



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

Corso di Laurea in
Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del Territorio Montano

**ANALISI DELLA STRATEGIA FUNZIONALE DI
DIECI SPECIE ARBOREE DELLE ALPI IN
RELAZIONE ALLA STAGIONALITÀ**

Relatore: Dott. Luca Giupponi

Correlatore: Prof.ssa Annamaria Giorgi

Elaborato finale di:

PAOLA SALVI

Matricola: 969917

Anno Accademico 2022/2023

Riassunto

Questo elaborato è il risultato dell'attività di tirocinio, svolto nel periodo da maggio a ottobre 2023, presso il comune di Edolo, in val Camonica (Brescia), dove sono stati raccolti i campioni fogliari di dieci specie di latifoglie caducifoglie, a cadenza mensile, al fine di analizzarne la strategia CSR. Secondo questa classificazione, elaborata da Grime negli anni Settanta, le specie vegetali, in base ai fattori esterni di stress e di disturbo e alla loro intensità, si sono adattate nel tempo, mettendo in atto determinate strategie funzionali, riassumibili in tre macrocategorie. È stato dunque possibile suddividere gli individui vegetali in: competitivi (C), stress tolleranti (S) e ruderali (R). Tuttavia, questa divisione non è netta, ma spesso le specie adottano strategie funzionali intermedie.

Utilizzando il metodo proposto da Pierce et al. (2017), è stato possibile attribuire ad ogni specie vegetale la relativa strategia CSR partendo dalla misurazione di tre semplici parametri fogliari: LAI (*Leaf Area Index*), LFW (*Leaf Fresh Weight*) e LDW (*Leaf Dry Weight*). Successivamente, i dati raccolti sono stati inseriti in un foglio di calcolo, che permette, attraverso l'utilizzo di alcuni algoritmi, di identificare la strategia adottata dalla specie, attribuendo ad ogni componente, C, S e R, un valore percentuale. Lo studio condotto ha evidenziato, per la prima volta, che la strategia funzionale CSR di alcune delle dieci specie oggetto di studio può variare sensibilmente in base al mese in cui si effettua il campionamento fogliare e in base al contenuto di clorofilla delle foglie. A seguito dei dati ottenuti è stato possibile proporre il periodo/mese migliore in cui analizzare la strategia CSR delle latifoglie caducifoglie (mese di luglio), dunque implementare il metodo di analisi CSR.

In particolare, per attribuire una strategia funzionale il più corretta possibile, serve che le foglie abbiano tessuti maturi, dunque né troppo giovani, e con poca clorofilla (in cui il valore di R potrebbe essere sovrastimato), né troppo senescenti (in cui potrebbe essere sovrastimato il valore di S).

INDICE

1.	PREMESSA.....	5
2.	INTRODUZIONE.....	6
2.1	L'ECOLOGIA VEGETALE.....	6
2.2	LA CLASSIFICAZIONE DELLE PIANTE SECONDO LA STRATEGIA CSR	7
2.2.1	CARATTERISTICHE DELLE SPECIE COMPETITRICI.....	9
2.2.2	CARATTERISTICHE DELLE SPECIE STRESS TOLLERANTI	10
2.2.3	CARATTERISTICHE DELLE SPECIE RUDERALI.....	11
2.3	METODI PER VALUTARE LA STRATEGIA CSR DELLE PIANTE.....	13
3.	SCOPO DELLA RICERCA.....	15
4.	MATERIALI E METODI.....	16
4.1	SPECIE VEGETALI OGGETTO DI STUDIO.....	16
4.1.1	CILIEGIO SELVATICO	16
4.1.2	BETULLA PENDULA.....	17
4.1.3	SALICONE.....	18
4.1.4	FRASSINO MAGGIORE	19
4.1.5	FAGGIO.....	20
4.1.6	MAGGIOCIONDOLO ALPINO.....	21
4.1.7	NOCCIOLO	22
4.1.8	ACERO MONTANO	23
4.1.9	PIOPPO TREMULO.....	24
4.1.10	CASTAGNO.....	25
4.2	VALUTAZIONE DELLA STRATEGIA CSR.....	26
4.2.1	IL CAMPIONAMENTO DELLE FOGLIE	26
4.2.2	MISURAZIONE DEI PARAMETRI FOGLIARI: CONTENUTO DI CLOROFILLA, LA, LFW E LDW	26
5.	RISULTATI	29
5.1.1	CILIEGIO SELVATICO	29
5.1.2	BETULLA PENDULA.....	31
5.1.3	SALICONE.....	33
5.1.4	FRASSINO MAGGIORE	35
5.1.5	FAGGIO.....	37
5.1.6	MAGGIOCIONDOLO ALPINO.....	39
5.1.7	ACERO DI MONTE.....	41
5.1.8	NOCCIOLO	43
5.1.9	PIOPPO TREMULO.....	45
5.1.10	CASTAGNO.....	47

5.2	CONCENTRAZIONE DI CLOROFILLA	49
5.3	RELAZIONE TRA LA CONCENTRAZIONE DI CLOROFILLA VS R	51
5.1	RELAZIONE TRA LA CONCENTRAZIONE DI CLOROFILLA VS S.....	53
5.1	RELAZIONE TRA LA CONCENTRAZIONE DI CLOROFILLA VS C	55
6.	DUSCUSSIONE DEI RISULTATI	57
7.	CONCLUSIONI.....	63
8.	BIBLIOGRAFIA.....	64
9.	RINGRAZIAMENTI.....	67

1. PREMESSA

Questo elaborato è frutto dell'attività di tirocinio, svolto da maggio 2023 a ottobre 2023, a Edolo (provincia di Brescia, Lombardia), a compimento del corso di laurea in *Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del Territorio Montano* presso il Polo UNIMONT dell'Università degli Studi di Milano.

Il principale obiettivo del tirocinio è stato analizzare come dieci specie di latifoglie arboree possano variare la propria strategia funzionale CSR, al progredire della stagione vegetativa.

Fine ultimo della ricerca è quello di incrementare le conoscenze sulla strategia delle specie oggetto di studio, e su come essa possa variare al trascorrere con la stagionalità, aspetto, finora, non ancora investigato. Inoltre, le informazioni derivanti da questo studio potrebbero contribuire a migliorare le modalità di gestione e conservazione di queste importanti specie alpine.

2. INTRODUZIONE

2.1 L'ecologia vegetale

L'ecologia vegetale è quella branca della botanica che studia la risposta delle piante all'ambiente in cui vivono. L'ambiente si definisce come il mezzo sul quale si esplicano i fenomeni vitali; dunque, consta di un mezzo (abiotico) e della vita, che su questo è inserita (Pignatti, 1955). Il mezzo abiotico è la risultante dei fattori climatici e del substrato, mentre la componente biotica comprende tutto ciò che riguarda la vita, intesa come quel particolare stato di movimento della materia, tale da permettere al sistema vivente di sfuggire al decadimento verso stati di equilibrio. L'ecologia si occupa dei rapporti che intercorrono tra il mezzo abiotico e la vita, che nel caso dell'ecologia vegetale è rappresentata dagli organismi vegetali.

L'ecologia ha come campo d'indagine l'ecosistema, che nel caso dell'ecologia vegetale corrisponde alla componente vegetale. Si tratta di un concetto astratto che permette di evidenziare i rapporti reticolati che nell'ambiente mettono in relazione la vita e il mezzo che la circonda (Pignatti, 1995). L'ecosistema è un sistema complesso, dal momento che non è la mera somma delle sue componenti, ma bisogna tenere conto anche delle interazioni tra i singoli elementi. Inoltre, bisogna considerare che molti ecosistemi sono più o meno influenzati dall'attività antropica, oppure sono condizionati da questa, poiché anche l'essere umano è una specie che vive all'interno dell'ecosistema e ha la capacità di condizionare l'ambiente in cui abita.

Questa disciplina è diventata di particolare importanza con l'acuirsi della crisi climatica poiché la ricerca in questo campo può aiutare a comprendere meglio il mondo in cui viviamo e a trovare delle risposte alle problematiche ambientali, grande incognita di questo secolo. Lo scopo principale di questa disciplina è approfondire le conoscenze sull'ambiente, e trovare delle formulazioni teoriche necessarie a comprenderne le problematiche, che successivamente trovano un'applicazione pratica, sul campo. Essendo un ramo della scienza da pochi anni oggetto di studio, le teorie proposte in questo campo sono soggette a continui aggiornamenti e hanno lo scopo di ricondurre la complessità del regno vegetale a schemi generali.

Uno dei tanti scopi dell'ecologia vegetale è la previsione della distribuzione della vegetazione in un determinato areale. Questo è importante perché permette all'uomo di

pianificare gli interventi di gestione degli habitat rispettando al meglio l'ecosistema nel suo complesso, preservandone l'equilibrio.

Per prevedere la distribuzione delle varie specie vegetali sul nostro pianeta, sono stati elaborati diversi modelli basati sulla morfologia in relazione al clima, come la classificazione di Raunkiaer (1934), successivamente rivista da Holdridge (1947), Hallè e Oldeman (1975) e Box (1981, 1996), i quali hanno proposto dei modelli incentrati sulla struttura, la fenologia e la forma delle foglie. Pur essendo un valido parametro, la struttura da sola non basta come criterio di classificazione dal momento che non tiene in considerazione l'ecosistema nel suo insieme.

A tal proposito, a partire dagli anni Settanta, John Philip Grime, docente di ecologia vegetale presso l'Università di Sheffield, creò un modello di classificazione per le piante partendo non dall'architettura di queste, ma dai fattori esterni, quali la composizione e la disponibilità di nutrienti nel suolo, l'esposizione alla radiazione solare, la presenza di altri individui con i quali competere e la presenza di acqua; ipotizzando che questi potessero influire sul tipo di vegetazione presente in un determinato areale (Grime, 1974) (Grime, 1977).

2.2 La classificazione delle piante secondo la strategia CSR

Grime inizialmente si concentrò su due tipologie di fattori esterni che influenzano la fisiologia della pianta: lo stress e il disturbo. Il primo comprende tutti quei fenomeni che riducono la capacità fotosintetica della pianta, come carenze di luce, acqua e minerali, oppure temperature non ottimali per la fisiologia della pianta; il secondo implica la distruzione, parziale o totale, della biomassa dovuta all'attività umana, al pascolamento o ai patogeni, ma anche a danni causati dal vento, dal gelo, dalla siccità, dall'erosione del suolo e dagli incendi (Grime, 2001).

L'intensità dello stress e dei disturbi varia molto se si considerano tutti gli habitat presenti sulla superficie terrestre, per questo motivo Grime individuò una correlazione tra l'intensità del disturbo e la produttività delle piante, andando ad individuare quattro possibili combinazioni (*Tabella 1*). Vengono dunque distinte le specie competitive, che sfruttano condizioni di basso stress e basso disturbo; le specie stress-tolleranti, che sopportano alti livelli di stress, ma bassi livelli di disturbo; e infine le specie ruderali,

che tollerano bassi livelli di stress e alti di disturbo. In habitat sottoposti a disturbi e stress troppo frequenti, o di intensità troppo elevata, non esiste alcuna strategia applicabile dagli organismi vegetali.

INTENSITA' DEL DISTRUBO	PRODUTTIVITA'	
	Alta	Bassa
Bassa	<i>Competitive (C)</i>	<i>Stress-tolleranti (S)</i>
Alta	<i>Ruderali (R)</i>	<i>Nessuna strategia possibile</i>

Tabella 1- modello suggerito per l'evoluzione delle tre strategie nelle piante. Fonte: Grime (1977)

Nel 1967 Edward Osborne Wilson e Robert MacArthur proposero un modello basato su due tipi di strategie di sopravvivenza: *r*, che caratterizza specie pioniere a rapido accrescimento e riproduzione; e *k*, che contraddistingue specie degli stadi maturi, a crescita lenta, longeve e competitive (Grime, 2001).

Grime propose una classificazione che univa, da un lato il modello *r* e *k* proposto da Wilson e MacArthur, che prendeva in considerazione le caratteristiche di accrescimento e riproduzione delle piante; e dall'altro i fattori ambientali che caratterizzano l'habitat delle diverse specie vegetali, evidenziando la correlazione tra strategia CSR e strategia *r-k* (Figura 1).

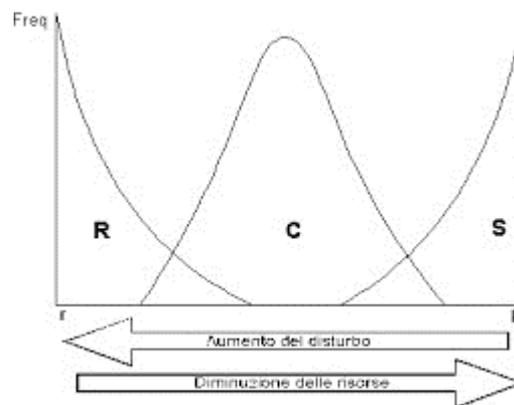


Figura 1- Frequenza delle categorie CSR sull'asse *r-k*. Fonte: Grime, 1977

In particolare, Grime definì “compromesso” quel dilemma evolutivo per cui le modificazioni genetiche, in determinate condizioni ambientali, incrementano le

possibilità di sopravvivenza delle specie, mentre le compromettono qualora i fattori esterni siano sfavorevoli a tali caratteristiche. I compromessi più significativi interessano la crescita, la riproduzione, le modalità di acquisizione e stoccaggio delle risorse e le modalità di difesa da agenti di disturbo. Le varie tipologie di compromessi vanno a definire le singole strategie C, S e R (Grime, 2001).

2.2.1 Caratteristiche delle specie competitive

La competizione viene definita come la tendenza delle piante vicine ad utilizzare le stesse risorse di luce, ioni minerali, molecole di acqua e volume di spazio (Grime, 1977).

Partendo da questo presupposto, le specie vegetali che adottano questo tipo di strategia sono tipiche di ambienti poco disturbati e ad alta produttività, in cui la competizione con gli altri individui vegetali rappresenta l'unico fattore di stress. Al fine di vincere la competizione per l'approvvigionamento delle risorse le specie competitive possiedono organi di stoccaggio sotterranei che permettono di accumulare grandi quantità di riserve energetiche, che consentono alla pianta di sviluppare molto rapidamente gli apparati fogliari durante la stagione vegetativa. Oltre a crescere in altezza molto velocemente queste specie hanno anche la capacità di espandersi lateralmente, in modo da avere un'elevata densità di germogli e radici che occupano uno spazio altrimenti conquistato da altri individui. Lo sviluppo di questi attributi dipende soprattutto dal fatto che le specie competitive occupino habitat favorevoli ad un'elevata produttività, quasi indisturbati, che permettono la produzione di molti fotosintetati.

