DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI ED AMBIENTALI

IL RUOLO DELLA VEGETAZIONE ERBACEA ECOTONALE NELLA DINAMICA VEGETAZIONALE PROGRESSIVA DEGLI ECOSISTEMI PRATIVI: IL CASO DI *PTERIDIUM AQUILINUM*

The role of ecotonal herbaceous vegetation in the progressive vegetation dynamics of grassland ecosystems: the case of *Pteridium aquilinum*

TIPO TESI: Compilativa

Studente:
Giovanni Sciriscioli

Relatore:
PROF.SSA MARINA ALLEGREZZA

Correlatore:
DOTT. TESEI GIULIO

ANNO ACCADEMICO 2025/2026

SOMMARIO

INTRODUZIONE 3

CAPITOLO 1 TASSONOMIA E BIOLOGIA DI: "*PTERIDIUM AQUILINUM*" 6

1.1 Tassonomia 6

1.2. Morfologia dell'apparato vegetativo 7

1.3. Forma biologica 9

1.4. Riproduzione 9

1.5. Distribuzione ed ecologia 10

CAPITOLO 2 *PTERIDIUM AQUILINUM NELLA DINAMICA VEGETAZIONALE E IMPATTI SULLA BIODIVERSITÀ DELLE PRATERIE SECONDARIE* 13

2.1. La fitosociologia, le comunità ecotonali e la dinamica vegetazionale 13

2.2 Effetti sulla biodiversità delle praterie secondarie e sugli animali 15

CAPITOLO 3 *TECNICHE PER IL CONTROLLO DI PTERIDIUM AQUILINUM IN EUROPA E IN ITALIA* 20

3.1 Premessa 20

3.2 Meta-analysis e sperimentazioni nel lungo periodo in Gran Bretagna 20

3.2.1 La meta-analysis di Stewart et al. (2008) 20

3.2.2 La sperimentazione a lungo termine di Akpinar et al (2023) 22

3.3 Le sperimentazioni in Italia 24

3.3.1 Tecniche agronomiche e meccaniche per il contenimento di *Pteridium aquilinum* in aree protette 24

3.4 Confronto tra i principali trattamenti, efficacia e criticità: una sintesi 30

3.5 Strategie di ripristino ecosistemico a livello globale 30

3.5.1 Recupero post-incendio di un'area della Foresta Atlantica invasa da *Pteridium aquilinum* 30

CONCLUSIONI 33

BIBLIOGRAFIA 35

SITOGRAFIA 37

INTRODUZIONE

Negli ultimi cinquant'anni in Italia sono scomparsi 2,4 milioni di ettari di prati e pascoli, una superficie grande quanto la Lombardia, con effetti dirompenti sull'assetto idrogeologico dei territori, sulle attività di allevamento e sulla biodiversità (Coldiretti 2026).

Secondo un'analisi Coldiretti su dati Istat, nel 1970 la superficie agricola a prati e pascoli permanenti ammontava a 5,5 milioni di ettari. Dopo cinquant'anni ne restano circa 3,1 milioni. Le zone maggiormente soggette all'abbandono sono le aree marginali, ossia territori esclusi dai principali poli di sviluppo economico e sociale, spesso ubicate in aree montane (altezza sul livello del mare compresa tra i 900m e i 1850m circa), rurali o interne.

Secondo un'indagine certificata "PECF Italia", il territorio Italiano dispone oggi di oltre 11 milioni di ettari di boschi e foreste, una superficie che negli ultimi anni è cresciuta in modo costante fino a rappresentare circa il 37% del territorio nazionale.

L'espansione forestale è stata così rilevante da portare le foreste a superare, dal 2020, la stessa Superficie Agricola Utilizzata (SAU), un evento che non si verificava dal Medioevo. Negli anni Cinquanta la situazione era opposta: i terreni agricoli occupavano oltre 18 milioni di ettari, mentre i boschi si fermavano a poco più di 5 milioni di ettari. La crescita delle foreste non è il risultato di grandi programmi di rimboschimento, ma soprattutto dell'abbandono di terreni agricoli marginali, pascoli montani e coltivazioni tradizionali non più economicamente sostenibili. In molte aree dell'Appennino e delle Alpi il bosco ha progressivamente riconquistato spazi un tempo destinati alle attività agricole e zootecniche (Agri News Italia 2026).

Il progressivo abbandono delle pratiche colturali tradizionali (come pascolo e sfalcio dei prati) nelle aree marginali porta pertanto al fenomeno di avanzamento del bosco. Questo processo rappresenta un pericolo per la biodiversità e gli ambienti aperti scompaiono. La diversità di specie vegetali, dovuta alla eterogeneità ambientale, favorisce la presenza di insetti, soprattutto impollinatori (Vannucchi et al., 2022). La diversità di specie vegetali, la quantità di semi, insetti e micro-mammiferi influenza a cascata anche la presenza di uccelli legati agli ambienti aperti (Scotton et al., 2012).

Oltre alla diminuzione di biodiversità queste aree sono soggette a fenomeni di rischio idrogeologico. È proprio l'aspetto di permanenza del prato che consente all'acqua di scorrere più lentamente, limitando così i fenomeni erosivi, che nelle aree di pendenza e/o di montagna possono essere molto pericolosi poiché lo spessore del suolo è molto ridotto (Scotton et al., 2012).

Fra gli altri rischi aumenta anche quello di incendi, infatti il prato che precedentemente veniva sfalciato ed utilizzato dal bestiame si arricchisce di arbusti e rovi, la vegetazione morta si accumula trasformando questi spazi in grandi aree facilmente incendiabili. Perdono dunque la loro funzione di barriere naturali (fasce tagliafuoco).

La gestione dei prati è, comunque, la condizione principale da cui dipendono le varie funzioni descritte fino ad ora. Nello specifico, la concimazione e la frequenza dei tagli. La prima diventa problematica quando distribuita in quantità eccessive, le quali possono portare all'inquinamento delle falde, soprattutto a causa dell'azoto che è l'elemento più lisciviabile. L'eccessivo input di elementi nutritivi porta anche a una semplificazione della composizione floristica della prateria, cioè a un'omogeneizzazione della vegetazione, con perdita della diversità che aveva acquistato nel tempo grazie alla combinazione di gestione e condizioni stazionali diversificate (Scotton et al., 2012).

Una sbagliata gestione può comunque causare una diminuzione generale della qualità del prato-pascolo ed una perdita di specie tipiche.

Il passaggio tra un ecosistema e l'altro, come tra il bosco e la prateria, non è netto bensì è presente uno spazio ecotonale di spessore variabile con delle condizioni ambientali intermedie tra i 2 ecosistemi. Questo spazio è occupato da una vegetazione autonoma che non fa parte di nessuno dei due ecosistemi in quanto si instaura in condizioni intermedie di luce, T°C ed umidità. Più specificamente a partire dal bosco nella fascia di transizione si rinvengono due comunità a stretto contatto tra loro: il mantello di vegetazione, costituito da arbusti e piccoli alberi, e l'orlo di vegetazione costituito invece da specie erbacee perenni che sono le prime a colonizzare la prateria abbandonata o sottoutilizzata.

L'avanzamento delle specie di orlo e in particolare di quelle più eliofile sulle praterie abbandonate o sottoutilizzate costituisce infatti il primo stadio della dinamica naturale progressiva fino al raggiungimento della testa di serie, ossia dello stadio più maturo e stabile che un ecosistema vegetale può raggiungere in un'area con condizioni omogenee. Per l'appennino centrale al di sotto dei 1900m di quota lo stadio più maturo della successione naturale progressiva è rappresentato dal bosco.

Nella dinamica di vegetazione progressiva (o successione ecologica) l'orlo prepara il terreno all'avanzamento del bosco, favorendo l'insediamento successivo di arbusti eliofili provenienti dal mantello di vegetazione e determinando nel contempo la perdita di habitat di prateria.
In appennino tra le specie erbacee di orlo eliofilo particolarmente attive nella colonizzazione delle praterie abbandonate risulta *Pteridium aquilinum* che grazie alla sua grande capacità vegetativa si diffonde rapidamente costituendo dense popolazioni difficili da contenere e rappresentando di conseguenza una delle principali minacce per la conservazione della biodiversità delle praterie degli habitat prativi stessi.
Lo scopo della presente tesi è quello di approfondire, attraverso la raccolta di dati di letteratura, la conoscenza delle caratteristiche biologiche e ecologiche di questa specie utile come base nel definire un programma di gestione volto al contenimento di *Pteridium aquilinum* nelle praterie dell'Appennino centrale.

Capitolo 1
TASSONOMIA E BIOLOGIA DI: "*PTERIDIUM AQUILINUM*"

1.1 Tassonomia

Pteridium aquilinum (L.) Kuhn (Figura 1-1) è una pianta vascolare della classe delle *Polypodiopsida*, nota comunemente come "Felce aquilina" o "Felce comune".



***Figura 1-1**: Pteridium aquilinum (L.) Kuhn subsp. aquilinum*

Il nome del genere deriva dal greco “pteris”, che significa felce; altre fonti indicano la derivazione dal greco “pteros” = “ala”, probabilmente per l’aspetto delle foglie. L’epiteto specifico, dal latino, sembra legato alla forma del rizoma, che sezionato ricorda un profilo d’aquila.
(https://www.actaplantarum.org/flora/flora_info.php?id=12168&nnn=Pteridium%20aquilinum%20aquilinum)
La tassonomia di *Pteridium aquilinum* a livello globale risulta tuttora ancora molto complessa. Secondo le più recenti classificazioni tassonomiche (Peregrym et al. 2024) vengono riconosciute:

- 9 subspecie a livello globale;
- 2 subspecie per l’Europa: la subsp. *pinetorum* (prevalente nei boschi di conifere del nord ed est Europa) e la subsp. *aquilinum* (spazi aperti e boschi di latifoglie) la più diffusa nel resto d’Europa;
- 1 subspecie subsp. *aquilinum* unica subspecie per l’Italia (https://dryades.units.it/floritaly/index.php?procedure=taxon_page&tipo=all&id=68).

