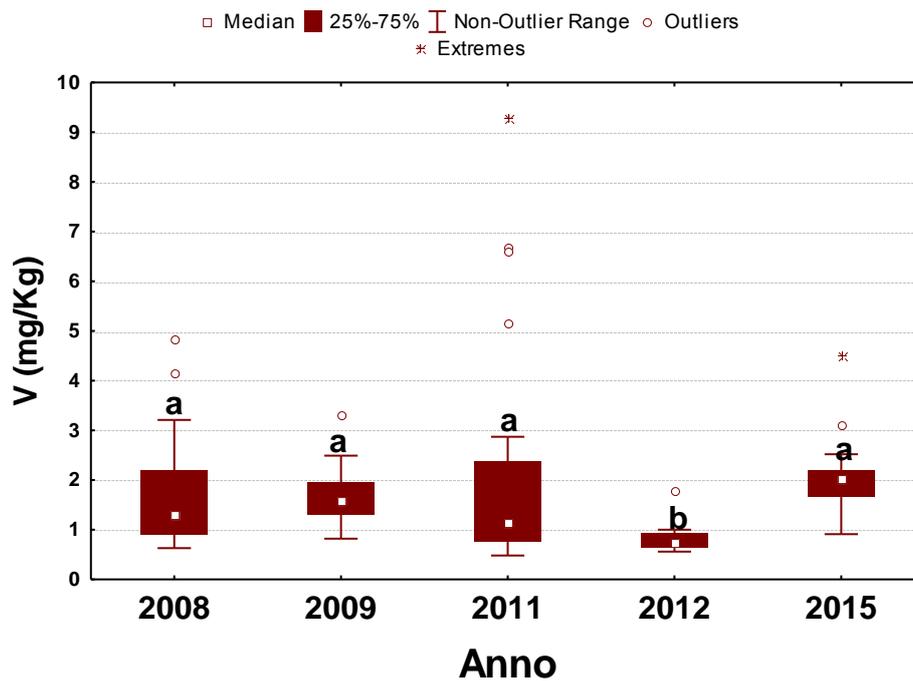


Figura 34. Distribuzione dei valori di concentrazione di vanadio nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

5.2.4.11 Zinco

Per quanto riguarda il bioaccumulo di zinco, l'area di studio è caratterizzata da generali condizioni di naturalità alta e molto alta, con valori leggermente più alti, corrispondenti ad una naturalità media, in 3 stazioni, due delle quali (4471 e 4768) già segnalate nella precedente campagna del 2012 come picchi di massimo relativo nel territorio di indagine (Figura 35).