Le piante perenni con tassi di crescita rapida hanno una composizione chimica caratteristica: presentano elevati tassi di azoto e dell'enzima ribulosio-1,5-bisfosfato carbossilasi/ossigenasi (Rubisco), che permettono una maggiore fissazione di carbonio negli organi di stoccaggio della pianta. Inoltre, presentano elevati tassi di fosforo che consentono di velocizzare i processi fotosintetici. La presenza di questi composti conferisce alla foglia spessore e tenacia, per cui, per attribuire ad una specie la strategia C, non solo bisogna considerare un elevato valore di LAI (*Leaf Area Index*), ma anche lo spessore degli organi fogliari, che dunque corrisponderà ad un'elevata percentuale di LDMC (*Leaf Dry Matter Content*).

2.2.2 Caratteristiche delle specie stress tolleranti

Lo stress viene definito come l'insieme dei vincoli esterni che limitano il tasso di produzione di sostanza secca di tutta o parte della vegetazione (Grime, 2001).

L'influenza che lo stress ha nel limitare lo sviluppo della pianta cambia in base alla produttività dell'ambiente: in habitat produttivi lo stress coincide con l'esaurimento delle risorse da parte delle concorrenti. In questo caso gli individui che sviluppano risposte morfogenetiche più velocemente rispetto alle limitazioni delle risorse vincono la competizione; mentre in habitat improduttivi, in cui lo stress è costante, la velocità di accrescimento non previene situazioni di stress, ma le piante mettono in atto adattamenti estremamente vari, al fine di poter sopravvivere.

Negli habitat artico-alpini lo stress è imposto dall'ambiente e corrisponde con le basse temperature, motivo per il quale lo sviluppo vegetativo è limitata alla breve stagione estiva. Condizioni analoghe caratterizzano gli ambienti aridi, dove le piante sfruttano la breve stagione delle piogge per accumulare le risorse idriche.

Una situazione di stress, che non è direttamente collegata alle caratteristiche climatiche, è quella che si riscontra in habitat ombreggiati. In queste condizioni le piante producono meno sostanza secca e destina i fotosintetati nei germogli, a discapito delle radici; sviluppano internodi e piccioli lunghi e le foglie sono ampie e sottili.

Infine, l'ultima situazione di stress a cui devono far fronte le piante è quella causata da carenze di nutrienti e minerali nel suolo. In questi habitat le foglie presentano un basso contenuto di elementi nutritivi minerali associato a una bassa velocità di accrescimento degli apparati vegetali. L'adattamento per la sopravvivenza su suoli sterili ha comportato anche una riduzione della statura e della forma delle foglie. Spesso, in questi habitat, i pochi nutrienti presenti nel suolo arrivano dalla decomposizione di altri organismi vegetali e le piante hanno un periodo limitato per poterli assorbire, dal momento in cui i loro apparati radicali non hanno il tempo di accrescersi al fine di aumentare il tasso di assorbimento, per cui sono avvantaggiate quelle specie i cui apparati radicali rimangono costantemente vitali, anche se inattivi per lunghi periodi di tempo.

Pur appartenendo a famiglie evolutivamente distanti tra di loro, le specie che hanno sviluppato una strategia stress-tollerante possiedono delle caratteristiche comuni: tassi di crescita molto lenti; portamento sempreverde; mantenimento di organi longevi;

sequestro e lento ricambio di carbonio, nutrienti minerali e acqua; fioritura poco frequente e presenza di meccanismi che consentono l'assunzione di risorse in condizioni temporaneamente favorevoli, come per esempio una rapida attivazioni degli stomi nelle clorofille o il rapido accrescimento dell'apparato radicale per le piante grasse.

2.2.3 Caratteristiche delle specie ruderali

La quantità di vegetazione e il rapporto tra materiale vegetale vivo e materiale vegetale morto in qualsiasi habitat dipendono dall'equilibrio che si ottiene tra i processi di produzione e di distruzione (Grime, 2001).

Tra i processi di distruzione oltre alle catastrofi naturali e all'impatto dell'attività umana (aratura, falciatura, calpestio e incendio) bisogna considerare anche gli effetti derivanti dalle fluttuazioni climatiche, dall'azione degli erbivori e dagli agenti patogeni.

Più in generale si definisce disturbo l'insieme dei meccanismi che limitano la biomassa vegetale, provocandone la distruzione parziale o totale. Alcuni disturbi possono colpire solo la biomassa o la necromassa, quali gli attacchi di decompositori o l'azione degli erbivori; altri invece come gli incendi attaccano sia materiale vegetale vivo che morto.

Eventi come la scarsità delle precipitazioni possono provocare situazioni di stress oppure di disturbo; la differenza sta non tanto nell'intensità, quanto nella frequenza con la quale avvengono. In habitat fortemente disturbati né le specie competitive né tantomeno le stress-tolleranti riescono a sopravvivere, ma vengono favorite piante effimere a crescita rapida.

Una caratteristica tipica delle specie ruderali è la capacità di produrre alti tassi di sostanza secca, che facilita il completamento di un ciclo vitale rapido e la produzione di semi. In parecchi casi la fioritura inizia molto precocemente e di conseguenza anche il processo di maturazione dei semi è rapido. Spesso queste specie sono rifiorenti, per cui sullo stesso individuo si possono trovare sia fiori che semi maturi, prodotti in elevate quantità dal momento che tutte le risorse della pianta vengono investite nella fioritura e nella produzione di semente.

Tuttavia, nella maggior parte dei casi, le piante non adottano solamente un tipo di strategia, ma si collocano in situazioni intermedie; possiedono, quindi, caratteristiche comuni a diverse categorie, dal momento che sono cresciute sia in situazioni di stress

che in habitat soggetti a qualche tipo di disturbo. Per questo motivo il metodo CSR può essere rappresentato tramite il diagramma triangolare CRS di Grime (Figura 2), in cui la strategia della specie presa in esame viene descritta da un punto, risultante dall'incrocio tra i valori di stress-tolleranza, competitività e ruderalità. I tre vertici del triangolo delineano caratteristiche puramente competitive, in alto; stress-tolleranti, a destra e ruderali, a sinistra. All'interno del triangolo si possono definire altre quattro aree di rilevante importanza, che corrispondono a quattro tipologie di strategie intermedie: CR (competitive-ruderali), CS (competitive-stress tolleranti), SR (stress tolleranti-ruderali) e CSR (competitive-ruderali-stress tolleranti), appartenenti a individui con caratteristiche comuni a diverse strategie.

Le competitive-ruderali si sono adattate a vivere in ambienti dove lo stress è basso e la competizione è limitata dalla presenza di disturbi. Ne sono un esempio i prati e i pascoli. Le competitive-stress tolleranti vivono in habitat poco disturbati e sottoposti a stress moderato, come i boschi. Le stress tolleranti-ruderali crescono in habitat moderatamente disturbati e improduttivi, come le pareti rocciose. Infine, le piante a strategia CSR sono evolute in ambienti in cui la competizione è limitata da moderate intensità di disturbo e stress (Grime, 2001).

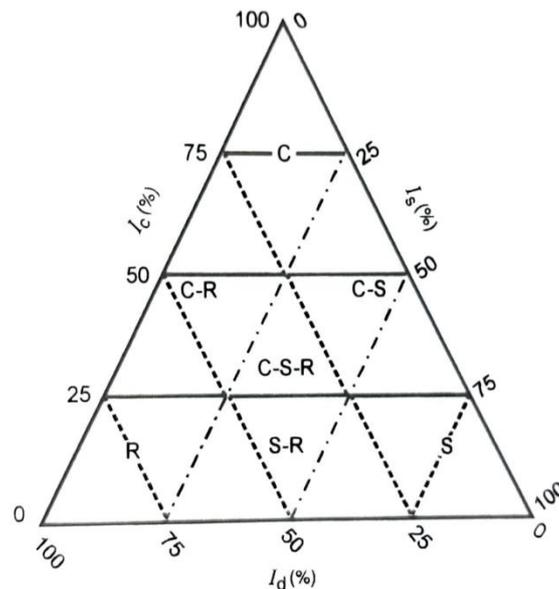


Figura 2 - Rappresentazione del triangolo per la classificazione CSR (Grime, 2002)

2.3 Metodi per valutare la strategia CSR delle piante

Il botanico John Gavin Hodgson nel 1999 era riuscito a catalogare le specie secondo la strategia CSR sulla base di sei parametri: altezza della chioma, contenuto di sostanza secca fogliare, periodo di fioritura, inizio fioritura, peso secco fogliare, area fogliare e area fogliare specifica. Successivamente tracciò dei modelli di regressione che andavano a definire il tipo di strategia CSR adottata.

A partire dal 2013 Simon Pierce propose un nuovo metodo di classificazione CSR per le piante legnose basato sul metodo PCA (*Principal Components Analysis*) di 678 specie arboree. Incrociando i valori di LDMC (*Leaf Dry Matter Content*), SLA (*Specific Leaf Area*) e LAI (*Leaf Area Index*) in un foglio di calcolo (*Figura 3*) è stato possibile attribuire ad ogni specie presa in esame la strategia CSR da esse adottata. Questi valori rappresentano rispettivamente la variazione interspecifica della dimensione della pianta e il rapporto tra le risorse conservate e quelle acquisite (Pierce et al., 2017).

Così facendo è stato possibile catalogare non solo le specie erbacee ma anche le arboree secondo una classificazione CSR, partendo da valori semplici da ricavare quali area fogliare, peso saturo e peso secco.

The screenshot shows the 'StrateFy' Excel spreadsheet. It is divided into several sections: 'data input', 'calculated traits', 'traits for CSR analysis', 'CSR analysis output', and 'for plotting ternary paste values from'. The 'data input' section includes columns for species binomial, family, and notes. The 'calculated traits' section includes columns for LA, LFW, LDW, LSI, LWC, LMA, and LDMC. The 'traits for CSR analysis' section includes columns for LA, LDMC, and SLA. The 'CSR analysis output' section includes columns for C, S, R, and C:S:R. The 'for plotting ternary paste values from' section includes columns for Strategy class, S (%), C (%), R (%), and Ref.

species binomial	family	notes	LA	LFW	LDW	LSI	LWC	LMA	LA	LDMC	SLA	C	S	R	C:S:R	Strategy class	S (%)	C (%)	R (%)	Ref
<i>Mollispermum papposanicum</i> (L.) W. D. J. Koch	Aplacaceae		369615.7	84009.6	21187.8	1.7	74.8	57.3	369615.7	25.2	17.4	83.6	9.9	6.5	84:10:7%	C	9.9	83.6	6.5	21
<i>Kalmia procumbens</i> (L.) D.P. Fernald & Stevens ex Griseb.	Ericaceae		11.8	4.5	1.8	2.3	65.3	151.4	11.8	39.7	6.9	0.0	100.0	0.0	0:100:0%	S	100.0	0.0	0.0	0
<i>Arctostaphylos thymifolia</i> (L.) Hayden	Borragaceae		55.7	13.2	5.5	1.9	89.7	29.4	55.7	13.5	34.1	4.3	0.0	95.7	4:0:96%	R	0.0	4.3	95.7	1
<i>Pteridium equilinum</i> (L.) Kuhn equilinum	Demnstaediaceae		36061.2	6888.0	2480.0	1.3	64.5	68.8	36061.2	35.5	14.5	67.6	25.9	6.5	68:26:6%	C/C/S	25.9	67.6	6.5	17
<i>Pteridium equilinum</i> (L.) Kuhn equilinum	Demnstaediaceae		22391.8	8292.0	2756.0	2.5	66.8	123.1	22391.8	33.2	8.1	69.1	30.9	0.0	69:31:0%	C/C/S	30.9	69.1	0.0	17
<i>Pteridium equilinum</i> (L.) Kuhn equilinum	Demnstaediaceae		30086.1	6888.0	2476.0	1.5	63.9	82.1	30086.1	36.1	12.1	67.2	28.9	3.9	67:29:4%	C/C/S	28.9	67.2	3.9	17
<i>Pteridium equilinum</i> (L.) Kuhn equilinum	Demnstaediaceae		31059.5	9356.0	3292.0	2.0	64.8	105.0	31059.5	35.2	9.4	71.0	29.0	0.0	71:29:0%	C/C/S	29.0	71.0	0.0	17
<i>Pteridium equilinum</i> (L.) Kuhn equilinum	Demnstaediaceae		29895.1	7876.0	2751.0	1.7	65.1	92.0	29895.1	34.9	10.8	69.3	28.7	2.0	69:29:2%	C/C/S	28.7	69.3	2.0	17

Figura 3 - 'StrateFy', Foglio di calcolo per l'individuazione della strategia CSR delle piante vascolari di Pierce et al. (2017); *Funct. Ecol.* 31(2), 444-457) in formato Microsoft Excel.

Tramite questo metodo è possibile catalogare qualsiasi specie vegetale in modo rapido e preciso, l'unica accortezza è scegliere foglie campione che rappresentino i singoli individui all'interno delle popolazioni o delle varie specie che compongono le comunità

vegetali. Inoltre, le foglie da campionare devono essere “ben espanse”, tuttavia non viene indicato un periodo ottimale in relazione alla fase di sviluppo delle piante.

Il metodo classico utilizzato per la classificazione (Hodgson et al., 1999) si basava sull'utilizzo di numerosi tratti funzionali che venivano misurati in campo, o misurati da materiale raccolto sul campo. Grazie a questo nuovo metodo è possibile classificare la strategia adottata sulla misurazione di un numero ristretto di tratti funzionali.

3. SCOPO DELLA RICERCA

Il presente elaborato ha lo scopo di analizzare se e come può variare la strategia CSR di dieci specie arboree presenti nelle aree montane delle Alpi, durante il progredire della stagione vegetativa. In particolare, attraverso la misurazione di determinati parametri fogliari (area fogliare, peso della foglia umida e peso secco), è stato possibile associare ad ogni specie una strategia CSR corrispondente, grazie all'utilizzo di un foglio di calcolo, ideato da Pierce et al. (2017) e monitorare mensilmente (da maggio a ottobre 2023) l'andamento dei parametri C, S e R e il contenuto di clorofilla di ciascuna di esse. Tramite questo studio si intende ampliare le conoscenze relative alla strategia CSR delle specie prese in esame e definire se vi possono essere uno o più periodi ottimali per la valutazione della strategia CSR delle latifoglie caducifoglie. Ragionando in termini di comunità, comprendere le modalità di adattamento delle varie specie permette di prevedere come l'intera comunità vegetale reagisca ai fattori ambientali e alla competizione con le altre specie. Infatti, comprendere quali sono le strategie che meglio rappresentano le specie di un habitat naturale permette di studiare anche come la comunità vegetale nel suo insieme evolva, considerati l'insieme dei fattori di disturbo e di stress che lo caratterizzano e le caratteristiche che si possono associare ad ogni strategia.