Per quanto concerne la classificazione tassonomica di *Pteridium aquilinum* subsp. *aquilinum* questa risulta così inquadrata:

- Dominio: *Eukaryota*
- Regno: *Plantae*
- Sottoregno: *Tracheophyta*
- Divisione: *Polypodiophyta*
- Classe: *Polypodiopsida*
- Sottoclasse: *Polypodiidae*
- Ordine: *Polypodiales*
- Famiglia: *Dennstaedtiaceae*
- Genere: *Pteridium*
- Specie: *Pteridium aquilinum*
- Subspecie: *aquilinum*

1.2. Morfologia dell’apparato vegetativo

Pianta perenne, alta 30-200 cm, con rizoma lungamente strisciante, esternamente nero, bianco all'interno.

La foglia (fronda) lungamente picciolata è 2-3pennatosetta divisa in tre elementi portanti: numerose pinne a contorno triangolare, più o meno villosi di sotto, con rachide verde-giallo o bruno-rossiccio fibroso, resistente, ramificato e angoloso; elementi di secondo ordine (pinnule) subdivisi in segmenti a margine generalmente intero, talora lobato o ulteriormente diviso (in tal caso, foglie 4pennatosette); segmenti ultimi (lobi) oblunghi, a triangolo stretto e ottuso, coriacei e resistenti (https://www.actaplantarum.org/forum/viewtopic.php?f=95&t=8253).

Nei primi stadi di sviluppo la fronda prima di aprirsi si presenta arrotolata e chiusa a spirale all'apice (Fig. 1-2) assumendo l'aspetto di un bastone pastorale che ne giustifica il termine di "Pastorale".



***Figura 1-2**: Primi stadi di sviluppo delle fronde*

I rizomi sono i principali organi di immagazzinamento dei carboidrati (amido) e secondariamente di acqua. Possono avere un diametro superiore a 2,5 cm e svilupparsi anche

per diversi metri. Da essi si snoda l'apparato radicale. Le radici sono nere, sottili e fragili e possono approfondirsi nel suolo per più di 50 cm (https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html).

1.3. Forma biologica

In base al sistema Raunkier, secondo il quale le specie vengono raggruppate in relazione alla posizione della gemma sulla pianta e alla modalità con cui questa protegge la gemma per superare la stagione avversa (freddo invernale o aridità estiva), *Pteridium aquilinum* è una pianta erbacea perenne, in grado di superare la stagione avversa grazie al rizoma (fusto sotterraneo). Quest'ultimo contiene le gemme e ogni anno emette nuove foglie. Tali caratteristiche inquadrano, secondo il sistema Raunkier, *Pteridium aquilinum* nelle Geofite (G).

1.4. Riproduzione

Essendo una pteridofita, la felce aquilina non differenzia fiori e semi. Si riproduce per via sessuale, attraverso spore e, soprattutto, per via vegetativa, attraverso i rizomi. Le spore, piccole e brune, sono prodotte da agosto a settembre entro sori lineari disposti in maniera continua al margine della pagina inferiore delle foglie fertili (Fig. 1-3). In natura la riproduzione tramite esse sembra essere un fenomeno non molto frequente. Soprattutto alle nostre latitudini, le spore non sono facilmente osservabili sulle piante.



***Figura 1-3**: I sori nella pagina inferiore*

L’aggressività dei rizomi conferisce invece alla specie una straordinaria capacità di propagazione per via agamica. I cloni rizomatosi possono essere vecchi di secoli e alcuni possono raggiungere il millennio. Possiedono un numero elevato di gemme dormienti, per cui, quando disturbati o spezzati, germogliano in ogni frammento, originando piante morfologicamente giovani (https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html).



***Figura 1-4**: Sviluppo delle foglie dalle gemme disposte sul rizoma*

1.5. Distribuzione ed ecologia

Pteridium aquilinum è specie ad areale cosmopolita, diffusa in tutte le regioni temperate e subtropicali, sia nell’emisfero settentrionale sia in quello meridionale ad eccezione dell’Antartide (Marrs and Watt, 2026). Probabilmente rappresenta la felce più diffusa a livello globale.

In Italia è presente in tutte le regioni (Fig. 1-5) da 0 a 2100 m s.l.m. di altitudine su suoli da acidi a subacidi a matrice silicea (https://www.actaplantarum.org).



***Figura 1-5**: Distribuzione della felce aquilina in Italia*

Gli Habitat preferenziali sono margini e radure forestali, pascoli e prati sottoutilizzati o abbandonati (Fig. 1-6). Favorita anche dal passaggio del fuoco, grazie alle sue caratteristiche morfologiche, *Pteridium aquilinum* è particolarmente resistente agli incendi e da essi ne può trarre vantaggio.

In caso di incendio la pianta (decisamente pirofila) si avvantaggia rispetto ad altre in forza della resistenza dei suoi organi vegetativi (https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html).

Possiede infatti un rizoma sotterraneo molto sviluppato (con grande capacità di riproduzione vegetativa) che può sopravvivere al passaggio del fuoco. Quest'ultimo riduce temporaneamente la competizione da parte di alberi e arbusti, riducendo l'ombreggiamento e creando uno spazio aperto. Inoltre la cenere di legna arricchisce il terreno fornendo importanti sali minerali come Potassio, Calcio, Fosforo e Magnesio.

Così, mentre i competitori sono annientati, la felce può germogliare dai rizomi sopravvissuti. I nuovi germogli sono molto vigorosi e in piena luce producono molte spore, facilmente disperse dal vento anche a lunga distanza. Oltre che straordinariamente resistente al fuoco, la pianta ha anche un effetto di promozione degli incendi: lo spesso strato di foglie morte è infatti un ottimo combustibile (https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html).

In base agli indici ecologici di Ellemberg adattati al bacino del mediterraneo (Pignatti et al. 2005) per luce, temperatura, reazione del suolo, umidità e nutrienti risulta che *Pteridium aquilinum* è specie adattata alle seguenti condizioni abiotiche:

- Luce (6): condizioni di mezz'ombra;
- Temperatura (5): condizioni medie fascia temperata;
- Umidità (6): suoli umidi ma non inondati;
- Reazione del suolo (3): acido;
- Nutrienti (3): cresce su suoli poveri di nutrienti.

Tra i fattori abiotici limitanti risulta che *Pteridium aquilinum* è particolarmente sensibile al freddo, al secco e al ristagno idrico (Maars e Watt 2006).

In Italia centrale è specie diffusa e comune soprattutto su substrati flyshioidi. Forma spesso densi popolamenti clonali su pascoli abbandonati, ai margini e nelle radure dei boschi, dal livello del mare alla fascia montana superiore su suoli da subacidi ad acidi. Si comporta spesso da pianta invasiva di difficile estirpazione. (https://dryades.units.it/ampezzosauris/index.php?procedure=taxon_page&id=68&num=3702).



***Figura 1-6**: Popolamenti di Pteridium aquilinum nell'area montana della riserva di Monte San Vicino e Monte Canfaito (Italia centrale) da tesi Colosi L. (2022)*

Capitolo 2
PTERIDIUM AQUILINUM NELLA DINAMICA VEGETAZIONALE E IMPATTI SULLA BIODIVERSITÀ DELLE PRATERIE SECONDARIE

2.1. La fitosociologia, le comunità ecotonali e la dinamica vegetazionale

La fitosociologia, rappresenta una branca della botanica applicata.

Questa disciplina consiste nel descrivere e classificare le comunità vegetali attraverso l'identificazione delle associazioni vegetali.

Un'associazione vegetale è un aggruppamento di piante più o meno stabile nel tempo ed in equilibrio con l'ambiente, caratterizzato da una composizione floristica determinata, nella quale alcune specie esclusive (caratteristiche) rivelano, con la loro presenza, un'ecologia particolare ed autonoma (https://www.inclimona.it/fitosociologia/).

Tuttavia nel sistema fitosociologico la descrizione della vegetazione non si esaurisce con l'associazione vegetale. Al pari della specie nella classificazione tassonomica, l'associazione vegetale, viene inserita in un sistema gerarchico (sintassonomia) che comprende categorie sintassonomiche (syntaxa) di rango superiore all'associazione quali alleanza, ordini e classi ed inferiore all'associazione rappresentato dalle subassociazioni.

Uno dei capitoli più importanti della fitosociologia è quello relativo ai processi dinamici che si verificano nella vegetazione. Gli studi fitosociologici nelle aree ecotonali tra formazioni forestali e prati e pascoli sono particolarmente importanti per la comprensione dei processi dinamici che si verificano in quest'area e che riguardano in termini sintassonomici la classe *Rhamno-Prunetea* per la vegetazione arbustiva di mantello e la classe *Trifolio-Geranietea* per la vegetazione erbacea di orlo (Biondi et al. 2015). Il riconoscimento delle comunità arbustive che circondano la foresta e di quelle che si proiettano al di fuori di essa quando i pascoli non vengono più utilizzati a fini agronomici o pastorali è stato il primo grande passo avanti nella comprensione dei fenomeni naturali innescati in seguito all'abbandono. Osservazioni a lungo termine condotte nell'area ecotonale hanno inoltre portato alla scoperta che lungo il margine della foresta, dove l'ombra è prodotta dalla chioma degli alberi, si sviluppa una vegetazione sciafila, costituita da specie erbacee che tendono a emergere naturalmente in quest'area. Nella

parte illuminata, quella del pascolo, un processo simile si verifica dopo l'abbandono, portando alla concentrazione di specie eliofile nella stessa area ecotonale, che è in continuità con la parte sciafila. I margini della vegetazione sciafila ed eliofila definiscono pertanto un processo dinamico, la cui comprensione è stata ulteriormente approfondita dalle recenti ricerche sulla vegetazione ecotonale. Tali studi hanno permesso di caratterizzare meglio i processi che interessano la vegetazione di orlo della classe *Trifolio-Geranietea sanguinei*, evidenziando la continuità tra orli forestali sciafili e orli eliofili (Fig. 2-1).