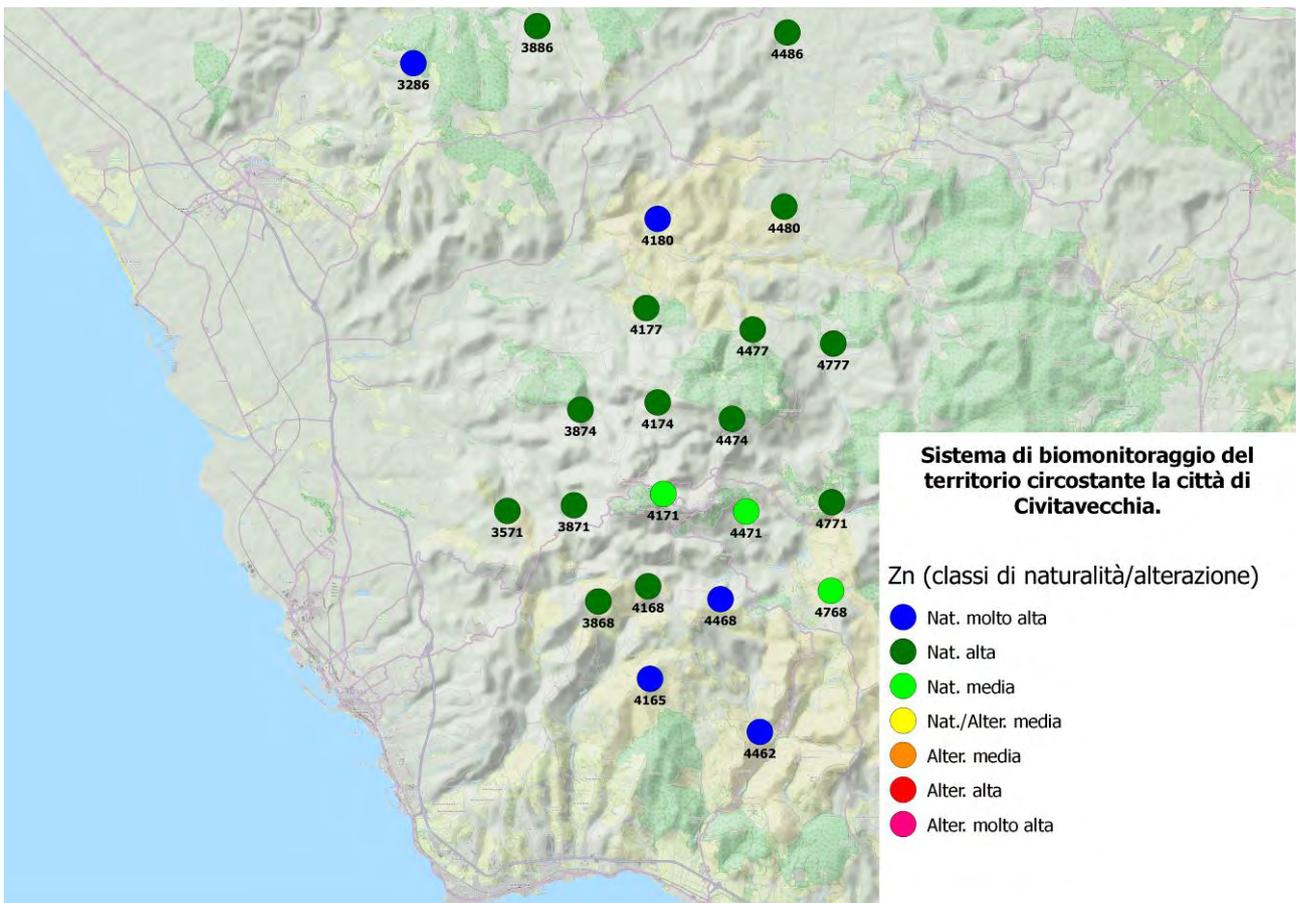


Figura 35. Categorizzazione delle stazioni di campionamento in classi di naturalità/alterazione per lo zinco.

Come per altri elementi, è da rilevare come i risultati ottenuti nelle indagini del 2011 e del 2012 fossero significativamente minori rispetto al primo monitoraggio del 2008. Per quanto riguarda la campagna del 2015, nonostante si sia osservato un contenuto aumento del valore mediano delle concentrazioni di zinco, le differenze con le precedenti campagne di rilevamento non sono statisticamente significative (Figura 36).

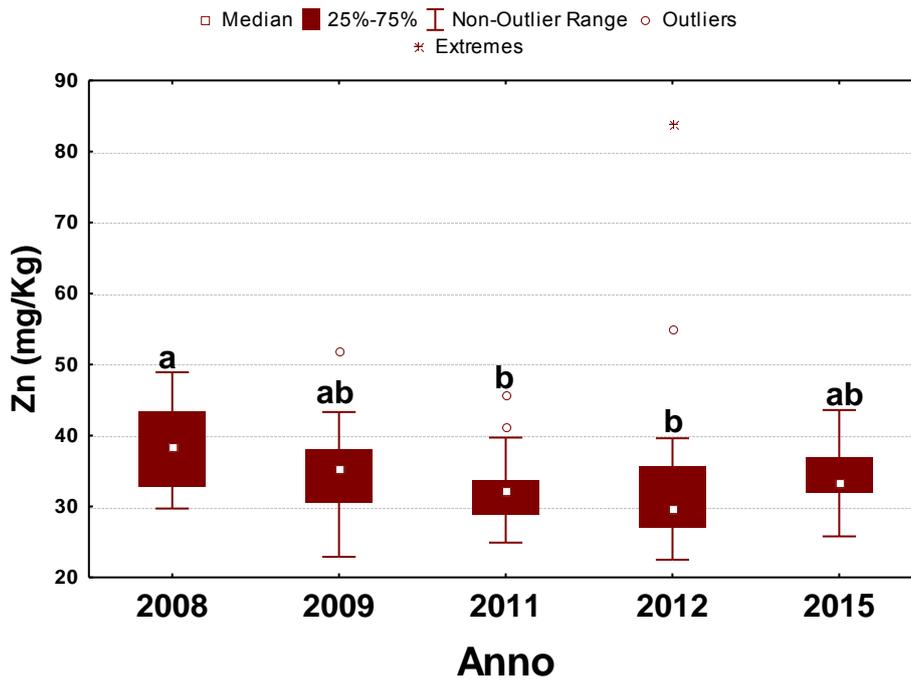


Figura 36. Distribuzione dei valori di concentrazione di zinco nelle 5 campagne di rilevamento. A lettera uguale, corrispondono differenze non significative secondo il test di Friedman.

6 Conclusioni

Vengono riportate le conclusioni sintetiche relative ai risultati dell'indagine. Per quanto riguarda l'indagine di bioindicazione, rispetto alle indagini precedenti sono emersi i seguenti aspetti:

- la lista floristica non ha subito variazioni rilevanti in specie;
- le comunità di licheni presenti sugli alberi della rete non hanno subito variazioni sostanziali nel periodo oggetto dell'indagine;
- le differenze nei valori di IBL delle cinque indagini sono molto contenute e non sono risultate significative.