4. MATERIALI E METODI

4.1 Specie vegetali oggetto di studio

Di seguito sono presentate e descritte le dieci latifoglie oggetto di studio.

4.1.1 Ciliegio selvatico

Il ciliegio selvatico (*Prunus avium* L.), appartenente alla famiglia delle *Rosaceae*, (Pignatti, 2017) è un albero d'alto fusto a rami eretti, di altezza pari a 15-20 m (30 m al massimo), a fogliame caduco e corteccia liscia recante delle bande orizzontali di lenticelle, che nei rami giovani hanno forma tondeggiante. Le gemme svernanti, ovato-allungate e acuminatae, sono lunghe 3-5 mm, di colore bruno. Le foglie



Figura 4 - *Prunus avium*: foglie, fiore e frutto.
Fonte: floraveg.eu

sono alterne, a picciolo lungo (2-4 cm), recante 2-4 nettarii disposti asimmetricamente nel punto di transizione verso la lamina fogliare. Quest'ultima ha una forma variabile da ovato-allungata a ellittica, con apice rilevato, lunga 7-12 cm e larga la metà. Il margine fogliare è seghettato, la pagina superiore è glabra, mentre quella inferiore è pelosa sui nervi (Hecker, 1988). È una specie a rapido accrescimento, con una forte crescita apicale, ed è uno dei primi alberi a fiorire in primavera, producendo una grande quantità di fiori bianchi ad aprile/maggio, che emette a partire dai 4 anni d'età. I suoi frutti (luglio) sono piccoli e di colore rosso o nero. I semi sono disseminati dagli uccelli, soprattutto piccioni, tordi, storni e ghiandaie e da piccoli mammiferi (Russell, 2003). Raggiunge la maturità intorno ai 60-80 anni e la sua vita termina a 70-100 anni, circa.

Il ciliegio selvatico predilige suoli profondi, leggeri, limosi e fertili, con una buona riserva d'acqua. Può tollerare un'ampia gamma di pH del suolo (5.5-8.5), ma preferisce condizioni leggermente acide. Non cresce bene in siti esposti oppure su siti soggetti a sommersione. Resiste bene al freddo, ma i fiori possono essere danneggiati dalle gelate primaverili. È una specie eliofila, che vive relativamente poco e si può trovare ai margini delle formazioni forestali e nelle radure. È una specie pioniera, che colonizza rapidamente le radure attraverso semi o polloni, costituendo formazioni secondarie,

successivamente sostituite da altre latifoglie. Cresce fino ad un'altitudine massima di 1600 m nei boschi misti di latifoglie, dove non forma mai consorzi puri (Hecker, 1988).

4.1.2 *Betula pendula*

La betulla verrucosa (*Betula pendula* Ehrh.), appartenente alla famiglia delle *Betulaceae* (Pignatti, 2017), è un albero caducifoglio a rami pendenti, alto 10-25 m. Ha la corteccia bianca, con bande allungate di lenticelle. Alla base del fusto presenta una scorza nerastra, con solcature reticolari. I rami più giovani sono ricoperti da fitti peli ghiandolari sessili, che col tempo assumono una colorazione brunastra con lenticelle. Le



Figura 5 – *Betula pendula*: foglie, fiori e frutto.
Fonte: floraveg.eu

gemme svernanti e acuminate hanno un aspetto laccato-lucido. Le foglie, di forma romboidale, sono alterne, lunghe 4-7 cm e larghe 3cm. È una pianta monoica, con fiori disposti in infiorescenze unisessuali. Gli amenti maschili sono riuniti a 1-3 all'apice dei rami dell'anno precedente, si sviluppano fin dall'estate e svernano nudi. Sono lunghi 2,5-3 cm e a maturità sono penduli, lunghi 10 cm. I fiori femminili si trovano all'apice di corti rami fogliosi, posti al di sotto di quelli maschili. A maturità gli amenti pendono e recano piccole noci alate, monosperme, lunghe 3mm e avvolte da un involucri. Fiorisce ad aprile/maggio e i frutti maturano intorno ad agosto/ settembre (Hecker, 1988).

Predilige boschi radi di latifoglie, aghifoglie o misti, in torbiere, brughiere e prati magri, su suoli da aridi a umidi, piuttosto acidi e sabbiosi. È una specie pioniera, che radica a poca profondità, in radure e incolti. È diffusa in tutta Europa (fino a 1900m sulle Alpi), ad eccezione della Scandinavia, dove è diffusa piuttosto la *Betula pubescens*, che meglio resiste alle basse temperature e ai climi più rigidi (Hecker, 1988).

4.1.3 Salicone

Il salicone (*Salix caprea* L.), appartenente alla famiglia delle *Salicaceae* (Pignatti, 2017), è un arbusto o un albero che cresce fino a 10 m, a ramificazione moderatamente densa e fogliame caduco. La corteccia va dal grigio al bruno-nerastro e presenta solchi longitudinali. I rami giovani sono di colore verde-grigiastro, pelosi e in seguito glabrescenti, a sezione circolare e molto flessibili.



Figura 6 – *Salix caprea*: foglie, fiori e frutto.
Fonte: floraveg.eu

Le gemme vanno dal giallo-bruno al marrone, inizialmente pelose e poi glabre, appese ai rami. Le foglie hanno un peduncolo lungo 1-2 cm; la lamina è di forma da ellittico-lanceolata a ovata, lunga 4-12 cm e larga 2-6 cm, da arrotondata a cuoriforme alla base. Il margine fogliare è ondulato, la pagina superiore verde scura, glabra e lucida; quella inferiore è tomentosa e verde-grigia. È una pianta dioica, con fiori riuniti in amenti unisessuali, che si sviluppano molto prima delle foglie e alla caduta delle perule hanno un aspetto vellutato dovuto ai peli delle brattee. Gli amenti maschili sono ovali e lunghi 3 cm. I fiori, che compaiono a marzo/maggio, sono privi di involucro. Gli amenti femminili si allungano fortemente a maturità e presentano un ovario peduncolato, densamente peloso (Hecker, 1988).

Il salicone è una specie diffusa dalla pianura all'alta montagna, ad esclusione delle regioni costiere. Essendo una specie eliofila, pioniera e dal breve ciclo vitale, vive ai bordi delle strade e ai margini dei boschi, nelle radure e negli incolti, ma anche nelle cave di ghiaia. Spesso lo si incontra lungo le sponde dei corsi d'acqua e nelle formazioni di bosco planiziale a legno dolce, in associazione con altre specie di salice. Predilige suoli umidi, ricchi di humus, sabbiosi e ciottolosi, ma anche argillosi. Si insedia sia su terreni basici che acidi (Hecker, 1988).

4.1.4 Frassino maggiore

Il frassino maggiore (*Fraxinus excelsior* L.), appartenente alla famiglia delle *Oleaceae* (Pignatti, 2017), è un albero caducifoglio ad asse principale ben sviluppato, alto 25-40 m, con chioma di forma da ovale a sferica e corteccia grigia ad ampie solcature. I giovani rami sono appiattiti e solcati e la corteccia, inizialmente, è di colore verde oliva, ma con il tempo tende a diventare grigia e compaiono le lenticelle. Le



Figura 7 – *Fraxinus excelsior*: foglie, fiori e frutti. Fonte: floraveg.eu

gemme di svernamento, del diametro di 6 mm, sono tondeggianti e dal tipico colore bruno-nerastro. Le foglie composte sono formate da 4-6 paia di foglioline opposte e imparipennate, e sono lunghe 20-35 cm. Le foglioline sono sessili e solo quelle terminali sono distintamente più piccole delle altre. Ogni fogliolina ha forma lanceolata ed è lunga da 5 a 12 cm e larga 1,5-4,5 cm, con la pagina superiore glabra. I fiori, che iniziano a comparire a maggio, quando l'individuo ha almeno 15-20 anni, sono poco appariscenti, ermafroditi o unisessuali, riuniti in spighe laterali, che si sviluppano prima dell'emissione del fogliame. I fiori maschili hanno due stami, mentre quelli femminili possiedono un ovario e due stami sterili. I frutti, maturi a settembre/ottobre, sono samare, lunghe 2-3,5 cm e larghe 4-6 mm, a forma allungata, alate e marroncine (Hecker, 1988).

Il frassino predilige suoli poco coerenti, ricchi di nutrienti e di basi. Nonostante preferisca suoli con valori di pH superiori a 5.5, tollera anche pH più bassi, fino a 4.5. Resiste molto bene ai ristagni idrici e i ristagni d'acqua stagionali, tanto che presceglie le pianure alluvionate. Crescendo in associazione con altre specie caratteristiche come aceri, tigli e olmi, è anche una specie tipica di pendii e burroni. Sebbene gli adulti siano molto resistenti al freddo, i giovani germogli sono sensibili alle gelate. Il frassino possiede delle caratteristiche intermedie tra quelle tipiche di una specie pioniera e quelle componenti lo stadio terminale. Benché la dispersione e la rinnovazione naturale siano molto efficienti, la competitività della specie è buona solamente quando vengono soddisfatte le esigenze ecologiche. Dopo la ceduzione ha una forte rinnovazione vegetativa (Pliûra e Heuertz, 2003).

4.1.5 Faggio

Il faggio (*Fagus sylvatica* L.), appartenente alla famiglia delle *Fagaceae* (Pignatti, 2017), è un albero caducifoglio, alto 25-30 m, riccamente ramificato e provvisto di corteccia liscia grigio-argentea. In ambiente aperto gli esemplari hanno chioma ampia, con rami diretti verso il terreno; mentre in bosco il tronco è più slanciato e la chioma più stretta. I getti apicali degli esemplari giovani sono inizialmente pendenti, ma, in



Figura 8 – *Fagus sylvatica*: foglie, fiori maschili e frutto. Fonte: floraveg.eu

seguito, assumono un portamento eretto. I rami giovani sono dapprima sottili, ripiegati e pelosi, ma precocemente glabrescenti, di colore marrone-grigio o rosso-bruno, con numerose lenticelle. Le gemme di svernamento sono lunghe 2-3 cm, di colore bruno-argenteo chiaro, lungamente appuntite. Le foglie sono distiche, con un picciolo di 10-15 mm, hanno una lamina sottile, di forma da ovata a ellittica, lunga 5-10 cm e larga 3-7 cm, ad apice ottuso. Inizialmente è tomentosa su entrambe le pagine, a maturità, invece, la pagina superiore è lucida, mentre quella inferiore è provvista di peli lungo i nervi e alle ascelle. Il margine fogliare è ottusamente seghettato. Le infiorescenze, unisessuali, che compaiono ad aprile/maggio, sono disposte sui giovani rami: le infiorescenze maschili, tondeggianti, sono ricche di fiori, hanno un peduncolo lungo fino a 2 cm e sono pendenti; le infiorescenze femminili sono costituite da due soli fiori circondati da un involucre provvisto di un feltro di deboli spine, lignificato a maturità. I frutti, racchiusi nella cupola spinosa, sono lunghi 2 cm e hanno un colore bruno lucido e maturano a settembre/ottobre (Hecker, 1988).

Il faggio, sciafilo in età giovanile, vive su suoli incoerenti, ben drenati, di medio spessore, su substrato sia acido che calcareo. Mal sopporta eccessivi sbalzi di temperatura e prolungati periodi aridi, dunque predilige un clima temperato-umido con inverni non troppo rigidi e assenza di gelate tardive. Dove le precipitazioni cadono al di sotto dei 500mm/anno il faggio non cresce. Nelle pianure e fino a 1600 m forma boschi puri, e la faggeta rappresenta lo stadio terminale dello sviluppo vegetazionale. Oltre questa quota il faggio assume un portamento arbustivo (Hecker, 1988).

4.1.6 Maggiociondolo alpino

Il maggiociondolo alpino (*Laburnum alpinum* Mill.), appartenente alla famiglia delle *Fabacee* (Pignatti, 2017), è un arbusto eretto, rigido, munito di pochi assi principali, alto fino a 7 m, oppure un piccolo albero a corteccia liscia, da verdastra a grigio-bruna, munita di lenticelle grigiastre. Il corpo aereo della pianta è articolato in rami lunghi e rami corti. Il maggiociondolo alpino si distingue dal *Laburnum anagyroides* Medik. per i rametti



Figura 9 – *Laburnum alpinum*: foglia, fiori e frutti. Fonte: floraveg.eu

glabri o poco peloso-sericei, le foglie più acute e per il legume con sutura dorsale espansa in un'ala di 1-2 mm. Le foglie sono decidue e alterne, composte da tre segmenti fogliari appuntiti all'estremità e lungamente picciolate. I fiori compaiono nel periodo di maggio-giugno, sono di colore giallo brillante e riuniti in numerosi racemi pendenti. Il frutto, che arriva a maturazione ad agosto/settembre, è un legume glabro, lungo 3-8 cm e largo 6-8 mm, fortemente appiattito ai lati, ristretto nelle porzioni interposte tra i vari semi ed è munito di un'ala alta 1-2 mm lungo la sutura superiore. I semi, da 6 a 10, sono rotondi o a forma di fagiolo, di colore marrone-cioccolato, piuttosto opaco (Hecker, 1988).

Il maggiociondolo alpino è presente sulle Alpi dai 1000 ai 1.500 metri di altitudine; quindi, cresce a quote più elevate rispetto al *Laburnum anagyroides*, che è non cresce oltre gli 800 m sul livello del mare ed è presente in tutte le regioni d'Italia, ad esclusione delle isole. Riesce a vegetare anche lungo canaloni percorsi da valanghe, grazie all'alta capacità di produrre polloni. È una specie eliofila o di mezz'ombra, mesofila, amante di suoli freschi ma ben drenati, a pH da basico a subacido. Spesso è presente in zone soggette a disturbo, dove, insieme al sorbo, prepara il ritorno alla pecceta (Hecker, 1988).