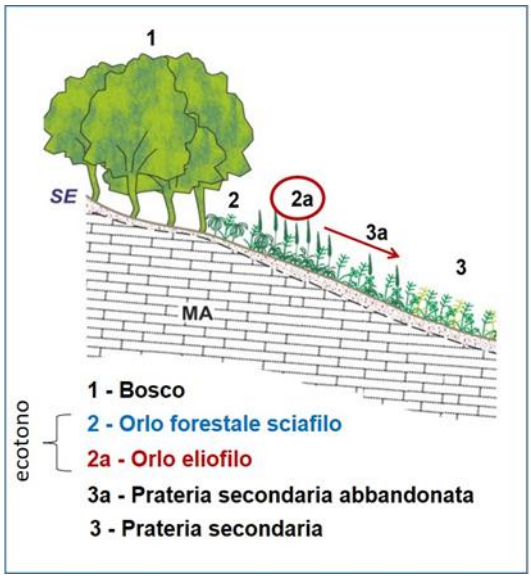


Fig. 2-1. *Schema rappresentativo della vegetazione erbacea ecotonale di orlo tra bosco e prateria. I primi stadi della successione dinamica progressiva avvengono attraverso la colonizzazione della prateria abbandonata o sottoutilizzata da parte delle specie di orlo eliofilo posto in continuità con quello forestale (da Allegrezza, 2014).*

Per quanto riguarda gli orli forestali sciafili questi vengono riferiti agli ordini *Origanetalia* mentre per quelli eliofili nell'Appennino sono stati descritti due principali ordini: *Asphodeletalia macrocarpi* per i substrati prevalentemente calcarei e suoli a reazione basica e *Melampyro-Holcetalia mollis* per i suoli acidi.

Pteridium aquilinum è specie tipicamente ecotonale, indicata per l'Italia come specie diagnostica e abbondante nei syntaxa preforestali, di mantello e di orlo eliofilo (Prodromo della vegetazione d'Italia) prevalentemente nell'ambito della potenzialità di faggete, cerrete e castagneti su substrati acidi o acidificati. In particolare le comunità a dominanza di *Pteridium aquilinum* di orlo eliofilo appartengono all'ordine *Melampyro-Holcetalia mollis* e alla classe *Trifolio-Geranietea*. Per le comunità appenniniche è stata descritta l'alleanza *Digitali*

ferrugineae-Pteridion aquilini vicariante l'alleanza *Holco mollis-Pteridion aquilini* Passarge (1994) 2002. L'alleanza include la vegetazione mesofila di margine e di alte erbe a dominanza di *Pteridium aquilinum* che colonizza per invasione dinamica le praterie abbandonate o sottoutilizzate della fascia collinare e montana. Dell'alleanza, di cui l'associazione *Digitali ferrugineae-Pteridium aquilini* ne rappresenta il typus, risultano specie caratteristiche e differenziali: *Digitalis ferruginea* L., *Origanum heracleoticum* L., *Teucrium siculum* Rafin., *Potentilla hirta* L.

Tuttavia le comunità dense a *Pteridium aquilinum* si possono mantenere anche nel tempo ostacolando la successione dinamica attraverso lo spesso strato di lettiera che inibisce la germinazione dei semi delle specie forestali (Den Ouden, 2000).

L'effetto sulla successione verso stadi più maturi non è tuttavia necessariamente permanente: la riduzione della densità della felce può consentire la ripresa della dinamica successionale, a condizione che siano ancora disponibili semi, propaguli o individui capaci di ricolonizzare l'area.

2.2 Effetti sulla biodiversità delle praterie secondarie e sugli animali

La Convenzione ONU sulla Diversità Biologica definisce la biodiversità come la varietà e variabilità degli organismi viventi e dei sistemi ecologici in cui essi vivono, evidenziando che essa include la diversità a livello genetico, di specie e di ecosistema (https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita/le-domande-piu-frequenti-sulla-biodiversita/cose-la-biodiversita).

Pteridium aquilinum forma spesso densi popolamenti clonali in pascoli abbandonati, ai margini e nelle radure di boschi. Si tratta di una specie estremamente competitiva, la cui capacità di occupare rapidamente gli spazi disponibili e di sviluppare popolamenti caratterizzati da elevata copertura può determinare importanti modificazioni nella struttura e nella composizione delle comunità vegetali, di conseguenza sulla biodiversità. Uno dei principali effetti dell'espansione di *Pteridium aquilinum* sulla biodiversità delle praterie abbandonate o sottoutilizzate riguarda la riduzione della richness e la modificazione della composizione floristica che se non contrastata porta inesorabilmente alla perdita degli habitat di prateria. La sostituzione di una comunità vegetale diversificata come la prateria con popolamenti pressoché monospecifici dominati dalla felce può modificare la disponibilità di risorse alimentari e la struttura degli habitat utilizzati da numerosi organismi.

Si sottolinea che ad eccezione dell'importante articolo di Marrs. and Watt (2006) gli studi specifici degli effetti di *Pteridium aquilinum* sulla biodiversità dei diversi tipi di prateria e in

particolare sulle specie dominanti sono abbastanza rari in letteratura mentre al contrario sono abbondantissimi quelli sulla tossicità e sul ripristino.

L'abilità competitiva della felce si relaziona principalmente come conseguenza di una serie di aspetti morfologici e fisiologici come l'ombreggiamento, l'elevata capacità colonizzatrice grazie al rizoma, produzione di sostanze allelopatiche, tossicità per il bestiame al pascolo (ruminanti e cavalli) che può avere ripercussioni indirette anche per l'uomo.

La felce, che è in grado di sviluppare una copertura molto elevata, intercetta una parte significativa della radiazione luminosa e modifica pertanto le condizioni microclimatiche in prossimità del suolo. La diminuzione della quantità di luce che giunge al suolo modifica pertanto le condizioni microclimatiche come temperatura e umidità presenti in prossimità del suolo, andando a sfavorire le specie eliofile di prateria che prediligono ambienti aperti. Al contrario possono trarne vantaggio specie erbacee di sottobosco o comunque che tollerano maggiormente l'ombreggiamento.

L'elevata competizione è anche dovuta alle sostanze allelopatiche che *Pteridium aquilinum* è in grado di rilasciare. Quest'ultime sono metaboliti secondari rilasciati dalla pianta per inibire la germinazione o la crescita di altre specie vegetali concorrenti.

La modificazione della struttura della vegetazione operata da *Pteridium aquilinum* può avere conseguenze anche sulla componente animale dell'ecosistema. Gli animali che pascolano in aree caratterizzate dalla presenza di felce aquilina subiscono perdite annuali di produttività a causa dell'esposizione alle tossine.

Ricerche approfondite (es. Kato-Noguchi and Kato, 2026; Malik et al. 2023) hanno identificato diverse sostanze tossiche nel *Pteridium aquilinum*. I principali effetti tossici derivanti dal consumo comprendono la carenza di tiamina (vitamina B1), avvelenamento acuto da cianuro, atrofia retinica, ematuria enzootica bovina e carcinoma del tratto alimentare superiore e di altri organi.

Tra i principi attivi vi sono sesquiterpeni e tannini amari, fitosteroli e il glicoside cianogenico, che si trasforma prontamente in acido cianidrico (HCN) quando la pianta viene danneggiata o con l'umidità dell'apparato boccale dell'animale che la bruca. Genera inoltre acidi fenolici che possono agire da fungicida e sono implicati in attività allelopatica. I principi attivi si ritrovano in ogni parte della pianta: rizomi, foglie fresche e secche, apici arricciati delle giovani foglioline e spore. La tossicità è maggiore nelle fasi giovanili e negli apici delle foglie (https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html). I principali sintomi di "Avvelenamento da felce" nei **bovini** includono ematuria enzootica, tumori alla vescica ed emorragie a carico dei reni, delle mucose e della pelle. Altri sintomi sono leucopenia, iperplasia dei dotti biliari e

proliferazione di tessuto fibroso nel fegato. Nelle **pecore** può causare atrofia retinica, soppressione del midollo osseo, immunosoppressione, neoplasia delle vie urinarie e carenza di tiamina. Nei **cavalli** il sintomo più evidente è proprio la carenza di tiamina che porta a neoplasie in tutto l'apparato digerente, anemie ed emorragie, spesso fatali, per avvelenamenti acuti a carico del midollo osseo.

A seguito dell'ingestione di *Pteridium aquilinum* i cavalli colpiti da avvelenamento possono presentare perdita di peso, atassia, convulsioni e bradicardia. La morte sopraggiunge in genere entro 2-10 giorni dalla comparsa dei sintomi.

Pteridium aquilinum contiene due tipi di tiaminasi (enzima che distrugge la vitamina B1): la tiaminasi di tipo I e la tiaminasi di tipo II.

I ratti alimentati con felce aquilina dotata di attività tiaminasica hanno sviluppato lesioni del sistema nervoso caratteristiche dell'antivitaminosi da vitamina B1, curabili mediante terapia con tiamina. Effetti analoghi sono stati osservati in altri animali monogastrici, come cavalli e suini.

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato la felce aquilina come possibilmente cancerogena per l'uomo (Gruppo 2B). Il suo principale metabolita, nonché quello più pericoloso, è il ptaquiloside. L'esposizione umana, diretta o indiretta, a questa sostanza avviene principalmente attraverso il latte prodotto dagli animali che pascolano consumando la felce aquilina (Malik et al. 2023).