Nello specifico, i rilievi di diversità lichenica hanno confermato la presenza di una flora lichenica relativamente ricca di specie (77 taxa), associabile ad una buona biodiversità complessiva dell'area di studio, già rilevata durante le indagini precedenti. Complessivamente, i valori dell'Indice di Biodiversità Lichenica rilevati nel 2015 non sono significativamente diversi né da quelli del 2008, né da quelli della campagna 2012. Si rilevano però alcune situazioni di dettaglio che dovrebbero essere considerati in eventuali monitoraggi futuri:

- Rispetto al 2008 nella zona centrale dell'area studio, 5 siti hanno avuto un incremento percentuale di IBL compreso tra il 10% e il 40% rispetto al 2008, mentre 3 dei 4 siti che hanno fatto registrare aumenti di IBL > 40% sono localizzati nell'area a SE di Tolfa. Tre siti localizzati tra la piana costiera e le prime propaggini dei Monti della Tolfa hanno invece subito una riduzione > 10% di IBL rispetto al 2008.
- Rispetto al 2012, alcuni siti di campionamento, principalmente localizzati nell'area a nord di Allumiere, hanno fatto registrare aumenti di IBL compresi tra il 10% e il 50%, mentre in 6 stazioni di campionamento a sud di Tolfa sono state rilevate diminuzioni di IBL > 10%.

Si individua un'ampia zona con valori IBL compresi nelle fasce di semi-naturalità ($80 < \text{IBL} < 95$ naturalità bassa; $95 < \text{IBL} < 115$ naturalità intermedia) e di naturalità ($\text{IBL} > 115$). Tale area si estende principalmente ai Monti della Tolfa, comprendendo stazioni di campionamento localizzate nei territori di Blera, Allumiere e Tolfa, ma anche il territorio circostante le città di Civitavecchia e Santa Marinella. Rispetto all'indagine del 2012 è tuttavia confermata la presenza di un'ampia porzione di territorio a NW dell'area di studio (nelle zone circostanti Tarquinia e immediatamente a ridosso di Monte Romano) in cui sono state osservati stadi di alterazione delle comunità licheniche. Si può ipotizzare per questi valori più bassi l'influenza dell'uso del suolo, che in questa porzione di territorio è prevalentemente agricolo.

L'analisi ecologica funzionale è in linea con i risultati sopra descritti: la ricchezza funzionale delle comunità licheniche del 2012 è del tutto sovrapponibile a quella delle comunità osservate nell'ultima campagna di rilevamento del 2015 e leggermente maggiore rispetto a quella rilevata nel 2008, a supporto del fatto che non sono state osservate modificazioni significative delle caratteristiche ecologiche delle comunità nel corso del periodo di indagine

Per quanto riguarda il bioaccumulo,

- per la maggior parte degli elementi considerati sono state rilevate concentrazioni che rientrano nelle prime tre classi di naturalità/alterazione, evidenziando quindi una generale situazione non alterata. Fanno eccezione alcuni elementi di natura terrigena (come ad esempio Al e Ti), per i quali sono stati osservati picchi locali spesso attribuibili alle peculiari caratteristiche geologiche dell'area.
- Solo alcuni elementi (As, Cu, Hg, Se e Zn) hanno fatto registrare valori di fattori di arricchimento compatibili con deposizioni atmosferiche da sorgenti antropiche. L'analisi spaziale dei valori medi del fattore di arricchimento evidenzia una buona situazione generale, tranne che per alcuni siti di campionamento localizzati nella parte centrale dell'area di studio, in corrispondenza delle prime propaggini dei monti della Tolfa e in alcune aree a nord di Tolfa e Allumiere.
- Rispetto all'indagine *ante-operam* del 2008 (Tabella 6), quasi tutti gli elementi non hanno fatto registrare differenze significative, tranne Al, As, Se, Ti (in leggero aumento) e Cu (per cui si è osservata una diminuzione). Contenuti, ma significativi aumenti, sono stati invece rilevati rispetto alla campagna di monitoraggio del 2012, anche se in molti casi sono riferiti ad elementi di natura terrigena.

Tabella 6. Riepilogo delle variazioni temporali delle concentrazioni elementari tra la campagna di monitoraggio del 2015 e le precedenti indagini del 2008 e del 2012.