4.1.7 Nocciolo

Il nocciolo (*Corylus avellana* L.), appartenente alla famiglia delle *Betulaceae* (Pignatti, 2017), è un arbusto eretto a foglie caduche, alto 2-6m, ramificato a partire dalla base. I giovani rami, ripiegati, possiedono peli corti, in parte ghiandolari. La corteccia è marrone-grigia, precocemente glabra, con solcature longitudinali e sparse lenticelle chiare. Le gemme svernanti, ovate, recano pelosità sericea. Le foglie, alterne,



Figura 10 – *Corylus avellana*: foglie, fiori maschili, femminili e frutti. Fonte: floraveg.eu

hanno un picciolo lungo 5-15 mm provvisto di peli ghiandolari; la lamina, di forma da tondeggianti a obovata, è lunga 6-10 cm e quasi altrettanto larga, spesso debolmente trilobata, con base asimmetrica cuoriforme e margine doppiamente seghettato. I fiori sono riuniti in infiorescenze unisessuali, che compaiono a febbraio/aprile e si sviluppano molto prima delle foglie. Gli amenti maschili sono riuniti a 1-4 all'estremità oppure all'ascella delle foglie dei rami dell'anno precedente: si formano sin dalla tarda estate dell'annata precedente e svernano nudi, con lunghezza compresa fra 1,5 e 2 cm. A maturità sono penduli e misurano 8-10 cm. I fiori maschili, provvisti di involucri, hanno 4 stami. I fiori femminili sono immersi nella gemma, eccezion fatta per gli stili filiformi, rossi. I frutti in via di maturazione sono localizzati all'apice di giovani rami fogliosi. Le noci, lunghe 16-18 mm, sono provviste di un ombelico chiaro e avvolte da un involucro sfrangiato (Hecker, 1988).

Spesso forma consorzi in boschi radi di latifoglie, nei mantelli arbustivi ai margini delle foreste, nei boschi igrofilo, nei boschi misti a quercia e faggio e nelle siepi. Vive su suoli profondi, incoerenti, umosi, spesso detritici, ricchi di nutrienti: preferisce ambienti a clima caldo e moderatamente secco in estate (Hecker, 1988).

4.1.8 Acero montano

L'acero montano (*Acer pseudoplatanus* L.), appartenente alla famiglia delle *Sapindaceae* (Pignatti, 2017), è un albero caducifoglio, che può essere alto fino a 30 m, colonnare, con ampia chioma di forma sferico-allungata e corteccia scagliosa da argentea a grigio-bruna. I rami giovani, di color verde-oliva, sono rettilinei, con sparse lenticelle più chiare e corteccia dal rosso-bruno al marrone scuro, un po' lucida. Le gemme di



Figura 11 – *Acer pseudoplatanus*: foglie, fiori e frutti. Fonte: floraveg.eu

svernamento si sviluppano soprattutto nella regione apicale e misurano quasi 10 mm, sono ovali, e avvolte da 8-10 squame verdi, cigliate, con il margine marroncino. Le foglie coriacee, che possono raggiungere i 20 cm sia in lunghezza che in larghezza, sono opposte, con un picciolo di 3-25 cm, rosso sul lato rivolto al sole, inspessito alla base. La lamina è pentalobata, incisa fino a metà e con i due lobi basali più piccoli. La pagina superiore è di colore verde scuro, opaca, glabra; al contrario, la pagina inferiore è molto più chiara, recante una pelosità grigiastra. I lobi presentano una seghettatura a denti ottusi. I fiori si sviluppano insieme alle foglie ad aprile/maggio e sono riuniti in spighe a grappolo pendente. Nella stessa infiorescenza sono contenuti sia fiori ermafroditi che unisessuali. Gli stami nei fiori maschili sono lunghi 2-3 la corolla, mentre nei fiori femminili sono dei semplici rudimenti. I frutti sono glabri, alati, con le due metà formanti un angolo retto o acuto, ciascuna lunga 3,5-4,5 cm e larga fino a 15 mm. A maturità le due porzioni, ormai separate, permangono a lungo sulla pianta madre, fino alla completa maturazione, che avviene a settembre/ottobre (Hecker, 1988). Gli individui isolati sono molto prolifici e possono produrre fino a 170.000 semi all'anno, e vivere fino a 500 anni, mantenendo regolare la produzione di anno in anno (Rusanen e Myking, 2003).

L'acero di monte è una specie sciafila, che vive in boschi di forra, boschi misti a tigli, aceri e faggio, su suolo profondo, ricco di humus e di nutrienti, umido ma ben drenato, fresco e spesso calcareo, anche se talvolta lo si trova su suoli leggermente acidi. Cresce a partire dal piano collinare fino a quello subalpino, e nelle Alpi lo si trova fino a 1650 m (Hecker, 1988). Gli esemplari adulti sono resistenti al gelo e tollerano i venti carichi

di salsedine lungo i litorali. È utile come frangivento, sia in montagna che nelle zone costiere, ed è molto adatto per proteggere i boschi dalle frane, grazie alla sua capacità di guarigione delle ferite (Rusanen e Myking, 2003).

4.1.9 Pioppo tremulo

Il pioppo tremulo (*Populus tremula* L.), appartenente alla famiglia delle *Salicaceae* (Pignatti, 2017), è un albero caducifoglio ad ampia chioma, alto 10-30 m. Il fusto reca inizialmente corteccia grigio-giallastra, liscia e provvista di evidenti lenticelle; poi con l'età essa diviene più spessa, assume un colore grigio-nerastro e presenta solcature longitudinali. I getti giovani sono glabri,



Figura 12 – *Populus tremula*: foglie, fiori e frutti. Fonte: floraveg.eu

lucenti, di colore giallo-bruno e presentano grandi lenticelle. Le gemme svernanti sono lunghe 6-7 mm, appuntite, in genere vischiose. Le foglie, a disposizione alterna, hanno il picciolo lungo 3-7 cm e la lamina di forma ovale o rotondeggiante, lunga all'incirca quanto il picciolo, inizialmente pelosa e poi glabra. La pagina superiore è lucida, quella inferiore opaca. Il margine fogliare è ottusamente dentato. È una pianta dioica, i cui amenti, penduli, sono lunghi 4-10 cm. È priva di un involucreo florale, le brattee hanno colore bruno scuro e forma palmata. I fiori maschili hanno 4-12 stami con antere inizialmente porporine. I fiori femminili hanno ovario brevemente peduncolato e compaiono da marzo/aprile. Il frutto è una capsula a molti semi, che matura a maggio (Hecker, 1988).

Il pioppo tremulo è eliofilo, dunque diffuso nei boschi radi, nelle radure, ai bordi delle strade; mentre sui macereti e nelle cave di ghiaia rappresenta una specie pioniera. Vive in ambienti luminosi, caldi d'estate, su suoli moderatamente ricchi di sali e di basi che possono contenere o meno calcare, in genere anche debolmente acidi. Può formare densi consorzi grazie alla produzione di germogli radicali. Si associa con querce, betulle, con il salicome e con la ginestra dei carbonai. Sulle Alpi lo si può trovare fino a 1800 m (Hecker, 1988).

4.1.10 Castagno

Il castagno (*Castanea sativa* Mill.), appartenente alla famiglia delle *Fagaceae* (Pignatti, 2017), è un albero caducifoglio, alto fino a 30 m, con ampia chioma e corteccia scura, di colore bruno-grigiastro, solcata longitudinalmente. I giovani rami, costolati, sono glabri e hanno colore dal verde-oliva al grigio-bruno, con numerose e piccole lenticelle. Le gemme di svernamento sono ovate, appuntite, lunghe 7-8 mm. Le foglie sono alterne, con picciolo di 2 cm e



Figura 13 – *Castanea sativa*: foglie, fiori e frutti. Fonte: floraveg.eu

lamina lanceolata, lunga 15-30 cm e larga 5-8 cm, acuminata all'apice e ristretta, oppure debolmente cordata alla base. La pagina superiore è di colore verde scuro, lucida; mentre la pagina inferiore verde chiara. Il margine è grossolanamente dentato. I fiori unisessuali, disposti in infiorescenze parziali sferiche, sono riuniti in amenti lunghi da 15 a 20 cm. I fiori, che si formano a giugno/luglio, sono poco evidenti: quelli maschili recano 8-12 stami con lunghi filamenti bianchi, mentre i fiori femminili sono riuniti a 2-3 in infiorescenze parziali, circondate da un involucro che si sviluppa dalla base dell'infiorescenza. In funzione dell'umidità il castagno può essere impollinato dal vento o dagli insetti. Le ridotte dimensioni (14-18 μm) permettono a quantità significative di polline di castagno di essere trasportato fino a 100 km di distanza (Fernández-López e Ricardo Alía, 2003). Il frutto, che arriva a maturazione ad ottobre, è una noce lunga 2-3 cm, liscia, che a gruppi di 2-3 è contenuta in un involucro (Hecker, 1988).

Il castagno vive in boschi misti di latifoglie, preferisce suoli silicei, decalcificati, ma ricchi di sali e basi, profondi e in generale sabbiosi o al più limosi. Predilige precipitazioni medie annue superiori a 600 mm, senza stagione secca oppure una stagione secca molto corta, al massimo di tre mesi. Cresce quindi in ambienti caldi d'estate e con inverni miti, luminosi e sufficientemente umidi, tanto che per una buona produzione di frutti è necessario che la temperatura media mensile sia superiore a 10°C per almeno sei mesi all'anno. Nella regione mediterranea il castagno si può trovare a varie altitudini, dal livello del mare fino a sopra i 1000 m (Fernández-López e Ricardo Alía, 2003).

4.2 Valutazione della strategia CSR

4.2.1 Il campionamento delle foglie

Al fine di valutare la strategia CSR, dapprima sono stati identificati i dieci individui (uno per specie) sui quali effettuare i campionamenti. Sono state scelte piante adulte (ovvero in grado di riprodursi) e sane. Dopodiché, sono state raccolte dieci foglie per ognuna delle dieci specie oggetto di studio, a distanza di un mese tra un campionamento e l'altro. Le ricerche sono state condotte nel comune di Edolo, in provincia di Brescia, nei pressi del fiume Ogliolo. Questo territorio presenta un clima continentale e precipitazioni intorno a 1000mm/anno (ARPA Lombardia, 2023).

Le foglie campionate sono tutte foglie di ombra: data la chioma di un albero, sono quelle che si trovano più vicine al suolo, all'ombra rispetto a quelle che si sviluppano sui rami più alti, dette foglie di luce. Le foglie d'ombra hanno delle caratteristiche ben precise: una superficie fogliare più elevata e una maggiore concentrazione di clorofilla, in particolare di clorofilla "b", associata al fotosistema II; dunque, presentano una maggiore pigmentazione e appaiono più scure (Gratani, 1994). Queste proprietà permettono alla pianta di compiere il processo fotosintetico anche dove la luce ha un'intensità luminosa minore, poiché è già stata parzialmente intercettata dalle foglie di luce.

Ogni mese, da maggio a ottobre 2023, sono state campionate foglie ben espanse, intere, e sane in accordo con le indicazioni presenti in letteratura (Grime et al. 2001, Perce et al, 2013) dunque, non soggette ad attacchi di insetti defogliatori o altre patologie, che ne compromettessero la forma o la pigmentazione. Una volta raccolte, sono state impilate l'una sull'altra, tra due panni di carta assorbente umida e riposte all'ombra.

4.2.2 Misurazione dei parametri fogliari: contenuto di clorofilla, LA, LFW e LDW

Trascorsa mezz'ora dal campionamento è stato misurato il contenuto di clorofilla nel mesofillo fogliare, tramite un fluorimetro per clorofilla (Opti-sciences CCM-300) (*Figura 14*), uno strumento che permette di rilevare la fluorescenza della clorofilla e restituire un valore, espresso in mg/m^2 . Per ogni campione sono state effettuate tre misurazioni, delle quali, successivamente, è stato calcolato il valore medio, utile ai fini

dell'elaborazione dei dati. In seguito, è stata calcolata la superficie fogliare in cm^2 , tramite l'applicazione per smartphone Petiole Pro (Figura 15). Per poter utilizzare correttamente quest'applicazione è necessaria una calibrazione, attraverso delle specifiche tavole messe a disposizione dai programmatori sul sito internet dedicato.



Figura 14 - Fluorimetro per clorofilla.
Fotografia di Paola Salvi



Figura 15 - Misurazione superficie fogliare tramite l'applicazione Petiole Pro. Fotografia di Paola Salvi

Una volta terminata la misurazione del LA (*Leaf Area*), le foglie sono state impilate nuovamente, ordinate dalla prima alla decima, separate tra loro tramite un foglio di carta assorbente. In seguito, sono state bagnate con acqua distillata e avvolte in un foglio di alluminio, per evitare l'evaporazione dell'acqua. Questo passaggio serve per massimizzare l'assorbimento dell'acqua da parte delle foglie, fino a saturazione. Infine, sono state riposte in frigorifero e dopo ventiquattro ore sono state pesate. Prima di misurare il LFW (*Leaf Fresh Weight*) le foglie sono state leggermente tamponate, in modo da rimuovere l'acqua in eccesso, presente sulle lamine fogliari. Per calcolare il peso delle foglie è stata utilizzata una bilancia analitica (Figura 16). Successivamente i campioni sono stati posti in stufa da laboratorio (Figura 17) a seccare per una notte, alla temperatura di 105°C . La mattina seguente è stata eseguita la misurazione del LDW (*Leaf Dry Weight*), sempre tramite bilancia analitica.

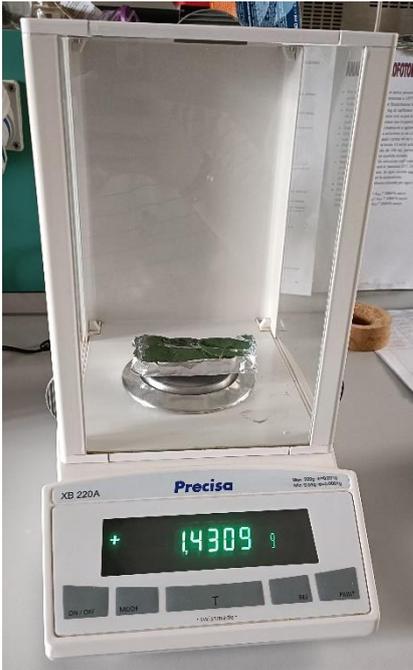


Figura 16 - Pesatura dei campioni tramite bilancia analitica. Fotografia di Paola Salvi



Figura 17 -Posizionamento dei campioni in stufa. Fotografia di Paola Salvi

Una volta misurati tutti i parametri (contenuto di clorofilla, LA, LFW e LDW), questi sono stati inseriti all'interno del foglio di calcolo 'StrateFy' di Pierce et al. (2017), grazie al quale è stato possibile attribuire ad ogni foglia, e quindi ad ogni specie, la strategia CSR adottata.

In un secondo momento è avvenuta la rielaborazione dei dati.