Il suo contenuto nella felce aquilina varia considerevolmente, passando generalmente da valori praticamente nulli fino a circa 13 mg/g di sostanza secca vegetale.

La concentrazione di ptaquiloside è soggetta a variazioni determinate da diversi fattori botanici, principalmente dal tipo e dall'età degli organi della pianta. Il contenuto massimo di ptaquiloside nella felce aquilina si osserva al momento della fuoriuscita dei giovani germogli, con valori registrati fino a 37 mg/g di tessuto vegetale (Malik et al. 2023).

Il principio cancerogeno, dilavato dalle acque meteoriche, può inquinare le falde acquifere (https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html).

Gli animali eliminano lo ptaquiloside per via mammaria, concentrandolo nel latte, che è quindi una delle principali vie di esposizione umana a questo cancerogeno.

Lo ptaquiloside è solo parzialmente degradato durante il processo della pastorizzazione, ma lo è molto di più nel processo di caseificazione, per cui i formaggi non presentano problemi da questo punto di vista (http://www.fungoceva.it/erbe_ceb/Pteridium_aquilinum%20.htm).

Alcuni dei principi attivi presenti nella felce aquilina sono di interesse farmacologico.

Diversi studi suggeriscono che specifici composti presenti nella felce aquilina e in particolare nelle fronde, tra cui flavonoidi, alcaloidi e composti fenolici, possiedano proprietà antimicrobiche, antibatteriche, antiossidanti, immunomodulatrici e antinfiammatorie (Malik et al. 2023; Kato-Noguchi and Kato 2026).

I principi attivi sono estratti principalmente dalle fronde.

Ad esempio gli estratti delle fronde di *P. aquilinum* ottenuti con etanolo, etere di petrolio e/o n-esano hanno mostrato attività antimicrobica nei confronti dei seguenti batteri: Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis, Escherichia coli, Proteus vulgaris ed Enterobacter aerogenes.

Gli estratti metanolici delle fronde di *P. aquilinum* hanno mostrato attività antifungina contro Candida albicans e Aspergillus niger, nonché attività antibatterica contro S. aureus, Salmonella typhimurium, E. coli e Pseudomonas aeruginosa. I componenti attivi identificati negli estratti erano acido 1,2-benzendicarbossilico, cloruro di 9,12-ottadecadienile e acido 11,14-eicosadienoico.

L'olio essenziale ottenuto dalle fronde di *P. aquilinum* ha mostrato attività antibatterica contro Erwinia amylovora, Pectobacterium carotovorum e Pseudomonas savastanoi (Kato-Noguchi and Kato 2026).

Altri studi dimostrano come in diclorometano delle fronde di *P. aquilinum* e ptaquiloside possano avere proprietà antitumorali. Ci sono inoltre anche altri principi attivi contenuti nella felce con una significativa attività neuroprotettiva (pterosina B) e miorilassante (pterosina Z) mentre una potenziale opzione terapeutica per il trattamento del diabete potrebbe essere rappresentata dalla pterosina A.

***Pteridium aquilinum* è stata oggetto in passato di molteplici usi** e per tale ragione fu anche coltivata in molti paesi (Canada, Stati Uniti, Siberia, Cina, Giappone e Brasile). (https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html).

Pteridium aquilinum è stata ampiamente **utilizzata come alimento e nella medicina popolare per molto tempo**. I decotti preparati con i rizomi sono stati utilizzati per curare il diabete e i disturbi cronici della milza e dello stomaco. Sono stati utilizzati anche per trattare la malaria e come vermifughi. I decotti preparati con i noduli del rizoma sono stati utilizzati per curare il rachitismo nei bambini, ferite, eczemi, dermatiti e tosse. Sono stati utilizzati anche come lassativi. Grazie alle loro proprietà antipiretiche e diuretiche le fronde e i rizomi sono stati utilizzati per curare l'epatite. I rizomi, ricchi di amido, sono stati utilizzati anche per usi alimentari, macinati in farina e impiegati come ingrediente per la preparazione di pane, dolci

e nella produzione di birra. I germogli sono stati utilizzati come verdura in piatti tradizionali e sono tuttora disponibili nei mercati locali dell'Asia orientale.
I rizomi furono altresì usati nella produzione di pelli di tannino e per colorare di giallo la lana, mentre le ceneri fornivano potassio nell'industria del vetro, del sapone e per la fabbricazione della candeggina (https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html).

Capitolo 3 *TECNICHE PER IL CONTROLLO DI PTERIDIUM AQUILINUM IN EUROPA E IN ITALIA*

3.1 Premessa

Il controllo di *Pteridium aquilinum* rappresenta una delle sfide più complesse nell'ambito dell'ecologia del ripristino e della gestione dei pascoli marginali e delle brughiere. Nonostante ingenti finanziamenti pubblici e l'applicazione di diverse tecniche di contenimento (dal taglio meccanico all'uso di erbicidi come l'Asulam), le risposte dell'ecosistema risultano spesso eterogenee e difficilmente prevedibili. Il presente capitolo analizza e mette a confronto l'efficacia dei principali metodi di controllo della felce aquilina basandosi sui risultati di diversi studi scientifici pubblicati. Da sottolineare che in Europa i dati di letteratura disponibili provengono essenzialmente dal Nord Europa e in particolare dalla Gran Bretagna dove sono state condotte numerose analisi approfondite anche con meta-analysis nel medio 10 anni (es. Stewart et al. 2008) e lungo periodo 25 anni (es. Akpinar et al. 2023). Per contro in Italia nonostante *Pteridium aquilinum* venga considerata una specie nativa problematica rappresentando una delle principali pressioni sulla biodiversità degli habitat di prateria (https://www.mase.gov.it/portale/documenti-di-riferimento-per-l-individuazione-di-obiettivi-e-misure-di-conservazione) gli studi pubblicati sono due e relativi a due siti nel Parco Regionale dei Laghi di Suviana e Brasimone (Appennino settentrionale) (Argenti et al. 2012; Cervasio et al. 2016).

3.2 Meta-analysis e sperimentazioni nel lungo periodo in Gran Bretagna

3.2.1 *La meta-analysis di Stewart et al. (2008)*

L'importante meta-analysis di Stewart et al. (2008) della durata di 10 anni è stata condotta in 4 diverse regioni del Regno Unito: Cannock Chase (Midlands inglesi), North Peak (Peak District), Snowdonia (Galles) e Sourhope (Cheviot Hills). Su queste aree sono stati effettuati sei esperimenti indipendenti avviati tra il 1993 e il 1994. Ciascun sito inoltre presentava variazioni significative per quanto concerne l'altitudine (dai 145 ai 350m s.l.m.), la pendenza

(dal 9 al 22%) e le comunità vegetali presenti (Classificate secondo il NVC, ossia il National Vegetation Classification).

Le ipotesi di partenza dello studio erano le seguenti:

(1) la variabilità dell'efficacia dei trattamenti tra contesti geografici differenti;

(2) la validità del taglio bisettimanale/bi-annuale come trattamento ottimale;

(3) il ruolo dello strato di lettiera e della massa dei rizomi nell'interferire con il successo del controllo; e infine

(4) l'impatto dell'eradicazione della felce sul recupero della ricchezza di specie vegetali native.

Su ciascuna area di studio sono stati applicati sei trattamenti principali standardizzati:

1. Controllo non trattato;
2. Taglio una volta all'anno a giugno;
3. Taglio due volte all'anno, il primo a giugno e il secondo ad agosto;
4. Taglio e irrorazione, un taglio a giugno del primo anno seguito dalla somministrazione dell'erbicida Asulam ad agosto del secondo anno;
5. Irrorazione singola, un'applicazione singola di Asulam ad agosto/settembre del primo anno;
6. Irrorazione e taglio, nel primo anno irrorazione di Asulam e taglio il secondo anno a giugno.

Gli effetti comparativi dei trattamenti applicati sono stati analizzati tramite meta-analisi e meta-regressione. Nel confronto della meta-regressione sono stati considerati gli effetti dei trattamenti per 4 variabili: massa del rizoma, copertura della lettiera, richness attraverso la misura di tre parametri relativi a *Pteridium aquilinum*: copertura (%), densità media delle fronde (m2) e lunghezza delle fronde (cm).

Da questi studi è stato dimostrato che i risultati ottenuti presentino elevata eterogeneità statistica nell'efficacia dei trattamenti sui vari siti. Pertanto il medesimo intervento gestionale può produrre risposte quantitativamente e qualitativamente diverse a seconda del contesto in cui viene applicato.

Da quanto emerge dagli studi di Stewart et al. (2008) il trattamento complessivamente più efficace per ridurre la copertura e l'altezza è stato il taglio due volte l'anno. Mentre il trattamento più efficace nel ridurre la densità delle fronde è stata l'irrorazione singola con Asulam.

Sebbene i risultati ottenuti dal taglio due volte l'anno siano variabili da un sito all'altro rimane il trattamento più efficace in quasi tutti i casi.

L'efficacia del controllo di *Pteridium aquilinum* era correlata alla massa del rizoma misurata solo per la lunghezza delle fronde nel trattamento con due tagli. Nella maggior parte dei trattamenti efficaci si è registrata una riduzione significativa sia della copertura che dello spessore dello strato di lettiera di felce.

Infine è stato riscontrato come l'efficacia del trattamento di controllo di *Pteridium aquilinum* era significativamente correlato alla ricchezza di specie in 12 dei 15 confronti. Un controllo efficace di *P. aquilinum* è associato a siti ricchi di specie (Stewart et al 2008).