	Rispetto al 2008	Rispetto al 2012
Al	↑	↑
As	↑	↑
Cr	→	↑
Cu	↓	→
Hg	→	↑
Mn	→	↑
Ni	→	→
Pb	→	↑
Se	↑	↑
Ti	↑	↑
V	→	↑
Zn	→	→

7 Bibliografia

- ANPA, 2001. I.B.L. Indice di biodiversità lichenica. ANPA Manuali e Linee guida 2/2001:185.
- Bettinelli M., Perotti M., Spezia S., Baffi C., Beone G.M., Alberici F., Bergonzi S., Bettinelli C., Cantarini P., Mascetti L., 2002. The role of analytical methods for the determination of trace elements in environmental biomonitors. *Microchemical Journal* 73: 131-152.
- Brummit B.K., Powell C.E. (Eds.), 1992. *Authors of plant Names*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Castello M., Skert N., 2005. Evaluation of lichen diversity as an indicator of environmental quality in the North Adriatic submediterranean region. *The Science of the Total Environment* 336: 201-214.
- CESI, 2006. Sistema di biomonitoraggio della qualità dell'aria del territorio circostante la centrale Enel di Torrevaldaliga Nord (Civitavecchia RM). Progetto definitivo. Documento A6024948.
- Clauzade G., Roux C., 1985. *Likenoj de Okcidenta Europo*. Illustrita determinlibro. Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest, NS. 7, 893 pp.
- Enel, 1999. Polo energetico di Civitavecchia. Decreto M.I.C.A. DEL 16/11/92. Rete di monitoraggio biologico terrestre. Indagine sul bioaccumulo di elementi in traccia nelle foglie e nei licheni. Relazione finale. Doc. n. 212TN00939.
- EPA 3052:1996. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices.
- Giordani P., 2004. Licheni epifiti come biomonitors dell'alterazione ambientale. Influenza delle variabili ecologiche sulla diversità lichenica. Università degli Studi di Trieste, Tesi di dottorato.
- Giordani P., 2006. Variables influencing the distribution of epiphytic lichens in heterogeneous areas: a case-study for Liguria (NW-Italy). *Journal of Vegetation Science* 17(2):195-207.
- Giordani P., 2007. Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy. *Environmental Pollution* 146(2): 317-323.
- Giordani P., Brunialti G., Alleleo D., 2002. Effects of atmospheric pollution on Lichen Biodiversity (LB) in a Mediterranean region (Liguria, NW Italy). *Environmental Pollution* 118: 53-64.
- Gower, J.C., 1966. Some Distance Properties of Latent Root and Vector Methods Used in Multivariate Analysis. *Biometrika* 53, 325.
- ISO 11885:2007. Water quality -- Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES).
- Kuneshka M., Michetti I., 1997. Tenori di Vanadio nei suoli dei Monti della Tolfa. ENEA RT/AMB/97/23.

- Laliberté, E., and Legendre, P., 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91, 299–305.
- Loppi S., Giordani P., Brunialti G., Isocrono D., Piervittori R., 2002a . A new scale for the interpretation of lichen biodiversity values in the Thyrrenian side of Italy. *Bibliotheca Lichenologica* 82: 235-243.
- Minganti V., Capelli R., Drava G., De Pellegrini R., Brunialti G., Giordani P., Modenesi P., 2003a . Bioaccumulation of V in the epiphytic lichen *Parmelia caperata* from Liguria (NW Italy). *Annali di Chimica* 91: 23-28.
- Nimis P.L., 1987. I macrolicheni d'Italia. Chiavi analitiche per la determinazione. *Gortania* 8: 101-220.
- Nimis, P.L. 1992. Lista rossa dei licheni d'Italia. In: Conti, F., Manzi, A., e Pedrotti, F. 1992. Libro rosso delle piante d'Italia. Ministero dell'Ambiente, WWF Italia, Società Botanica Italiana:503-555. Nimis, P.L. 2003. Checklist of the Lichens of Italy 3.0. Univ. Trieste, Dep. Biology, IN3.0/2 (<http://dbiodbs.univ.trieste.it/>).
- Nimis P.L., 1999. Linee guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti. In: Piccini C. & Salvati S. (eds.). Atti del Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale". Roma, 26 -27 novembre 1998. ANPA, Roma, serie Atti 2: 267-278.
- Nimis P.L., Bargagli R., 1999. Linee guida per l'utilizzo di licheni epifiti come bioaccumulatori di elementi in traccia. In: Piccini C. & Salvati S. (eds.). Atti del Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale". Roma, 26-27 novembre 1998. ANPA, Roma, serie Atti 2: 279-289.
- Nimis, P. L., Scheidegger, C. & Wolseley, P. A. 2002. *Monitoring with lichens – monitoring lichens*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 408 pp.
- 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/>).
- Provincia di Roma, 1980. Piano per un parco naturale nel territorio di Allumiere e Tolfa (Lazio). Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Pag. 48.
- Purvis O.W., Coppins B.J., Hawksworth D.L., James P.W., Moore D.M. (eds.), 1992. The Lichen Flora of Great Britain and Ireland. Nat. Hist. Mus. Publ. and the British Lichen Society, London. 710 pp.
- UNI EN ISO 17294-2:2005. Qualità dell'acqua - Applicazione della spettrometria di massa al plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS) - Parte 2: Determinazione di 62 elementi.
- Villéger, S., Mason, N.W.H., and Mouillot, D., 2008. New multidimensional functional diversity

indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* 89, 2290–2301.