5. RISULTATI

I dati ottenuti sono successivamente stati elaborati, calcolando il contenuto di clorofilla medio per ogni specie in ogni mese, e la strategia CSR mediamente adottata da ogni pianta durante il corso della stagione vegetativa, derivante dalla media tra le percentuali C, R e S associate alle singole foglie. Sulla base dei risultati ottenuti sono stati realizzati diversi grafici: un grafico ternario, che permette di capire come la strategia di adattamento sia variata durante la stagione, e quali siano le strategie medie adottate dalle diverse specie, permettendo un rapido confronto; dei grafici a barre verticali, dai quali è possibile capire l'andamento delle singole strategie C, S e R con il progredire dei mesi; degli istogrammi, rappresentanti le variazioni mensili del contenuto di clorofilla all'interno degli organi fogliari; e, infine, dei grafici a dispersione, utili a identificare eventuali relazioni tra il contenuto di clorofilla e i valori CSR delle diverse specie..

5.1.1 Ciliegio selvatico

Dall'osservazione dei grafici (*Figura 18* e *Figura 19*) è possibile notare come, nel mese di maggio, la componente ruderale sia molto alta, e abbia un andamento decrescente con il progredire della stagione vegetativa. Lo stesso andamento è riscontrabile per la strategia competitiva. Al contrario la stress-tolleranza è in continuo aumento e passa dal $21 \pm 5,6\%$ per il mese di maggio, al $53 \pm 2,7\%$ a ottobre, passando da essere la componente meno presente a quella più abbondante, nell'arco di sei mesi. È possibile osservare anche come, nei mesi di luglio, agosto e settembre la variazione di strategia sia molto limitata: la componente C resta pressoché uguale, mentre si riscontra una progressiva diminuzione della componente R e un incremento della S.

La strategia media adottata dal *Prunus avium* è CS/CSR (C=42%; S=45% R=13%).

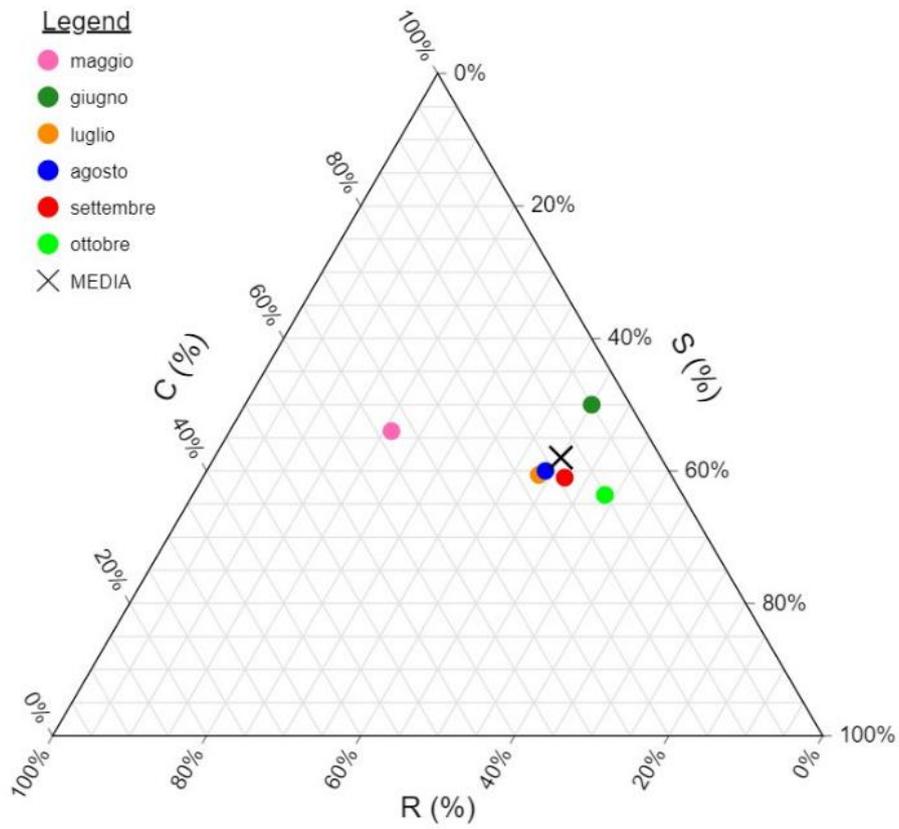


Figura 18 - Strategia CSR di Prunus avium

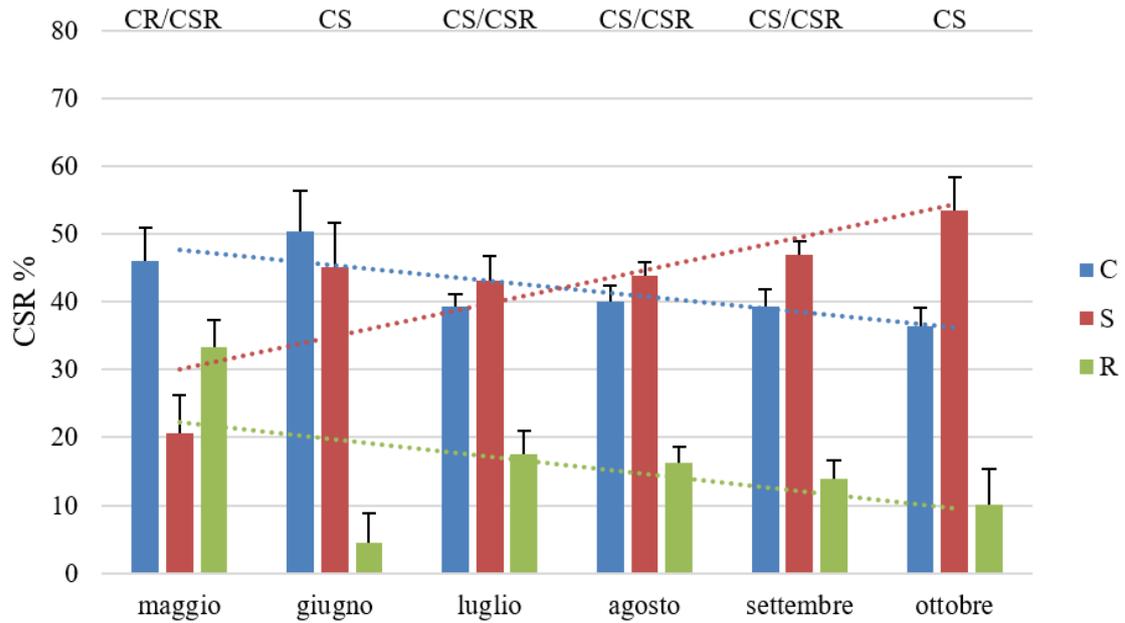


Figura 19 – Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie Prunus avium) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.2 Betula pendula

Analizzando i grafici (*Figura 20* e *Figura 21*) risulta evidente come, tra maggio e i restanti mesi la differenza sia netta: le componenti C e R (rispettivamente $40 \pm 4,0\%$ e $39 \pm 8,0\%$), subiscono una drastica diminuzione già a partire dal mese di giugno, nel quale la componente S triplica (dal $21 \pm 11,0\%$ al $68 \pm 5,4\%$), diventando la strategia prevalente per tutto il resto della stagione, fino a raggiungere il picco nel mese di ottobre.

La strategia media adottata da *Betula pendula* è S/CSR (C=30%; S=54% R=15%).

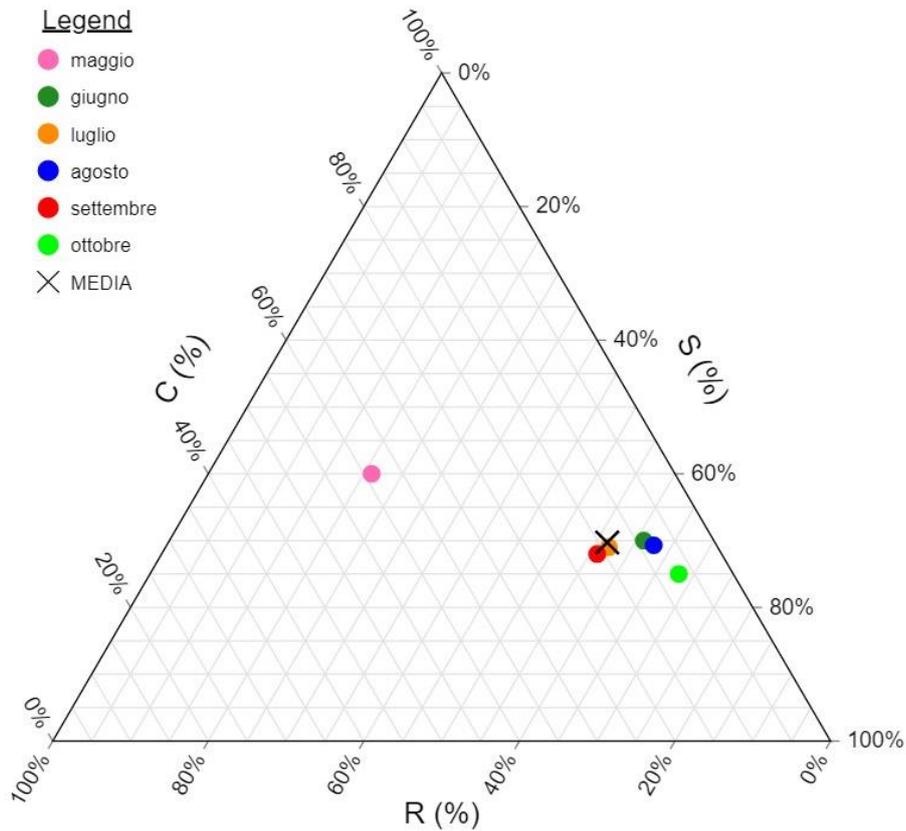


Figura 20 - Strategia CSR di *Betula pendula*

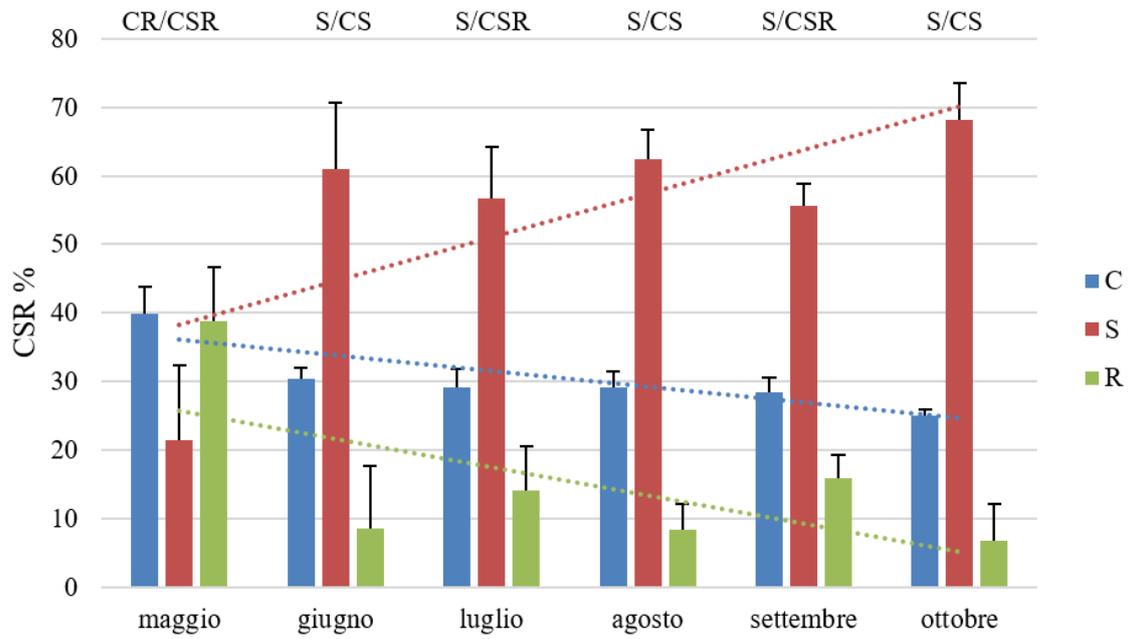


Figura 21 – Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie *Betula pendula*) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.3 Salicene

Guardando il grafico in *Figura 22* risulta complesso distinguere la strategia adottata nei diversi mesi. L'unico punto facilmente individuabile è quello rappresentante il mese di maggio, in cui è presente la componente R, pari al $3 \pm 2,8\%$, che da giugno in poi si annulla. Osservando il grafico a barre verticali (*Figura 23*), si può notare come la componente C raggiunge la sua massima percentuale nel mese di giugno ($40 \pm 3,4\%$), per poi diminuire progressivamente di pochi punti percentuali, fino a raggiungere il 36% da agosto in poi. Al contrario la componente S subisce un costante aumento, dal $58 \pm 3,6\%$ nel mese di maggio al $64 \pm 2,2\%$ nel mese di ottobre, al termine della stagione. La strategia adottata da *Salix caprea* risulta essere CS in tutti i mesi (C=38%; S=62% R=0%).