In sintesi i risultati ottenuti dalla meta-analysis sono stati i seguenti:

1. – **L'efficacia dei trattamenti** per il controllo di *P. aquilinum* varia a seconda del sito;
2. – Il **taglio 2 volte l'anno come trattamento ottimale nei diversi siti**;
3. – Le prestazioni del trattamento sono correlate alla massa dei rizomi di *P. aquilinum*, alla copertura della lettiera o alla profondità della lettiera nei vari siti;
4. – Il controllo efficace di *P. aquilinum* influenza la ricchezza di specie in 12 dei 15 confronti.

3.2.2 *La sperimentazione a lungo termine di Akpinar et al (2023)*

Storicamente il contenimento di *Pteridium aquilinum* è stato condotto tramite metodi di lotta meccanici e chimici. Tuttavia, sebbene molti studi abbiano documentato l'efficacia iniziale di tali interventi, la maggior parte delle ricerche si è limitata a periodi di monitoraggio brevi (3-5 anni). Per colmare questa lacuna conoscitiva il presente sotto-capitolo analizza i risultati di un esperimento a lungo termine (oltre 25 anni di monitoraggio) condotto nei siti di Sourhope in Scozia (Akpinar et al. 2023).

Lo studio è stato effettuato in due siti di prateria acida situati nei pressi della fattoria sperimentale di Sourhope, negli Cheviot Hills (Scottish Borders, UK). Il primo sito, chiamato Sourhope 1 (SH1), presentava un'esposizione prevalente a Sud/Sud-Ovest, pendenza 16%, e altitudine sul livello del mare di 325m. Mentre Sourhope 2 (SH2) presentava un'esposizione prevalente a Ovest/Nord-Ovest, pendenza al 22% e altitudine di 285m s.l.m. Entrambi i siti all'inizio dell'esperimento presentavano una copertura dominata da *Pteridium aquilinum* con substrato di terreno acido podzolico.

In ciascun sito, prima dell'applicazione dei trattamenti sono stati delimitati due blocchi replicati e, all'interno di ciascuno, sono stati applicati sei trattamenti di controllo di *P. aquilinum* a livello di parcella principale (10m x 40m). I sei trattamenti di controllo erano:

1. Controllo sperimentale, non trattato;
2. Taglio una volta all'anno a giugno;

3. Taglio due volte all'anno a giugno e ad agosto;
4. Applicazione di Asulam solo nel primo anno;
5. Applicazione di Asulam nel primo anno seguito da un unico taglio a giugno nel secondo anno;
6. Un unico taglio a giugno nel primo anno seguito dall'irrorazione di Asulam nel secondo anno.

I trattamenti numero 2 e 3 sono stati ripetuti ed applicati annualmente, nel primo sito sono stati avviati nel 1993, mentre nel secondo sito nel 1994 ed in entrambi i casi sono proseguiti fino al 2003.

Le parcelle sono state in seguito monitorate per 25-26 anni rilevando tre indicatori ecologici chiave: il primo è il frond volume index (FVI) calcolato come altezza x copertura delle fronde di felce. Il secondo è il total vegetation index (TVI) calcolato come somma della copertura percentuale di tutte le specie di sottofilare (graminacee ed erbacee, escluso *P. aquilinum*), indicatore di disponibilità foraggera. Il terzo è il species richness, ossia il numero totale di specie di piante vascolari e muschi rilevate al m2, misuratore diretto della diversità floristica.

Ne emerge che tutti i trattamenti sperimentati hanno ridotto in maniera significativa il volume delle fronde rispetto al controllo nelle fasi iniziali, ma la durata della soppressione ha evidenziato differenze sostanziali tra i siti e le tecniche.

Per quanto riguarda i trattamenti meccanici continui il doppio taglio annuale proiettato per un decennio ha mostrato la finestra di efficacia più estesa. Nel sito Sourhope 1, la biomassa della felce è rimasta statisticamente inferiore al controllo per l'intero periodo di monitoraggio (25 anni). In Sourhope 2, la finestra ha coperto circa 20-22 anni prima che la felce raggiungesse i livelli del controllo.

L'applicazione invece di Asulam ha determinato un abbattimento crollante ed immediato del frond volume index. La finestra di efficacia garantita per l'erbicida si è attestata tra i 10 e i 16 anni. Trascorso tale periodo, le popolazioni di felce hanno iniziato un graduale ma inesorabile recupero dai rizomi sopravvissuti.

La soppressione della felce ha inoltre favorito l'espansione delle graminacee di prateria, il total vegetation index ha registrato un incremento significativo in tutti i trattamenti con una finestra di efficacia media compresa tra i 12 e i 20 anni.

Nei blocchi trattati si è osservato un rallentamento della perdita di specie rispetto alle parcelle di controllo, dove l'accumulo della spessa lettiera di felce ha portato a un progressivo impoverimento floristico. **Tuttavia nonostante il controllo efficace della felce, nessun**

trattamento è stato in grado di riportare la ricchezza di specie ai livelli delle praterie acide non invase della regione.

Il doppio taglio annuale offre la massima persistenza nel tempo grazie all'esaurimento progressivo delle riserve di carboidrati stoccate nei rizomi. Tuttavia, dal punto di vista operativo ed economico, eseguire 20 interventi di sfalcio in 10 anni su terreni collinari e impervi è raramente sostenibile su larga scala. Al contrario, la spruzzatura singola di Asulam offre il miglior rapporto costo-beneficio iniziale. L'ampiezza della sua finestra di efficacia (10-16 anni) suggerisce che gli schemi di gestione del territorio dovrebbero prevedere cicli di ritrattamento ogni 10-12 anni per prevenire il totale ripristino della dominanza di *Pteridium aquilinum*.

Nonostante la lotta rappresenti una condizione necessaria, ciò non preclude che la biodiversità possa tornare a pieno regime, infatti diversi fattori ostacolano il ritorno delle specie native, come ad esempio la lettiera residua e la pressione di pascolo. Per garantire un effettivo recupero della biodiversità, il controllo della felce (chimico o meccanico che sia) deve essere integrato con erpicatura e rimozione meccanica della lettiera accumulata, trasemina, introduzione attiva di semi di specie prative native e gestione bilanciata del pascolo.

3.3 Le sperimentazioni in Italia

Come già indicato nella premessa, in Italia nonostante *Pteridium aquilinum* venga considerata una specie nativa problematica rappresentando una delle principali pressioni sulla biodiversità degli habitat di prateria, gli studi scientifici pubblicati sono solo due e relativi al Parco Regionale dei Laghi di Suviana e Brasimone (Appennino settentrionale) (Argenti et al. 2012; Cervasio et al. 2016).

3.3.1 *Tecniche agronomiche e meccaniche per il contenimento di Pteridium aquilinum in aree protette*

Nelle aree montane e nei territori soggetti a vincoli di tutela ambientale (come i parchi regionali e nazionali), il degrado delle superfici a pascolo assume un significato ecologico e gestionale di primaria importanza. Tali aree aperte rappresentano infatti tessere ambientali fondamentali per la fauna selvatica, in particolare per i grandi ungulati pascolatori e brucatori, per i quali costituiscono le principali sorgenti trofiche durante la stagione vegetativa. Tuttavia, l'impiego di sostanze chimiche per il controllo delle specie infestanti risulta impraticabile o severamente proibito all'interno delle aree protette, sia per preservare la qualità delle matrici ambientali sia per prevenire fenomeni di ecotossicità a carico della catena trofica. Si rende

pertanto indispensabile l'individuazione e la validazione di tecniche agronomiche e meccaniche "Dolci", sostenibili nel medio-lungo periodo ed economicamente applicabili, in grado di contenere le popolazioni di felce aquilina, ripristinare la cotica erbosa nativa e migliorarne la qualità pastorale a fini faunistici.

Il primo studio pubblicato nel Parco Regionale dei Laghi di Suviana e Brasimone della durata quinquennale (2004-2009) è stato condotto da Argenti et al. (2012) in località Lamaccia (1150 m s.l.m.) con lo scopo di analizzare l'efficacia dei trattamenti di contenimento della felce aquilina e il ripristino delle praterie anche ai fini della gestione della fauna selvatica.

L'area oggetto di studio era originariamente dominata da *Pteridium aquilinum* a seguito dell'abbandono delle pratiche agro-silvo-pastorali, qui sono state attuate due distinte strategie agronomiche a partire dal 2004:

1. Trattamento A: è stato effettuato un taglio iniziale della felce e a seguire è stata attuata un'aratura profonda 30cm. Dopodiché è stata effettuata un'erpicatura e semina di una miscela foraggera, a seguire sono stati attuati interventi di manutenzione una volta l'anno per due anni (2005-2006) durante l'estate dunque quando le fronde delle felci erano completamente sviluppate, simulando un taglio estivo per il fieno.
2. Trattamento B: è stato effettuato un taglio delle felci, erpicatura e semina di una miscela foraggera. Dopo la semina non sono stati effettuati altri tagli.

La miscela foraggera impiegata in entrambi i casi era costituita da cinque specie: *Bromus inermis Leyss*. (30% in peso), *Dactylis glomerata L*. (30%), *Festuca ovina L*. (25%), *Trifolium pratense L*. (10%) e *Lotus corniculatus L*. (5%).

Le aree ripristinate sono state esposte esclusivamente al pascolo di erbivori selvatici, principalmente cervi, caprioli e cinghiali; non era presente bestiame nell'area circostante.

Ciascun trattamento è stato applicato a quattro parcelle disposte secondo un disegno a blocchi randomizzati (larghi circa 0,5 ha). La raccolta dei dati sui pascoli ripristinati è iniziata nel 2006.

Il rilievo della composizione botanica è stato eseguito dal 2006 al 2009 mediante l'analisi lineare secondo il metodo di Daget e Poissonet (1971), calcolando il Contributo Specifico delle singole specie e aggregandole nei gruppi funzionali (Graminacee, Leguminose, Altre piante erbacee, Felce aquilina).