Villéger, S., Novack-Gottshall, P.M., and Mouillot, D., 2011. The multidimensionality of the niche reveals functional diversity changes in benthic marine biotas across geological time: Long-term functional diversity changes. *Ecol. Lett.* 14, 561–568.

Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., and Garnier, E., 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116, 882–892.

APPENDICE A

RETE DI BIOINDICAZIONE

Schede di rilevamento IBL

Codice stazione	4165											
Codice Albero	001f1				001f2				001f3			
Specie arborea	<i>Quercus cerris</i>				<i>Quercus cerris</i>				<i>Quercus cerris</i>			
Circonferenza	210				149				180			
Esposizione	N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
<i>Bacidia rubella</i>										5		
<i>Bactrospora dryina</i>				1					2		5	4
<i>Diploicia canescens</i>	5			1								
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1		3	5		2		5	4		1	5
<i>Flavoparmelia soledians</i>	1		1	2							2	
<i>Graphis scripta</i>							1					
<i>Heterodermia obscurata</i>		1	1	1	3	4	5	5	3	5		
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>			2			3		3		3	5	
<i>Lecanora chlarotera</i>				3								
<i>Lecanora expallens</i>			2									
<i>Lecidella elaeochroma</i>			3									1
<i>Opegrapha varia</i>	5											
<i>Parmelina tiliacea</i>	1											
<i>Parmotrema perlatum</i>			1		2	2		3				
<i>Parmotrema reticulatum</i>					5	5	5	5	2			
<i>Pertusaria amara</i>				3			1	1				
<i>Pertusaria flavida</i>	5			5								5
<i>Pertusaria hymenea</i>										1		
<i>Pertusaria pertusa</i>						1						
<i>Pertusaria pustulata</i>	5	1		2	3			5	3	2		
<i>Physcia adscendens</i>	5	2										3
<i>Physcia aipolia</i>		1										
<i>Physcia clementei</i>		1	3			1	5				5	
<i>Physconia distorta</i>		3	2									
<i>Physconia grisea</i>		5							1	2	5	5
<i>Physconia servitii</i>												5
<i>Punctelia subrudecta</i>	2	5	5	2		2		5	5	5	5	5
<i>Rinodina sophodes</i>	3											1
<i>Schismatomma decolorans</i>	5		2	5			5	3	3	5		5
<i>Schismatomma pericleum</i>							2					
<i>Scoliciosporum umbrinum</i>	5						5	3				
<i>Xanthoria parietina</i>	5		1					1		1	5	
IBL RILIEVO	48	19	26	30	13	20	28	39	23	30	33	39
IBL ALBERO	123				100				125			
Data campionamento	27/10/2015											
Operatori	P. Giordani											

Codice stazione	4174												
Codice Albero	012f1				012f2				012f3				
Specie arborea	Quercus cerris				Quercus cerris				Quercus cerris				
Circonferenza	80				95				68				
Esposizione	N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W	
<i>Amandinea punctata</i>			4		3						1	2	
<i>Candelaria concolor</i>	5	5	5	2	2								
<i>Candelariella xanthostigma</i>	5			2	1							3	
<i>Evernia prunastri</i>			1								1	2	2
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1		3	2						4	5	5	1
<i>Flavoparmelia soredians</i>					5	5	5	5				3	5
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	5	5	5	2								5	
<i>Lecanora chlarotera</i>	4		5	1	2		2	2			2		2
<i>Lecanora intumescens</i>												1	2
<i>Lecidella elaeochroma</i>				3		3					1	5	3
<i>Lepraria sp.</i>				1	1								
<i>Melanelixia fuliginosa</i>					1					2			
<i>Melanelixia subaurifera</i>			5		5	2	5	4		5	3	5	2
<i>Normandina pulchella</i>	4												
<i>Parmelia sulcata</i>	2		2	1						5	4	5	5
<i>Parmelina tiliacea</i>	2	2	2										
<i>Parmotrema perlatum</i>				1	5	5	1	3		5	5	4	4
<i>Pertusaria amara</i>				1				1			3		
<i>Pertusaria pustulata</i>			1				1						
<i>Phlyctis argena</i>	1											1	
<i>Physcia adscendens</i>	5	5	5	5			5			5	5	5	5
<i>Physcia aipolia</i>											2	3	
<i>Physconia distorta</i>			3									4	
<i>Punctelia subrudecta</i>	5	2	5	2			1			1		3	2
<i>Ramalina fastigiata</i>	2											1	1
<i>Ramalina fraxinea</i>							1			2	3	4	2
<i>Rinodina sp.</i>											2		
<i>Scoliciosporum umbrinum</i>											2		
<i>Xanthoria parietina</i>	1	5	5	4							3	3	
IBL RILIEVO	42	24	51	27	25	15	21	15	29	42	64	36	
IBL ALBERO	144				76				171				
Data campionamento	28/10/2016												
Operatori	P. Giordani												
Note													