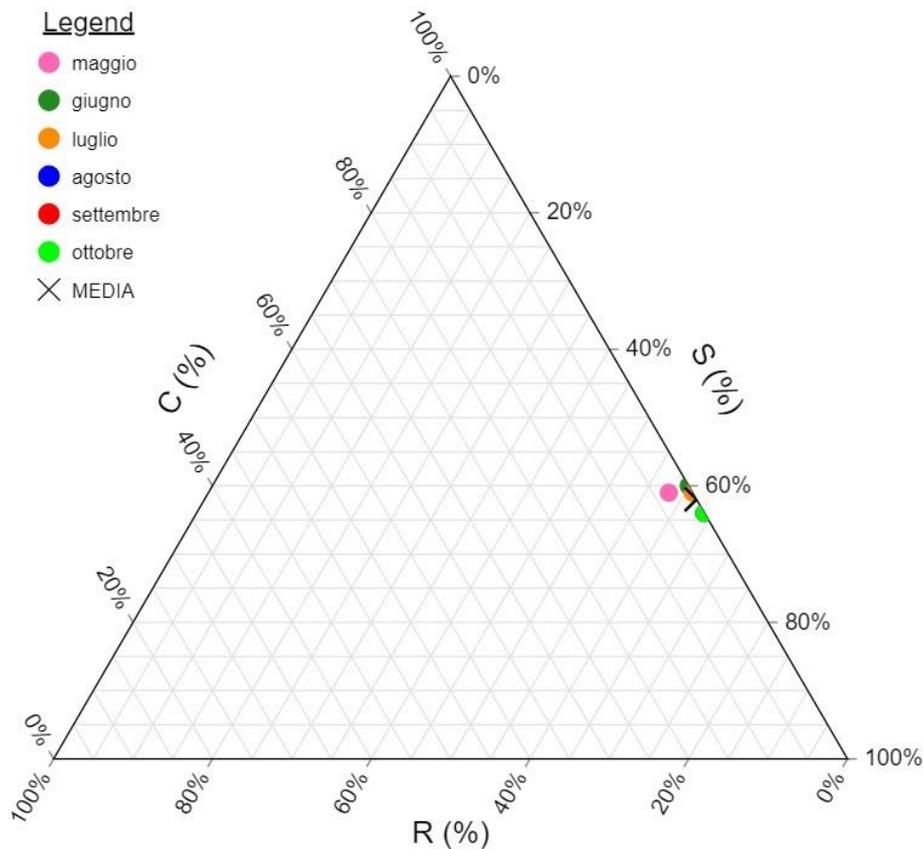


Figura 22 - Strategia CSR di Salix caprea

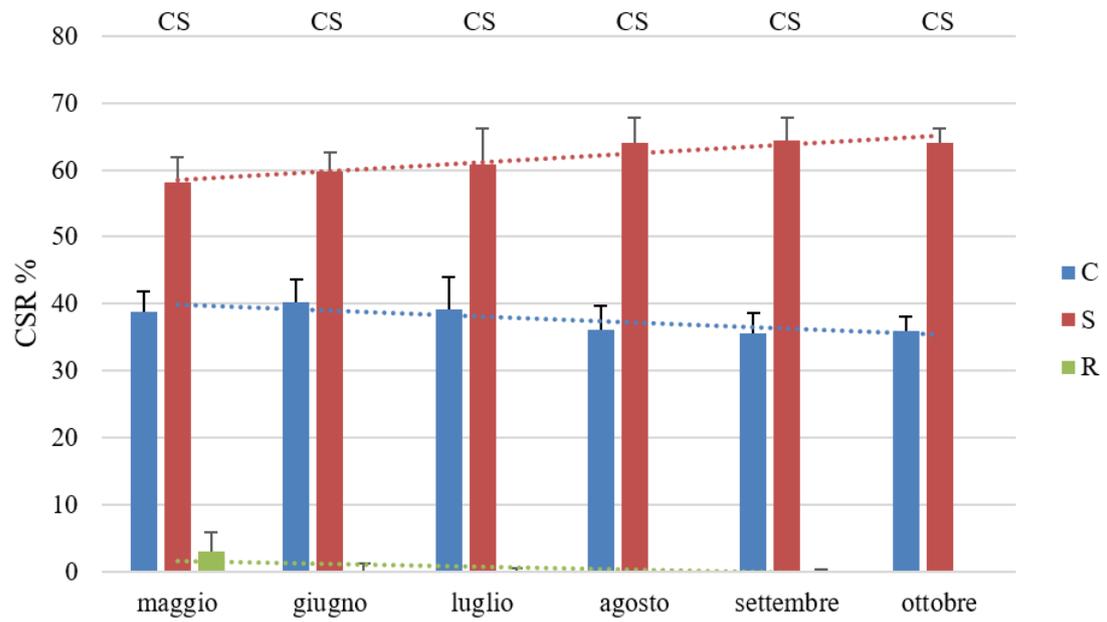


Figura 23 –Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie Salix caprea) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.4 Frassino maggiore

Dalla lettura dei grafici (Figura 24 e Figura 25) è possibile osservare come la componente R a giugno raggiunga un apice del $13 \pm 3,5\%$, che poi assume valori quasi nulli nei mesi successivi. La componente S presenta un andamento opposto, con un livello minimo nel mese di giugno ($18 \pm 7,0\%$) e il livello massimo a ottobre ($37 \pm 2,2\%$). Tuttavia, la componente prevalente durante il corso della stagione è la C, con il picco massimo a luglio ($72 \pm 5,9\%$)

La strategia adottata da *Fraxinus excelsior* risulta essere C/CS in tutti i mesi (C=68%; S=31% R=1%).

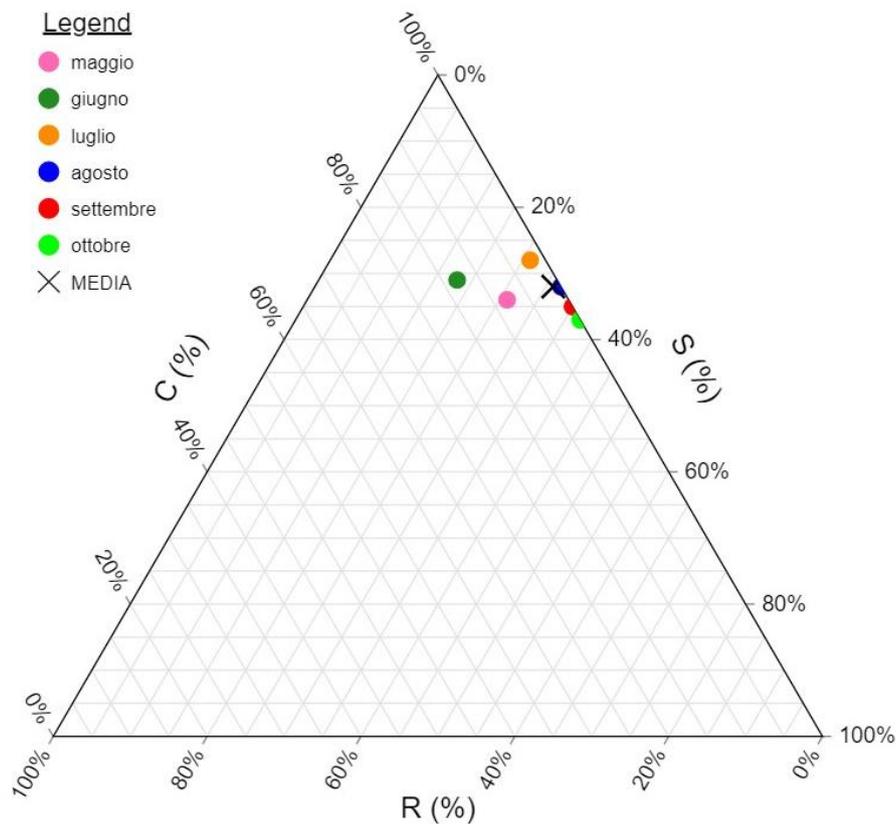


Figura 24 - Strategia CSR di *Fraxinus excelsior*

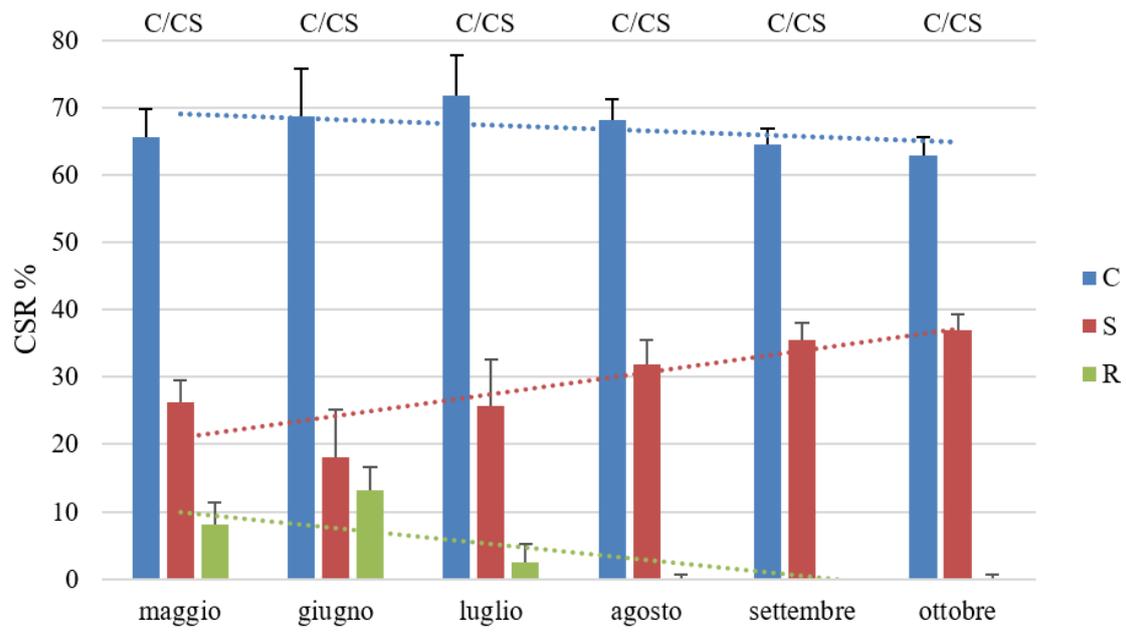


Figura 25 – Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie *Fraxinus excelsior*) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.5 Faggio

Osservando i grafici (Figura 16 e Figura 17) ne emerge che gli andamenti delle tre componenti percentuali non sono sempre regolari, ma subiscono svariate variazioni nel corso dei mesi. In particolare, la componente R raggiunge un picco nel mese di giugno ($25 \pm 1,9\%$), per poi decrescere e successivamente aumentare nuovamente nel mese di settembre. La componente C è caratterizzata da un andamento pressoché costante (solo nel mese di luglio la percentuale subisce un calo leggermente più significativo, corrispondente al $25 \pm 1,8\%$, mentre nei restanti mesi si aggira attorno al 30%). Infine, la componente S, a maggio rappresenta il $48\% \pm 2,2\%$ della strategia, dopodiché subisce un calo nel mese successivo, per poi ritornare ad aumentare fino ad agosto ($59 \pm 9,5\%$), dove raggiunge il suo picco massimo, per poi tornare a diminuire e aumentare nuovamente a ottobre.

La strategia media adottata da *Fagus sylvatica* risulta essere S/CSR in tutti i mesi (C=29%; S=52% R=19%).

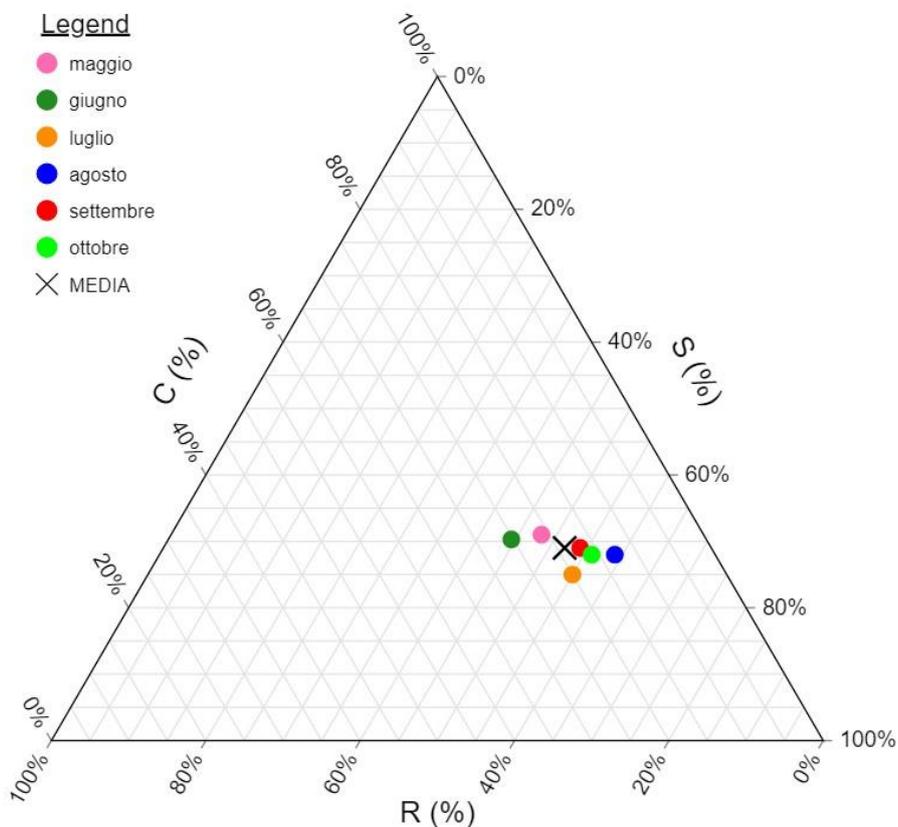


Figura 26 - Strategia CSR di *Fagus sylvatica*

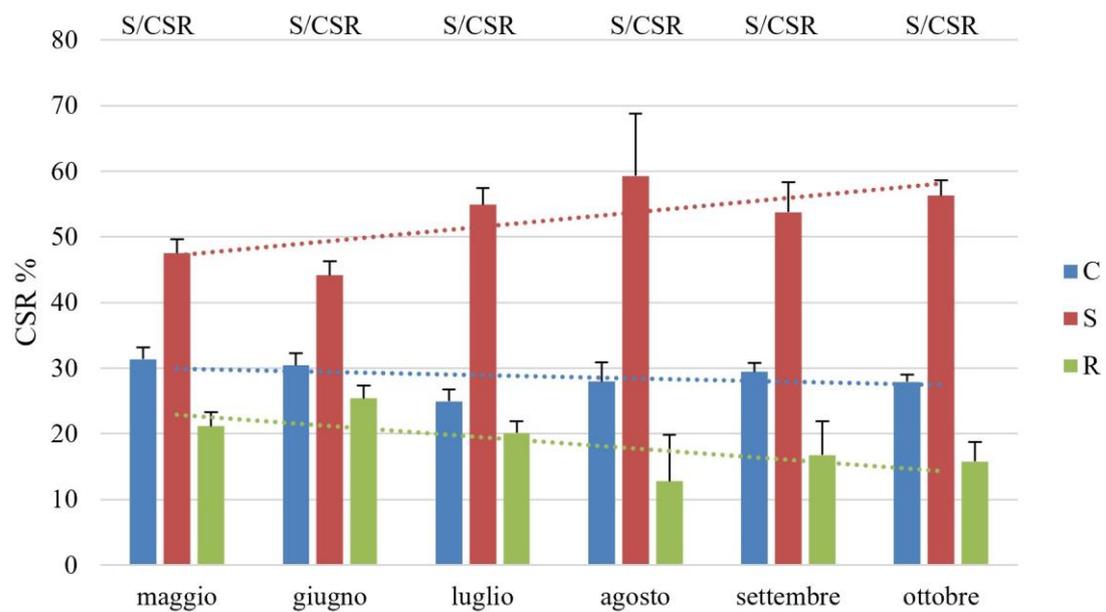


Figura 27 – Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie *Fagus sylvatica*) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.6 Maggiociondolo alpino

Analizzando i grafici (Figura 28 e Figura 29) è possibile notare un andamento molto regolare di tutte e tre le componenti. Inoltre, nel grafico ternario (Figura 28), i mesi di luglio e agosto sono completamente sovrapposti, dunque, le percentuali delle tre componenti sono identiche, per cui la strategia adottata è totalmente identica.