I dati raccolti confermano **marcate differenze nell'efficacia dei due trattamenti**: Nel primo caso l'aratura sradica e frammenta l'apparato rizomatoso riducendo notevolmente la presenza di *Pteridium aquilinum* fino a raggiungere indici <1% nel 2009. Nel secondo caso l'erpicatura

non è in grado di eliminare i rizomi in profondità, consentendo alla felce di ricacciare prontamente e mantenere una copertura stabilmente superiore al 20%.

È stata inoltre rilevante la pratica dello sfalcio estivo regolare nei due anni successivi alla semina tagliando le fronde nel momento di maggiore erogazione e consumo delle riserve di carboidrati dal rizoma, depauperando la capacità rigenerativa della felce.

Le analisi elaborate da Argenti et al. (2012) evidenziano una forte correlazione negativa tra la presenza della felce aquilina e i principali indicatori di qualità del pascolo: il valore pastorale mostra un decremento curvilineo al crescere del contributo della felce. Il contenuto di leguminose foraggere scende drasticamente all'aumentare dell'infestazione. Quest'ultime sono infatti specie eliofile che non riescono a tollerare la riduzione di radiazione solare provocata dalla copertura di *Pteridium aquilinum*. Inoltre sia l'indice di diversità di Shannon-Wiener che la ricchezza floristica risultano penalizzati nei settori a elevata copertura di felce, dove l'omogeneità della biomassa infestante ostacola l'insediamento e la ricolonizzazione da parte delle specie spontanee prative.

La sperimentazione condotta da Argenti et al. (2012) nell'appennino settentrionale dimostra che entrambe le tipologie di interventi agronomici si rivelano efficaci, tuttavia **solo l'aratura profonda ha ridotto significativamente la presenza della felce a livelli molto bassi e per periodi più lunghi, migliorando le caratteristiche ecologiche e foraggere del pascolo ripristinato**. Inoltre lo studio sottolinea l'importanza della falciatura regolare per il mantenimento del manto erboso, soprattutto in relazione al controllo della felce aquilina. L'assenza di questa pratica produce effetti negativi con un generale deterioramento della composizione botanica e del valore pastorale, diminuzione delle specie seminate e peggioramento dei parametri ecologici (Argenti et al. 2012).

Il secondo studio nel Parco Regionale dei Laghi di Suviana e Brasimone è stato condotto da Cervasio et al. (2016) nella località di "Poggio alle vecchiette" (BO). La sperimentazione dalla durata quinquennale (2006-2010) ha riguardato un'area di pascolo abbandonato disposta su terreno pianeggiante con esposizione sud-ovest, sviluppatasi su substrato arenaceo all'interno di una fustaia dominata da faggio (*Fagus sylvatica L.*). A seguito della cessazione delle attività pastorali il sito risultava dominato da *Pteridium aquilinum*.

Per evitare l'interferenza dovuta al pascolamento diretto degli ungulati durante la fase di rilievo dei dati floristico-vegetazionali, l'intero dispositivo sperimentale (superficie di circa 0.2 ha) è stato perimetrato con una recinzione metallica alta 2.5 metri.

L'esperimento è stato impostato sul campo secondo uno schema fattoriale a blocco randomizzato con sistemazione a split-split-plot e tre replicazioni (Fig. 3.1.). Il fattore

principale (main plot) è stato rappresentato dalla data di campionamento, il sub-fattore (sub-plot) dalla modalità di impianto/lavorazione del suolo, e il sub-sub-fattore (sub-sub-plot) dal regime di sfalcio annuo. In totale sono state allestite 18 parcelle sperimentali della dimensione unitaria di 5x3m.

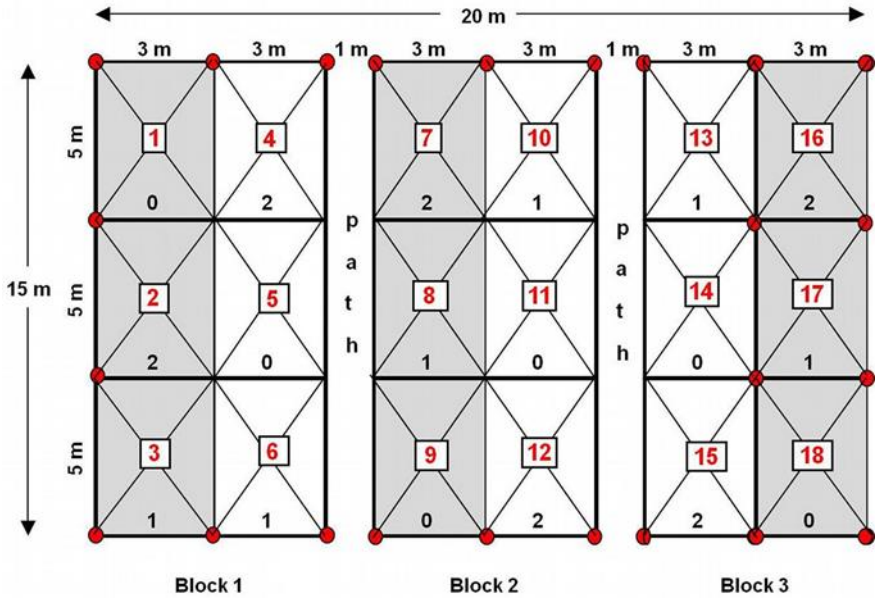


Fig. 3.1. *Disposizione e dimensioni delle parcelle utilizzate nell'esperimento. I numeri neri in ciascuna parcella (riquadro) indicano il numero di tagli effettuati. I riquadri grigi rappresentano le parcelle in cui è stata effettuata la semina, mentre i riquadri bianchi sono le parcelle senza semina.*

I trattamenti agronomici effettuati sono stati i seguenti:

1. Metodo di semina. Su metà delle parcelle è stata effettuata una lavorazione del terreno tramite aratura profonda 30cm, seguita dall'affinamento del letto di semina e della semina manuale di un miscuglio foraggero composto da 7 specie. L'altra metà delle parcelle non sono state sottoposte ad alcuna lavorazione del terreno né a semina, rappresentando così le condizioni naturali dell'area;
2. Numero di tagli. Le parcelle sono state sottoposte a un numero diverso di tagli della vegetazione (0,1 o 2) nel corso della stagione vegetativa. Nelle parcelle dove è stato effettuato un singolo taglio quest'ultimo è stato eseguito a inizio luglio, mentre nelle parcelle dove sono stati eseguiti due tagli, il primo veniva effettuato a inizio luglio mentre il secondo a inizio settembre.

La raccolta dei dati è stata effettuata ogni mese durante la stagione vegetativa (giugno, luglio, agosto e settembre) in tutto il quinquennio.

In ciascuna parcella, lungo i transetti diagonali, è stata determinata la composizione botanica quantitativa mediante il metodo dell'analisi fitosociologica puntiforme di Daget & Poissonet (1969), al fine di quantificare la frequenza assoluta di ciascuna specie.
Per sintetizzare la qualità e la capacità nutrizionale complessiva del pascolo è stato calcolato il Valore Pastorale, parametro sintetico ideato da Daget & Poissonet (1972) espressivo delle caratteristiche quali-quantitative e dell'appetibilità della risorsa foraggera.
L'elaborazione statistica dei dati raccolti nell'arco dei 5 anni di osservazione ha evidenziato come le pratiche agronomiche adottate abbiano esercitato un impatto profondo e altamente significativo sulla composizione botanica, sulla dinamica delle comunità vegetali e sulla qualità foraggera complessiva delle superfici ripristinate.
Il contributo specifico di *Pteridium aquilinum* ha subito modificazioni drastiche sia in funzione della lavorazione del terreno sia del regime di taglio. Nel primo caso l'intervento di aratura profonda (30cm) accoppiato alla semina del miscuglio foraggero ha determinato un crollo immediato e duraturo di *Pteridium aquilinum*. Nelle parcelle arate e sementate, il contributo della felce si è mantenuto su valori estremamente bassi anche in assenza di sfalcio (circa 11%), scendendo a valori marginali (<4%) quando alla semina è stato associato almeno un taglio annuale. Nel secondo caso nelle parcelle non sottoposte a semina, la felce ha dominato indisturbata. **L'introduzione tuttavia di un singolo taglio ha mostrato elevatissima efficacia riducendo di oltre la metà la frequenza della felce rispetto al controllo**. È fondamentale notare come l'aggiunta di un secondo taglio annuale non ha portato ad un'ulteriore riduzione statisticamente significativa della felce, evidenziando come un singolo sfalcio estivo ben temporizzato sia tecnicamente ed agronomicamente sufficiente.
Negli appezzamenti non seminati e non gestiti il valore pastorale è precipitato a livelli estremamente decadenti, definendo il pascolo come privo di interesse foraggero, dominato da specie non appetibili o tossiche e sostanzialmente inutilizzabile per la fauna selvatica.
L'introduzione dello sfalcio sulle parcelle naturali ha incrementato in maniera significativa il valore pastorale. Mentre negli appezzamenti seminati la presenza delle foraggere selezionate ha garantito il raggiungimento immediato di elevati livelli di valore pastorale. In questi plot l'associazione con 1 o 2 tagli annuali ha permesso di toccare i vertici qualitativi della sperimentazione.
I risultati del monitoraggio quinquennale forniscono preziose indicazioni ecologiche ed agronomiche sui meccanismi che regolano il ripristino e la conservazione a lungo termine delle praterie montane.