Codice stazione	4180											
Codice Albero	042f1				042f2				042f3b *			
Specie arborea	Quercus cerris				Quercus cerris				Quercus cerris			
Circonferenza	88				78				97			
Esposizione	N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
<i>Amandinea punctata</i>			3						5			
<i>Caloplaca ferruginea</i>									1			
<i>Candelaria concolor</i>	1										1	
<i>Candelariella xanthostigma</i>									1	3		1
<i>Diploicia canescens</i>	2	3	2	1		1	1				1	
<i>Flavoparmelia caperata</i>	5	3	5	5	3	2	5	4	1	2		
<i>Flavoparmelia soredians</i>	5	5	5	5	5	5	4	5	4	2	2	5
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	2		5								5	
<i>Lecanora chlarotera</i>				1					1			1
<i>Lecanora expallens</i>		1			5			1				2
<i>Lecidella elaeochroma</i>	1	5		5			2		3			2
<i>Parmelia sulcata</i>	5	2		2	4	5	5	5	1	1		
<i>Parmelina quercina</i>											2	
<i>Parmelina tiliacea</i>	5							1				
<i>Parmotrema perlatum</i>		1										
<i>Parmotrema reticulatum</i>									1			
<i>Phaeophyscia hirsuta</i>										5	3	
<i>Physcia adscendens</i>	1		5	5			1		5		5	5
<i>Physcia aipolia</i>									3	5	3	2
<i>Physcia leptalea</i>	3											
<i>Physcia tenella</i>	1											
<i>Physconia distorta</i>									5	5	5	5
<i>Physconia grisea</i>	3	1		3				2	1	2	3	
<i>Punctelia subrudecta</i>	1										1	
<i>Xanthoria parietina</i>									5	5	3	3
IBL RILIEVO	35	21	25	27	17	13	18	18	37	30	34	26
IBL ALBERO	108				66				127			
Data campionamento	26/10/2015											
Operatori	P. Giordani											
Note												

Codice stazione	4471											
Codice Albero	002f1				002f2				022f1			
Specie arborea	<i>Quercus pubescens</i>				<i>Quercus pubescens</i>				<i>Quercus pubescens</i>			
Circonferenza	60				86				76			
Esposizione	N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
<i>Amandinea punctata</i>	5		2						1	3	2	
<i>Candelariella reflexa</i>				1								
<i>Collema furfuraceum</i>	3				4	3	1	4				1
<i>Flavoparmelia caperata</i>					2	3		1	1	2		
<i>Flavoparmelia soledians</i>									1			
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	5	5	2	5	4	1	5	5	5	5	5	5
<i>Lecanora chlarotera</i>	5	2	2	1		2		1	1	2		
<i>Lecanora expallens</i>		1				2						
<i>Lecanora hagenii</i>									1			
<i>Lecidella elaeochroma</i>				1		2			4	2		
<i>Melanelixia fuliginosa</i>	2											
<i>Parmelia sulcata</i>					2			1		2		
<i>Parmelina tiliacea</i>		1		1	5	5	2	5	2	2		2
<i>Parmotrema perlatum</i>												1
<i>Pertusaria amara</i>				2	5	4		4	1	3		
<i>Pertusaria pustulata</i>	2	3	1			2						
<i>Phaeophyscia hirsuta</i>							1		3			
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>												1
<i>Physcia adscendens</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<i>Physcia aipolia</i>					1				2	2	3	4
<i>Physcia biziana var. biziana</i>			2	2								
<i>Physconia distorta</i>			2	1	1	3	3		5	4	2	5
<i>Physconia grisea</i>					1				3	3	3	4
<i>Physconia servitii</i>							1	5				
<i>Punctelia subrudecta</i>			1	1	3		2	5	4	5	2	3
<i>Schismatomma decolorans</i>						1						
<i>Xanthoria parietina</i>	2		3	2					2	2	2	4
IBL RILIEVO	29	17	20	22	33	33	20	36	41	42	22	35
IBL ALBERO	88				122				140			
Data campionamento	30/10/2015											
Operatori	P. Giordani											
Note												