La strategia C diminuisce linearmente con il progredire del tempo, mentre la componente R diminuisce fino al mese di agosto, per poi attestarsi intorno al 7% nei restanti 3 mesi. Completamente antitetico è il comportamento della componente S, che aumenta regolarmente da maggio a ottobre, in cui diventa prevalente. La strategia CSR, dunque, si modifica completamente dall'inizio alla fine della stagione vegetativa.

La strategia media adottata da *Laburnum alpinum* è CS/CSR (C=38%; S=49% R=13%).

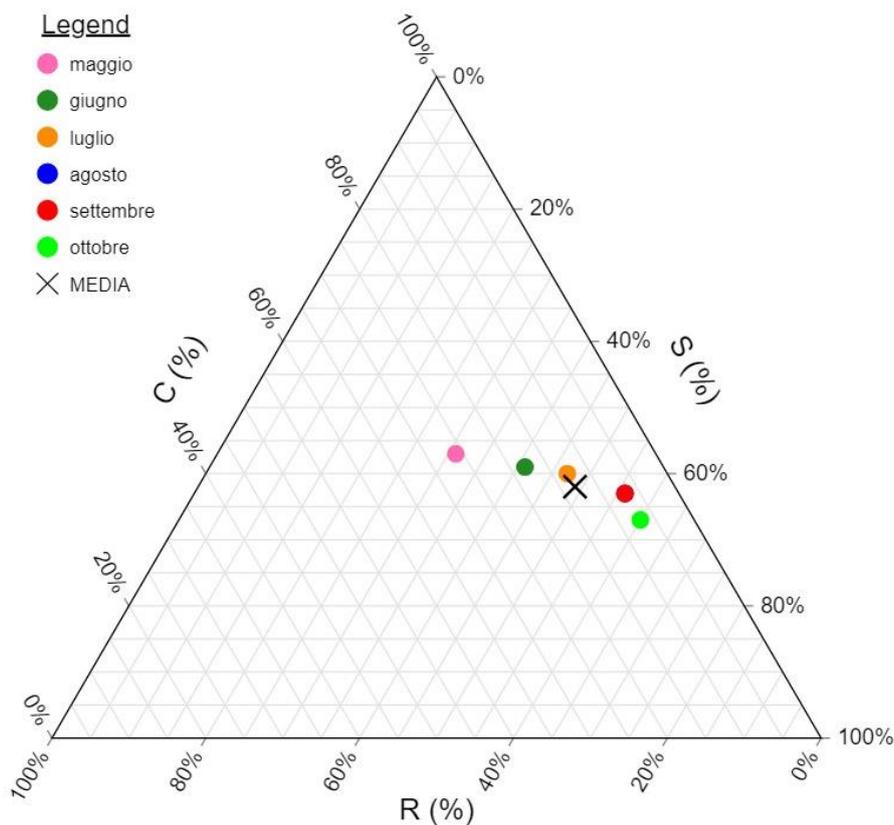


Figura 28 - Strategia CSR di *Laburnum alpinum*

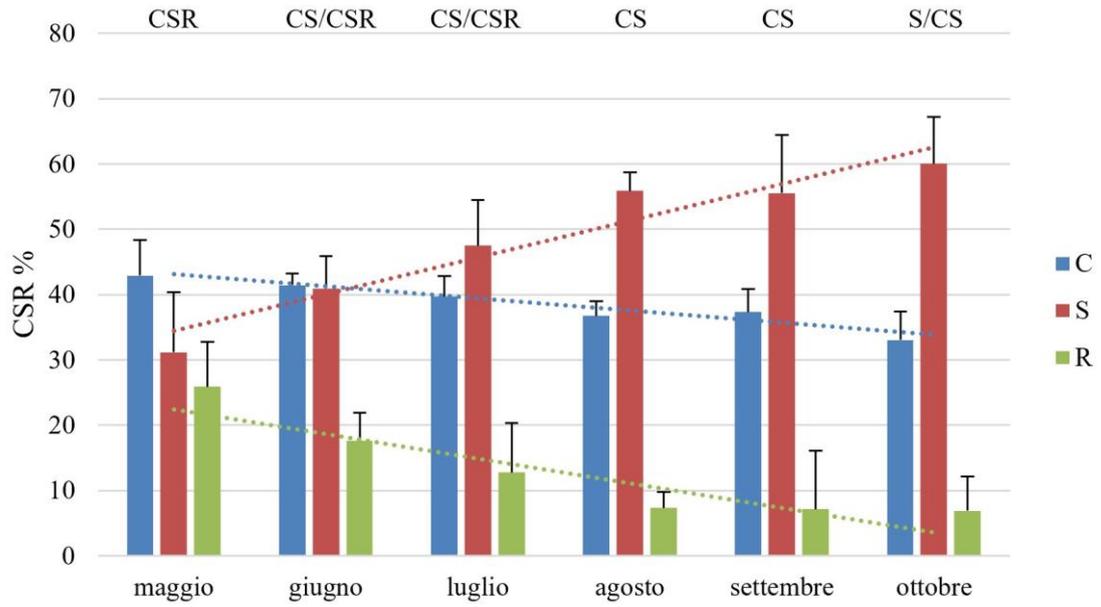


Figura 29 – Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie *Laburnum alpinum*) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.7 Acero di monte

Dalla lettura dei grafici (Figura 30 e Figura 31) si può dedurre come, ad eccezione del mese di maggio, nel quale è presente una componente R pari al $12 \pm 8,1\%$, per il resto della stagione la strategia è molto simile: la componente R bassa o nulla; la componente S che varia dal 25 al 35%; mentre la componente prevalente è la C.

La strategia adottata da *Acer pseudoplatanus* risulta essere C/CS in tutti i mesi (C=66%; S=32% R=2%).

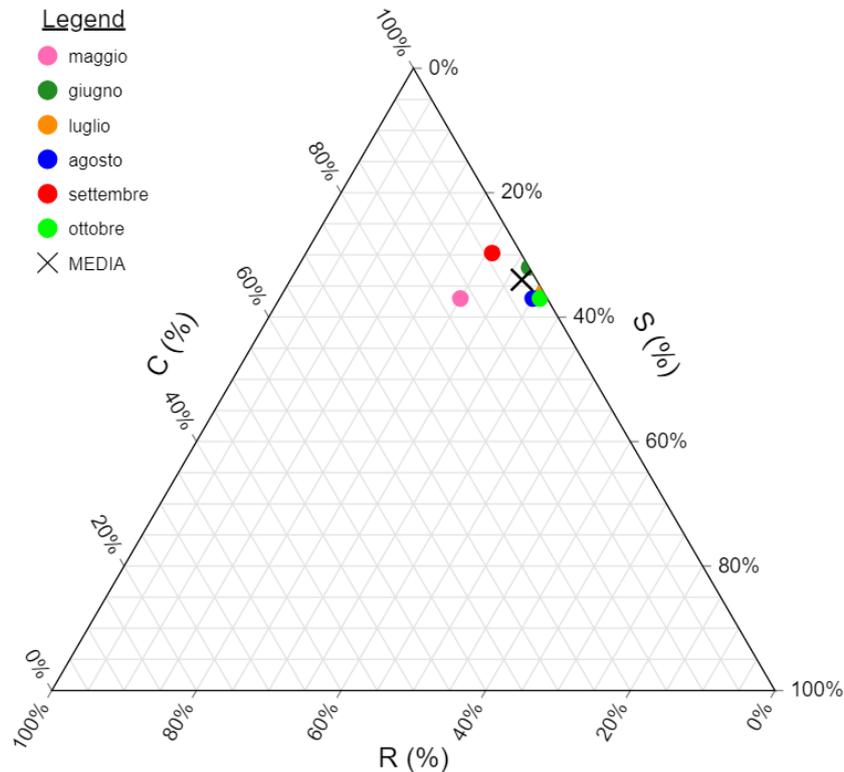


Figura 30 - Strategia CSR di *Acer pseudoplatanus*

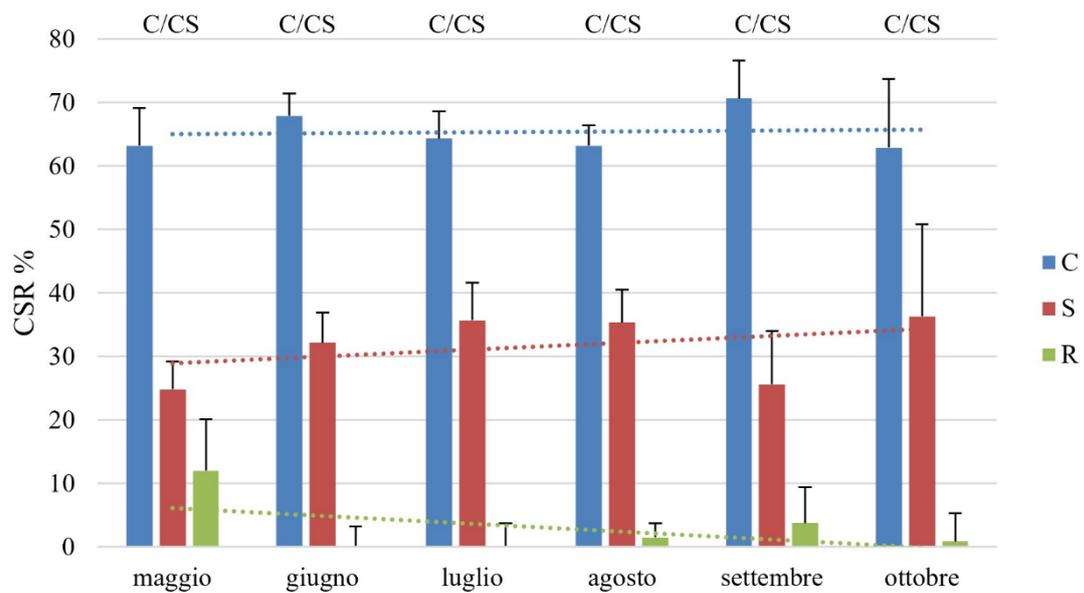


Figura 31 –Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie *Acer pseudoplatanus*) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.8 Nocciolo

Osservando i grafici (Figura 32 e Figura 33) si può dedurre che la strategia adottata vari di molto nei vari mesi. La strategia R, presente al $36 \pm 3,7\%$ nel mese di maggio, cala significativamente nell'arco di un mese e a giugno raggiunge il livello minimo ($21 \pm 9,3\%$), per poi tornare a crescere nuovamente, fino a $26 \pm 4,0\%$ ad ottobre. Anche la strategia C non ha un andamento regolare, dal momento che inizialmente è la componente maggiore ($41 \pm 3,5\%$), ma diminuisce progressivamente, fino a raggiungere il minimo a luglio ($30 \pm 1,8\%$), per poi aumentare nuovamente ad agosto e diminuire ancora una seconda volta. Comportamento diametralmente opposto viene assunto dalla componente S, presente per il $23 \pm 6,1\%$ a maggio, ma che aumenta gradualmente fino a raggiungere il suo punto massimo a luglio ($45 \pm 3,5\%$), per poi diminuire ad agosto e aumentare nuovamente, fino a diventare la componente principale nel mese di ottobre ($44 \pm 4,0\%$).

La strategia media adottata da *Corylus avellana* è CSR (C=35%; S=38% R=27%).

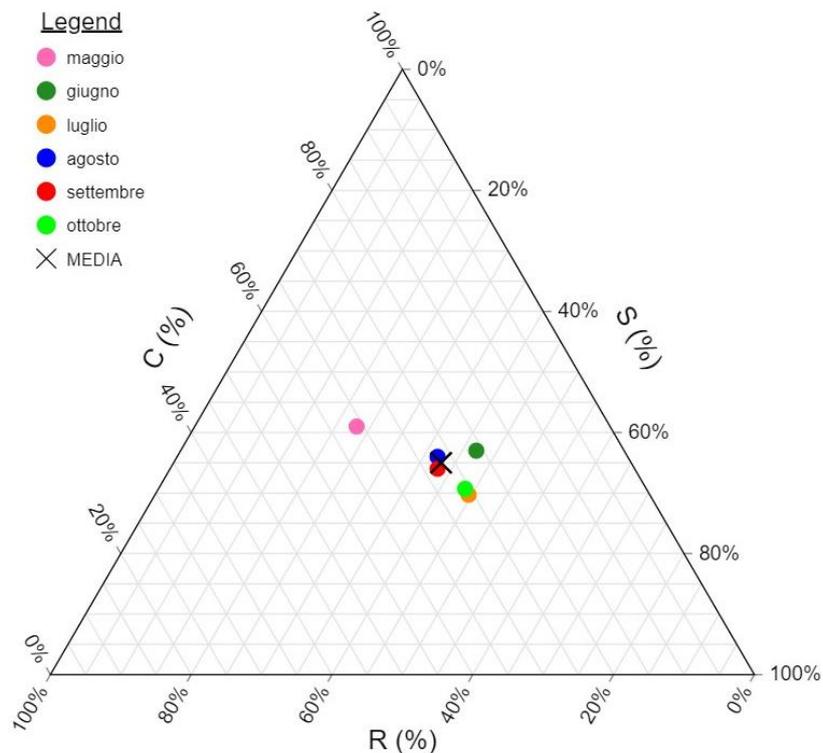


Figura 32 - Strategia CSR di *Corylus avellana*

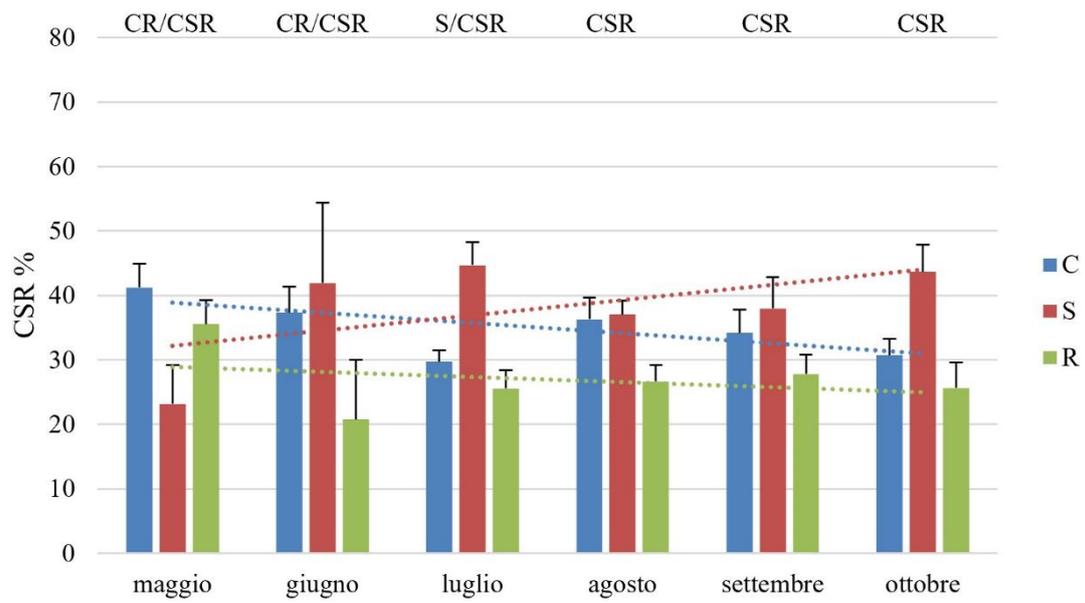


Figura 33 – Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie *Corylus avellana*) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.9 Pioppo tremulo

Esaminando i grafici (Figura 34 e Figura 35) è possibile distinguere chiaramente gli andamenti delle tre costituenti della strategia. La componente R diminuisce progressivamente, andando dall'11 ± 1,5% nel mese di maggio, al 3 ± 1,8% a ottobre. Lo stesso succede per la componente C, che diminuisce al progredire della stagione vegetativa. Invece, la componente S tende ad aumentare sempre più, partendo dal 50 ± 2,4%, al 63 ± 2,0%.