La combinazione tra aratura profonda e semina di un miscuglio foraggero si è rivelata la strategia più rapida ed incisiva per invertire lo stato di degrado causato da *Pteridium aquilinum.* L'azione meccanica dell'aratura svolge un doppio ruolo determinante: da un lato estirpa e frammenta l'intricata rete di rizomi sotterranei della felce, impoverendone drammaticamente la biomassa ipogea; dall'altro crea un letto di semina ideale privo di competizione iniziale. L'insediamento tempestivo delle graminacee e leguminose foraggere (specie a rapido accrescimento ed elevata copertura) satura la nicchia ecologica, impedendo ai frammenti di rizoma superstiti di riaffermare l'egemonia della felce.
È stata inoltre dimostrata l'elevata validità dello sfalcio meccanico: il taglio delle fronde agisce direttamente sul bilancio energetico della felce. Eseguire lo sfalcio a luglio, quando la pianta ha completato lo spiegamento delle fronde attingendo al massimo carico di carboidrati stoccati nei rizomi ma non ha ancora iniziato la fase di traslocazione descendente verso gli organi ipogei, infligge un severo stress fisiologico alla specie. L'asportazione della biomassa fotosintetizzante costringe la felce a spendere ulteriori riserve per riemettere nuovi germogli. Il mantenimento di un mosaico vegetazionale aperto attraverso lo sfalcio periodico impedisce l'omogeneizzazione del paesaggio, incrementa la ricchezza floristica locale e supporta la biodiversità di molteplici gruppi animali (Cervasio et al. 2016).
In conclusione: laddove la giacitura del terreno, la stabilità del suolo e la normativa del parco lo consentano, **la strategia d'elezione per un rapido recupero consiste nell'aratura superficiale o medio-profonda (30 cm) eseguita all'inizio della primavera, seguita dalla semina di un miscuglio polifito composto da graminacee e leguminose foraggere adatte al piano montano.** Nel momento in cui le lavorazioni meccaniche del suolo non siano realizzabili, si raccomanda l'adozione di un piano di sfalcio costante applicando 1 taglio all'anno a inizio luglio.
La sospensione delle pratiche di manutenzione determina la rapida ricolonizzazione da parte di *Pteridium aquilinum* e il conseguente decadimento qualitativo del pascolo. È pertanto necessaria una pianificazione continua degli interventi di manutenzione.

3.4 Confronto tra i principali trattamenti, efficacia e criticità: una sintesi

Nella tabella di seguito presentata vengono riportati i principali trattamenti descritti nel presente capitolo e l'efficacia basata su una serie di parametri: copertura e densità di *Pteridium aquilinum*, lettiera e massa dei rizomi e sulla biodiversità/ricchezza specifica.

Trattamento	densità Pteridium	lettiera e massa rizomi	biodiversità/ric	efficacia complessiva	criticità	Letteratura	Paese
Doppio taglio annuale	elevata	indiretto	elevata	Elevata nel lungo periodo	costi	UK Stewart et al. 2008; UK /	UK; IT
Taglio singolo annuale	medio-elevata	indiretto	elevata	efficace nel breve periodo e su terren	costi più contenuti rispetto al doppio taglio	UK Stewart et al. 2008; UK /	UK; IT
Aratura - erpicatura+semina	elevata	elevata	elevata	Elevata	disturbo del suolo, provenienza e qualità semi	Argenti et al. 2012; Cervasi	IT
Erpicatura+semina	moderata	bassa	medio-elevata	Moderata	provenienza e qualità semi	Argenti et al. 2012; Cervasi	IT
Trattamento erbicita singola	elevata iniziale	indiretto	medio-elevata	elevata nel primo periodo	non applicabile in aree protette	UK Stewart et al. 2008; UK /	UK
Taglio +irrorazione erbicita	elevata iniziale	indiretto	elevata	elevata nel primo periodo	non applicabile in aree protette	UK Stewart et al. 2008; UK /	UK

Considerando efficacia e criticità di ciascun trattamento si può valutare che:

- il trattamento di **due tagli all'anno** risulta **complessivamente quello più efficace** nel lungo periodo anche in diversi siti con diverse caratteristiche ambientali e vegetazionali. Le principali criticità sono i costi di gestione;
- **Aratura+ erpicatura+semina** risulta particolarmente efficace nella gestione della lettiera con elevato recupero della biodiversità, tuttavia presenta la forte criticità per il disturbo al suolo;
- **Taglio annuale+irrorazione erbicida (*Asulum*)**– efficacia iniziale sulla copertura e densità della felce ma non nel lungo periodo. Trattamento non applicabile in aree protette.

Si rileva inoltre che nessun trattamento può essere considerato risolutivo: la sospensione dei trattamenti determina inesorabilmente la rapida ricolonizzazione da parte di *Pteridium aquilinum* e il conseguente decadimento qualitativo del pascolo.

3.5 Strategie di ripristino ecosistemico a livello globale

Gli studi scientifici disponibili in letteratura sulle strategie di contenimento di *Pteridium aquilinum* a livello globale sono molto numerosi e riguardano principalmente il recupero della vegetazione forestale in aree degradate o percorse da eventi estremi e principalmente in ambito tropicale (es. Carvalho et al. 2019).

3.5.1 *Recupero post-incendio di un'area della Foresta Atlantica invasa da Pteridium aquilinum*

Carvalho et al. (2019) dimostra che per il ripristino della vegetazione forestale in aree invase da *Pteridium aquilinum* in seguito all'incendio, la sola applicazione di interventi meccanici (es. falciatura o erpicatura) si rivela efficace solo nel breve periodo, ma non impedisce la

ricolonizzazione da parte della felce. È pertanto necessario integrare il controllo meccanico con modelli di riforestazione (piantumazione di specie arboree autoctone) che sfruttino i principi della successione ecologica per ombreggiare il suolo e inibire permanentemente la specie invasiva.

L'indagine sperimentale condotta da Carvalho et al. (2019) è stata effettuata all'interno della Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Fartura, ubicata nel comune di Capelinha, nella regione nord-orientale dello Stato di Minas Gerais in Brasile. Nel 2011 l'area è stata colpita da un incendio che ha distrutto la copertura vegetale preesistente, creando le condizioni ideali per la colonizzazione e la dominanza da parte di *Pteridium aquilinum*. L'esperimento è stato avviato nel marzo del 2015. Prima dell'avvio dell'esperimento, l'area è stata ripulita mediante sfalcio o raccolta, a seconda del trattamento previsto. Per la messa a dimora delle piantine sono state scavate buche di 30x30x30cm e concimate con 150g di perfosfato semplice. L'esperimento è stato condotto con un disegno a blocchi randomizzati, in una disposizione fattoriale 2x3x2+2 (piantumazione x densità di piantumazione x modalità di rimozione del *Pteridium aquilinum* + 2 trattamenti aggiuntivi) in cui sono stati testati due modelli di piantumazione: il primo con specie a crescita rapida e un altro con una miscela di specie a crescita rapida e lenta. Entrambi combinati con tre densità di piantumazione (2000 piantine/ha, 3000 piantine/ha, 4000 piantine/ha) e due tipi di rimozione meccanica della felce: uno mediante sfalciatura e l'altro tramite erpicatura. Ogni blocco conteneva 12 parcelle da 10 x 10m (dove venivano piantumate 350 piantine per blocco, per un totale di 1050 su tutto l'esperimento).

Le variabili chiave monitorate a 3,6 e 9 mesi dall'impianto sono state: la copertura di *Pteridium aquilinum* e la sopravvivenza delle piantine.

L'analisi della varianza ha rivelato una differenza statisticamente significativa per la copertura di *P.aquilinum* in funzione del metodo di rimozione meccanica. I trattamenti sottoposti ad erpicatura hanno mostrato costantemente i livelli di copertura più bassi durante tutto il periodo di osservazione. Si è inoltre osservata un'interazione con l'andamento pluviometrico: nel mese di aprile, a seguito di un incremento delle precipitazioni, la copertura di *P. aquilinum* nelle parcelle falciate è aumentata notevolmente, in quanto la disponibilità idrica ha interrotto la dormienza delle gemme apicali dei rizomi. Nei periodi di siccità (es. maggio), la felce ha invece ridotto la propria copertura attraverso il disseccamento delle fronde, una risposta fisiologica volta a ridurre le perdite d'acqua per evapotraspirazione.

A nove mesi dall'impianto il tasso di sopravvivenza è stato pari al 76,55% (803 piantine vive su 1050). In letteratura valori superiori al 75% nelle piantumazioni di ripristino su aree

degradate sono considerati eccellenti. I valori massimi di sopravvivenza sono stati registrati nei trattamenti caratterizzati da piantumazione mista, erpicatura e densità elevate (3000 e 4000 piantine/ha).

L'adozione di un modello di piantumazione mista ad alta densità associato all'erpicatura riduce la concorrenza di *P. aquilinum* mediante due meccanismi sinergici: l'erpicatura riduce il potenziale rigenerativo rizomatoso, mentre l'elevata densità di piantumazione velocizza la chiusura delle chiome arboree, privando la felce della radiazione luminosa indispensabile per la sua sopravvivenza a lungo termine.

Nel complesso, grazie alle sperimentazioni eseguite da Carvalho et al. (2019) si traggono le seguenti conclusioni: l'erpicatura si dimostra nettamente più efficace rispetto alla falciatura poiché frammenta la rete rizomatosa ipogea e riduce drasticamente la capacità competitiva e vegetativa della specie; le strategie di riforestazione più adatte sono quelle miste e con elevata densità; nella fase iniziale è fondamentale incorporare specie tolleranti all'ombra (per via della competizione da parte della felce che potrebbe sfavorire l'insediamento di altre specie eliofile); gli interventi meccanici devono necessariamente essere integrati con la piantumazione di specie arboree autoctone per favorire la successione forestale e prevenire la ricolonizzazione dell'area da parte di *Pteridium aquilinum*.