Codice stazione	4768											
Codice Albero	001f1b				001f2				012f1			
Specie arborea	<i>Quercus pubescens</i>				<i>Quercus pubescens</i>				<i>Quercus pubescens</i>			
Circonferenza	181				180				140			
Esposizione	N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
<i>Candelaria concolor</i>										5	5	
<i>Candelariella xanthostigma</i>											1	
<i>Flavoparmelia caperata</i>		2		1				3	3	5	5	5
<i>Flavoparmelia soledians</i>		1	4	1		5	3	2	4	3	2	5
<i>Heterodermia obscurata</i>			1	4								
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>			5	2	5							
<i>Lecanora chlarotera</i>	2			1								
<i>Lecanora expallens</i>	5				5				1			
<i>Lecidella elaeochroma</i>	2		3	3	1							
<i>Lepraria sp.</i>									5			
<i>Melanelixia fuliginosa</i>	5											
<i>Melanelixia subaurifera</i>										1		
<i>Opegrapha varia</i>	5											
<i>Parmelia sulcata</i>	3			1	2				3			2
<i>Parmelina tiliacea</i>	5	5	4	1				2				
<i>Parmotrema perlatum</i>		1	2	2	2				4			5
<i>Parmotrema reticulatum</i>		2								1		
<i>Pertusaria amara</i>					3			1				
<i>Physcia adscendens</i>	2		5	5	3		5			3	4	
<i>Physcia aipolia</i>		1	2							3		3
<i>Physconia distorta</i>			3	2		5			5		3	
<i>Physconia grisea</i>	5	5		5	5	5	5	5	5	3	3	5
<i>Pleurosticta acetabulum</i>						1				2		
<i>Punctelia subrudecta</i>		2	3		5	5	5	5	4	1	5	5
<i>Ramalina fastigiata</i>									1			
<i>Ramalina fraxinea</i>	1		1									2
<i>Schismatomma decolorans</i>	5				4							2
<i>Xanthoria parietina</i>	1		5	2			2			2	3	
IBL RILIEVO	43	19	38	29	33	21	20	18	34	29	31	32
IBL ALBERO	129				92				126			
Data campionamento	27/10/2015											
Operatori	P. Giordani											
Note												

APPENDICE B

RETE DI BIOACCUMULO:

Foglio di Raccolta Dati per il campionamento di lichene *Flavoparmelia caperata*

La presente Appendice riporta le schede relative alle 22 stazioni di raccolta di *Flavoparmelia caperata* nell'ambito della campagna 2015. In particolare, il campionamento di lichene ha comportato la compilazione di un Foglio di Raccolta Dati contenente le informazioni di seguito indicate:

- Data e stazione di prelievo.
- Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione.
- Specie arboree degli alberi su cui è stato effettuato il campionamento.
- Numero degli alberi interessati dal campionamento.
- Posizione di riferimento generale per l'insieme degli alberi di prelievo (UTM ED50).
- Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli.
- Esposizione prevalente dei talli campionati.
- Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati.
- Grado di danneggiamento complessivo dei talli.
- Distanza massima tra gli alberi.



Stazione di prelievo: 3286	
UCP di prelievo: 4	
UCS di prelievo: 41	
Data: 29/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 4 41 f2	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 6	
Distanza massima tra i alberi: 30 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 732619	Coord N: 4685358
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: NE	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 60 – 98 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: piuttosto danneggiati (talli scoloriti)	

Stazione di prelievo: 3571



UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 21	
Data: 1/12/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 21 f2, 0 21 f1b	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 6	
Distanza massima tra i alberi: 20 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 736244	Coord N: 4670521
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: N - NE	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 70 – 110 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	
Note:	



Stazione di prelievo: 3868	
UCP di prelievo: 3	
UCS di prelievo: 21	
Data: 28/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 3 21 f1, 3 21 f2, 3 21, f3	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 30 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 739370	Coord N: 4667596
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,8 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 80 – 117 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 3871	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 23	
Data: 1/12/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Q. pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione):	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 5	
Distanza massima tra i alberi: 25 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 738451	Coord N: 4670784
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 80 – 118 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	



Stazione di prelievo: 3874	
UCP di prelievo: 3	
UCS di prelievo: 33	
Data: 28/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 3 33 f2	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 50 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 738557	Coord N: 4673983
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2,5 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: S – SW	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 60 – 152 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 3886	
UCP di prelievo: 8	
UCS di prelievo: 31	
Data: 29/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione: Dalla stazione di bioindicazione (3886) proseguire sulla sterrata. Al primo bivio svoltare a sinistra e proseguire fino al cartello dell'azienda agraria di Monte Romano. Seguire il sentiero sulla sinistra che costeggia lo steccato fino a superare il torrentello. Svoltare a destra, superare un cancello in legno e un pascolo. I alberi sono sul margine del boschetto pascolato.	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione):	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 10 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 736690	Coord N: 4686732
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,8 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: N	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 62 – 90	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: buono stato	



Stazione di prelievo: 4165	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 01	
Data: 27/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 01 f1, 0 01 f2, 0 01 f3	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 4	
Distanza massima tra i alberi: 25 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 741179	Coord N: 4665072
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 - 2,50 cm	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 80 – 210 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4168	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 01	
Data: 28/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 01 f1, 0 01 f2, 0 01 f3	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 10 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 741008	Coord N: 4668160
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 77 – 118 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: buono stato, talli molto sviluppati.	

Stazione di prelievo: 4171	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 11	
Data: 28/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione: Provenendo da Allumiere superare il campo sportivo comunale e proseguire lungo la strada per c.a 200 m. Gli alberi si trovano sulla sinistra della strada in corrispondenza di un viottolo a c.a 20 m dall'asfalto.	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Castanea sativa</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione):	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 4	
Distanza massima tra i alberi: 20 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 741409	Coord N: 4671263
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2,5 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: S – SE	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 87 – 177 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4174	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 12	
Data: 28/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i> , <i>Q. pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 12 f2, 0 12 f3	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 27 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 741118	Coord N: 4674313
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2,5 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: SE	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 60 – 95 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4177	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 41	
Data: 28/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione: Dalla stazione 4477 procedere per c.a 5 km fino ad un bivio sulla sinistra (strada sterrata in discesa). Superato un torrente proseguire per c.a 200 m (c.a 500 m complessivi dalla strada). I alberi si trovano sopra strada (sinistra) in un rettilineo.	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione):	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 43 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 740627	Coord N: 4677451
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: NE, W	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 62 – 100 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	
Note: poco materiale. Il bosco si sta chiudendo e riduce la possibilità di sviluppo dei talli di <i>F. caperata</i> .	

Stazione di prelievo: 4180	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 42	
Data: 26/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 42 f1, 0 42 f2, 0 42 f3	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 69 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 740906	Coord N: 4680440
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 78 – 106	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4462	
UCP di prelievo: 2	
UCS di prelievo: 42	
Data: 27/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 2 42 f1, 2 42 f2, 2 42 f3	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 53 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 744897	Coord N: 4663418
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 94 – 120 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4468	
UCP di prelievo: 7	
UCS di prelievo: 23	
Data: 27/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 7 23 f1b, 7 23 f2b, 7 23 f3b	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 61 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 743433	Coord N: 4667814
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 75 - 93 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4471	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 02	
Data: 30/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 02 f1, 0 02 f2	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 11 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 744186	Coord N: 4670771
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2,50 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: S	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 60 – 86 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: leggermente danneggiati	



Stazione di prelievo: 4474	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 32	
Data: 1/12/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 32 f1, 0 32 f2, 0 32 f3	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 4	
Distanza massima tra i alberi: 33 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 743609	Coord N: 4673850
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 121 – 130 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4477	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 02 – 23	
Data: 27/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 23 f1, 0 02 f2	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 2	
Distanza massima tra i alberi: 191 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 744191	Coord N: 4676858
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 3,5 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: W – SW	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 169 – 198 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	
Note:	



Stazione di prelievo: 4480	
UCP di prelievo: 2	
UCS di prelievo: 02	
Data: 26/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 2 02 f1	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 40 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 745095	Coord N: 4680993
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: E	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 76 – 122 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4486	
UCP di prelievo: 2	
UCS di prelievo: 02	
Data: 29/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus pubescens</i> , <i>Q. cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 2 02 f1, 2 02 f2	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 67 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 744996	Coord N: 4686805
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2,5 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: E, SE	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 115 – 150 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	
Note: materiale scarso.	

Stazione di prelievo: 4768	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 01 – 12	
Data: 27/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i> , <i>Q. pubescens</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 01 f1b, 0 01 f2, 0 12 f1	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 86 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 747100	Coord N: 4668222
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: NW	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 106 – 181 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	



Stazione di prelievo: 4771	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 01 – 04	
Data: 28/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 01 f1, 0 01 f2, 0 04 f1	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi:	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 747021	Coord N: 4671182
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 0,80 – 2 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: nessuna	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 210 – 325 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: non danneggiati	

Stazione di prelievo: 4777	
UCP di prelievo: 0	
UCS di prelievo: 32	
Data: 29/10/2015	
Operatori: P. Giordani	
Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione:	
Specie degli alberi interessati dal campionamento: <i>Quercus cerris</i>	
ID degli alberi (se coincidenti a quelli di bioindicazione): 0 32 f1, 0 32 f2, 0 32 f3	
Numero degli alberi interessati dal campionamento: 3	
Distanza massima tra i alberi: 24 m	
Posizione di riferimento per l'insieme degli alberi di prelievo:	
Coord E: 746888	Coord N: 4676482
Altezza dal suolo minima e massima di raccolta dei talli: 1 – 2,30 m	
Esposizione prevalente dei talli campionati: NE	
Circonferenza minima e massima dell'insieme degli alberi campionati: 107 – 132 cm	
Grado di danneggiamento complessivo dei talli: poco danneggiati	
Note: materiale scarso.	