CONCLUSIONI

La comprensione approfondita dell'ecologia, della biologia e della dinamica vegetazionale delle specie problematiche e invasive rappresenta il presupposto imprescindibile per la progettazione e l'attuazione di qualsiasi piano di gestione e conservazione degli ecosistemi sensibili. Il presente lavoro di tesi ha analizzato il caso di *Pteridium aquilinum*, una specie fortemente invasiva, la cui espansione rappresenta oggi una delle principali minacce per il mantenimento della biodiversità negli habitat di prateria in Europa. Attraverso un'attenta revisione bibliografica, sono stati presi in esame 15 articoli scientifici indicizzati e 18 link/fonti di sitografia ufficiale. Questo corpus bibliografico ha consentito di delinearne in modo completo il profilo ecologico, gli impatti ambientali e le strategie di contenimento sperimentate sia a livello internazionale sia nazionale. Dalla sintesi degli aspetti ecologici e dinamici è emerso come *Pteridium aquilinum* trovi la sua collocazione fitosociologica nella vegetazione erbacea ecotonale di orlo eliofilo. In seguito al progressivo abbandono delle tradizionali attività agro-silvo-pastorali, la felce agisce infatti da apripista nella successione vegetazionale progressiva colonizzando le praterie per invasione dinamica. Grazie al suo apparato rizomatoso sotterraneo altamente resistente e plastico, a meccanismi di competizione per la luce (ombreggiamento) e al rilascio di sostanze allelopatiche, *P. aquilinum* forma popolamenti monospecifici estremamente densi. Tali formazioni possono anche rimanere stabili nel tempo in quanto, con l'accumulo di spessi strati di lettiera che inibiscono germinazione e l'insediamento delle specie forestali e preforestali, viene di fatto bloccata o alterata la naturale dinamica progressiva verso stadi più maturi. La maggior parte degli studi pubblicati sugli effetti della felce negli ecosistemi prativi hanno riguardato la tossicità della pianta per gli animali al pascolo mentre rari sono quelli sulla diversità floristica. Tuttavia sono state evidenziate due principali criticità: da un lato la drastica riduzione della ricchezza floristica e la perdita degli habitat di prateria secondaria; dall'altro i gravi rischi per la salute degli animali al pascolo e indirettamente per quella umana legati alla presenza di principi tossici e cancerogeni. Sul fronte del contenimento della specie sono state riportate le principali strategie utilizzate in Europa evidenziandone efficacia e criticità anche attraverso il confronto. Le evidenze scientifiche raccolte principalmente nel Regno Unito dimostrano che nel lungo

periodo lo sfalcio periodico (due volte l'anno) rappresenta il trattamento più efficace anche in diversi siti con diverse caratteristiche ambientali e vegetazionali. Sebbene sia un trattamento a basso impatto ambientale rispetto a quelli chimici (Asulum) e agronomici (aratura) comporta elevati costi di gestione. Nessun trattamento tuttavia può essere considerato risolutivo: la sospensione della gestione determina inesorabilmente la rapida ricolonizzazione da parte di *Pteridium aquilinum* e il conseguente decadimento qualitativo del pascolo.

Infine, emerge con forza una critica lacuna conoscitiva riguardante il contesto nazionale. Nonostante l'invasione di *Pteridium aquilinum* sia riconosciuta come una delle principali pressioni e minacce sul mantenimento degli habitat di prateria in Italia, gli studi sperimentali pubblicati per il territorio nazionale sono estremamente scarsi e limitati a soli due lavori condotti nell'Appennino settentrionale (Argenti et al., 2012; Cervasio et al., 2016). Tale disparità tra la gravità del problema e la disponibilità di dati scientifici standardizzati evidenzia l'urgente necessità di promuovere e finanziare nuove ricerche sperimentali a lungo termine volte a calibrare protocolli di gestione sostenibile adatti alle realtà delle nostre aree protette e dei pascoli montani.

BIBLIOGRAFIA

- Akpınar, I., Alday, J. G., Cox, E., McAllister, H. A., Le Duc, M. G., Pakeman, R. J., & Marrs, R. H. (2023). How long do bracken (Pteridium aquilinum (L.) Kuhn) control treatments maintain their effectiveness? Ecological Engineering, 186, Article 106842.
- Argenti, G., Cervasio, F., & Ponzetta, M. P. (2012). Control of bracken (Pteridium aquilinum) and feeding preferences in pastures grazed by wild ungulates in an area of the Northern Apennines (Italy). Italian Journal of Animal Science, 11(4). https://doi.org/10.4081/ijas.2012.e62
- Biondi, E., Allegrezza, M., Casavecchia, S., Galdenzi, D., Gasparri, R., Pesaresi, S., Vagge, I., & Blasi, C. (2014). New and validated syntaxa for the checklist of Italian vegetation. Plant Biosystems, 148(2), 318–332.
- Biondi E., Allegrezza M., Casavecchia S., Galdenzi D., Gasparri R., Pesaresi S., et al., 2015b. New insight on Mediterranean and sub-Mediterranean syntaxa included in the Vegetation Prodrome of Italy. Flora Mediterranea 25: 77-102
- Carvalho, T. F., Pereira, I. M., Botelho, S. A., Titon, M., & José, A. C. (2019). Restoration strategies in an area invaded by Pteridium aquilinum (L.) Kuhn [Strategie di ripristino in un'area invasa da Pteridium aquilinum (L.) Kuhn]. Floresta e Ambiente, 26(2), e20171146
- Cervasio F, Argenti G, Genghini M, Ponzetta MP (2016). Metodi agronomici per il ripristino dell'habitat dei pascoli montani a fini faunistici in un'area protetta dell'Appennino settentrionale (Italia). iForest 9: 490-496. - doi: 10.3832/ifor1515-008
- Den Ouden, J. (2000) The role of bracken {Pteridium aquilinum) in forest dynamics. PhD. thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. ISBN 90-5808-288-1; 218 pp.
- Kato-Noguchi, H.; Kato, M. Pteridium aquilinum (L.) Kuhn—A Review of Its Toxicology, Pharmacology, and Phytochemistry. Plants 2026, 15, 469.
- Malík M, Mika OJ, Navrátilová Z, Killi UK, Tlustoš P, Patočka J. Health and Environmental Hazards of the Toxic Pteridium aquilinum (L.) Kuhn (Bracken Fern).

Plants (Basel). 2023 Dec 20;13(1):18. doi: 10.3390/plants13010018. PMID: 38202326; PMCID: PMC10780724

- MARRS, R.H. and WATT, A.S. (2006), Biological Flora of the British Isles: Pteridium aquilinum (L.) Kuhn. Journal of Ecology, 94: 1272-1321.
- Peregrym M, Turisová I, Turis P. 2024. A new insight on the genus Pteridium (Dennstaedtiaceae) in Europe based on a revision in the flora of Slovakia. Bot Stud. 14;65(1):24. doi: 10.1186/s40529-024-00423-1
- Pignatti S., Menegoni P., Pietrosanti S. (2005). Bioindicazione attraverso le piante vascolari. Valori di indicazione secondo Ellenberg (Zeigerwerte) per le specie della Flora d'Italia. Braun-Blanquetia, 39: 1-97.
- Scotton, M., Pecile, A., Franchi, R., 2012. I tipi di prati permanenti del Trentino: tipologia agroecologica della praticoltura con finalità zootecniche, paesaggistiche e ambientali. Fondazione Edmund Mach.
- Stewart G, Cox E, Le Duc M, Pakeman R, Pullin A, Marrs R. Control of Pteridium aquilinum: meta-analysis of a multi-site study in the UK. Ann Bot. 2008 May;101(7):957-70. doi: 10.1093/aob/mcn020. Epub 2008 Mar 12. PMID: 18337356; PMCID: PMC2710229.
- Vannucchi F., Lazzeri V., Rosellini I., Scatena M., Caudai C., Francesca Bretzel. 2022. Short-Term Abandonment versus Mowing in a Mediterranean-Temperate Meadow: Effects on Floristic Composition, Plant Functionality, and Soil Properties—A Case Study. Agriculture 12 (1): 78.

SITOGRAFIA

- https://www.coldiretti.it/economia/desertificazione-in-50-anni-scomparsi-24-milioni-di-ettari-di-pascoli
- https://www.agrinewsitalia.it/articolo.asp?id=897&art=AVANZANO-BOSCHI-E-FORESTE:-SUPERANO-LA-SUPERFICIE-AGRICOLA-E-CAMBIANO-IL-VOLTO-DELLE-AREE-RURALI
- https://www.actaplantarum.org/forum/viewtopic.php?f=95&t=8253
- https://dryades.units.it/ampezzosauris/index.php?procedure=taxon_page&id=68&num=3702
- https://www.ruralpini.it/Felce_aquilina.html
- https://www.inclimona.it/fitosociologia/
- http://www.fungoceva.it/erbe_ceb/Pteridium_aquilinum%20.htm
- https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12899388/#sec3-plants-15-00469
- https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10780724/#abstract1
- https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01177
- https://www.prodromo-vegetazione-italia.org/
- https://doi.org/10.3390/plants15030469
- https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2710229/
- https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106842
- https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4081/ijas.2012.e62
- https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1590/2179-8087.114617
- https://iforest.sisef.org/abstract/?id=ifor1515-008
- https://www.mase.gov.it/portale/documenti-di-riferimento-per-l-individuazione-di-obiettivi-e-misure-di-conservazione

RINGRAZIAMENTI

Per prima vorrei ringraziare Chiara, senza di te non avrei mai concluso questo percorso di studi. Sei stata fondamentale, mi hai sempre sostenuto e incoraggiato nonostante le difficoltà e la distanza. Hai creduto in me e ora voglio dedicarti questa tesi.
Ringrazio inoltre la professoressa Marina Allegrezza che con pazienza e professionalità mi ha guidato nel compiere quest'ultimo passo. Sempre disponibile e cordiale, pronta ad aiutarmi giorno dopo giorno con passione e competenza.
Infine vorrei ringraziare la mia famiglia, la famiglia Casini, tutti i miei amici e colleghi per esser stati parte attiva di questo percorso e per averlo reso unico.