La strategia media adottata da *Populus tremula* è CSR (C=36%; S=58% R=6%).

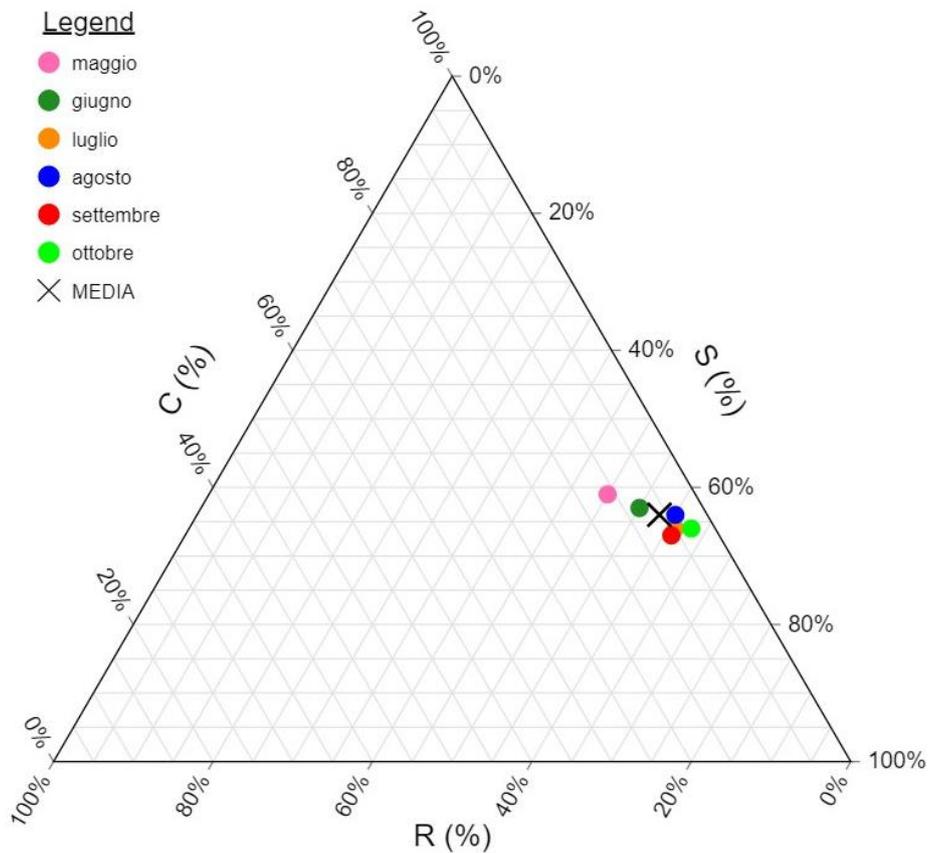


Figura 34 - Strategia CSR di *Populus tremula*

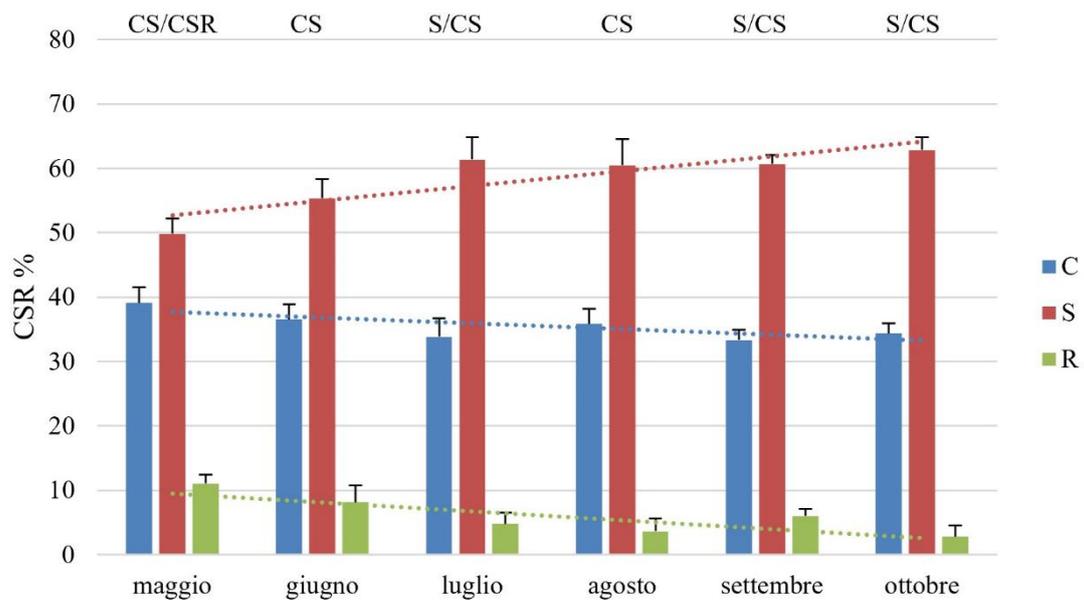


Figura 35 – Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie *Populus tremula*) Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.1.10 Castagno

Dall'analisi dei grafici (*Figura 36 e Figura 37*) si nota come la strategia CSR vari molto poco nel corso dei vari mesi. La componente R subisce una leggera diminuzione, dal $20 \pm 8,7\%$ nel mese di maggio, al $15 \pm 4,5\%$ a ottobre. La componente C rimane quasi totalmente invariata, tranne a settembre, in cui assume un valore pari al $42 \pm 2\%$, leggermente inferiore rispetto agli altri mesi. La componente S, invece, subisce un leggero aumento durante il progredire dei mesi, ma non abbastanza per diventare la componente prevalente.

La strategia adottata da *Castanea sativa* risulta essere CS/CSR in tutti i mesi (C=45%; S=37% R=17%).

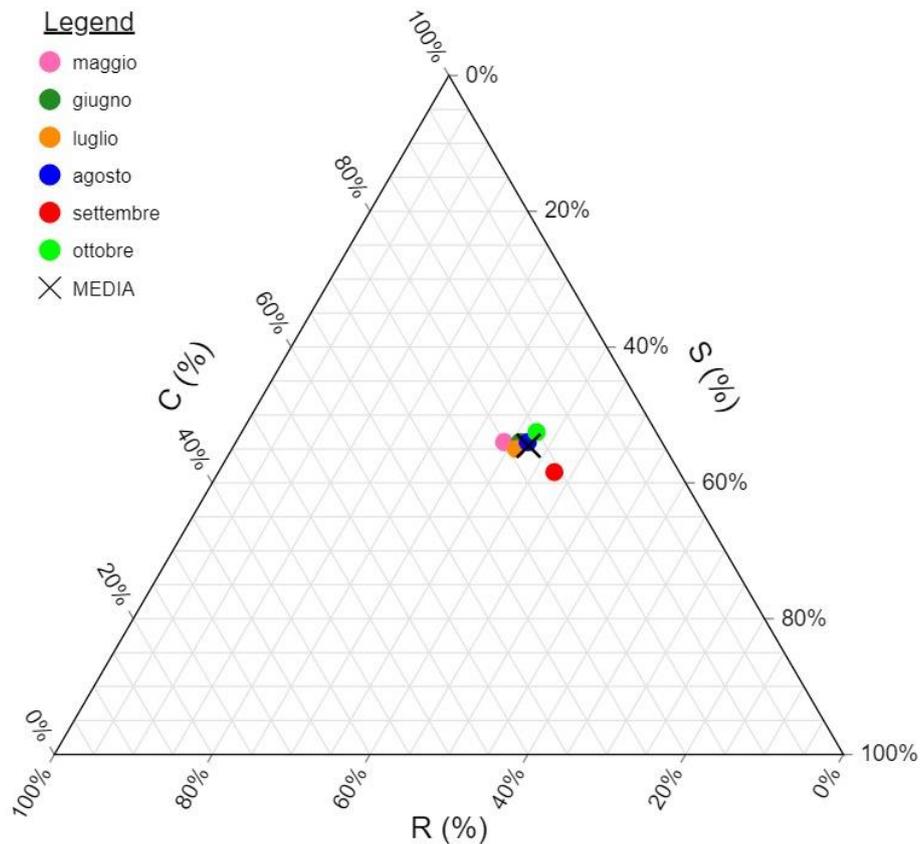


Figura 36 - Strategia CSR di *Castanea sativa*

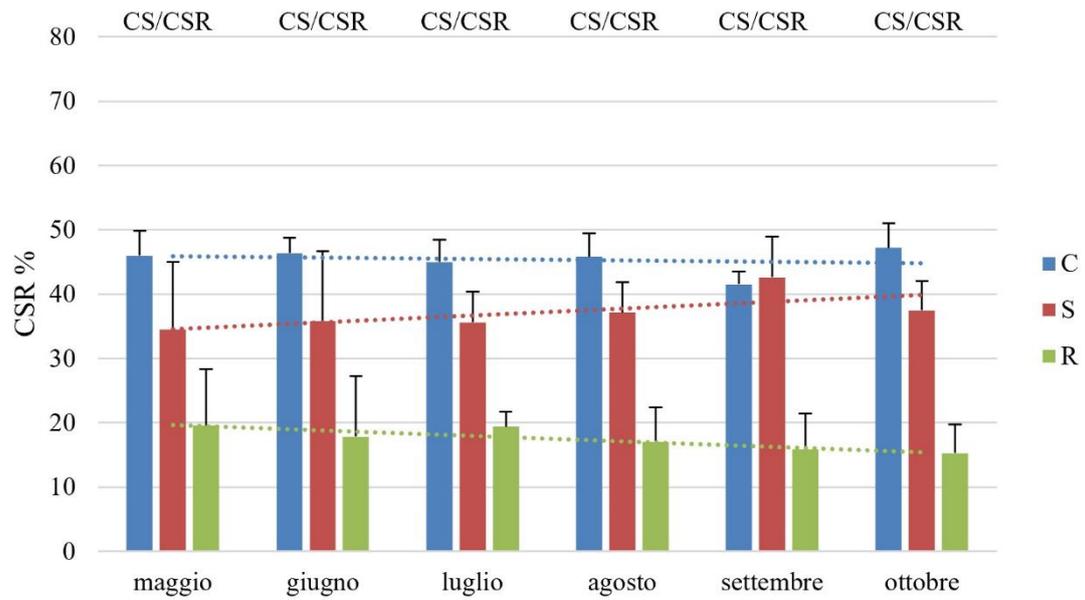


Figura 37 – Variazione mensile delle componenti percentuali C, S e R in relazione al mese (specie *Castanea sativa*). Per ciascun mese è indicata la strategia CSR (in alto).

5.2 Concentrazione di clorofilla

Osservando l'andamento del contenuto mensile di clorofilla all'interno delle foglie (Figura 38), espresso in mg/m^2 , si può notare come non sia simile, ma vari tra una specie e l'altra. Tuttavia, la caratteristica che le accomuna è che nel mese di maggio tutte le specie, ad eccezioni di *Fraxinus excelsior*, abbiano una concentrazione di clorofilla fogliare minore rispetto al mese di giugno, e, più in generale, ai tre mesi estivi. Per le specie di *Laburnum alpinum*, *Corylus avellana*, *Populus tremula* e *Castanea sativa*, l'andamento del contenuto di clorofilla assume la forma di una curva gaussiana, ovvero con un picco nei mesi centrali (luglio e agosto), mentre nei mesi precedenti e successivi i valori sono scalarmente minori.

Un comportamento anomalo viene assunto da altre quattro specie (*Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Fagus sylvatica* e *Corylus avellana*), dal momento che il contenuto di clorofilla è mediamente maggiore nel mese di ottobre rispetto che a settembre. Questo aumento del contenuto di clorofilla a fine stagione risulta atipico, dal momento che, come per le quattro specie prima citate, sarebbe più coerente registrare concentrazioni di clorofilla sempre minori, man mano che ci si avvicina al periodo autunnale (Tobias, D. J., 1994), poiché le foglie diminuiscono gradualmente la concentrazione di clorofille e pigmenti al loro interno, assumendo colori sempre più clorotici.

Infine, un andamento ancora diverso viene assunto dalle specie *Prunus avium* e *Acer pseudoplatanus*, poiché, guardando i loro grafici, è possibile notare come il contenuto di clorofilla raggiunga due punti di massimo, prima a giugno, in corrispondenza del periodo di maturazione dei frutti, per quanto riguarda il ciliegio selvatico e a luglio, sempre durante la fase di fruttificazione, per l'acero di monte, per poi tornare a decrescere; il secondo a settembre, quando ormai la pianta ha terminato il proprio ciclo riproduttivo.

Visti i valori risultanti dall'elaborazione dei dati relativi al contenuto di clorofilla nel mesofillo fogliare, si è deciso capire se vi possa essere qualche relazione tra tale parametro e la percentuale strategica C, S e R, ovvero se il differente contenuto di clorofilla (nei vasi mesi considerati) possa influenzare la strategia CSR. Questa operazione è stata effettuata utilizzando i dati raccolti per ogni foglia, per ogni mese, specie per specie.

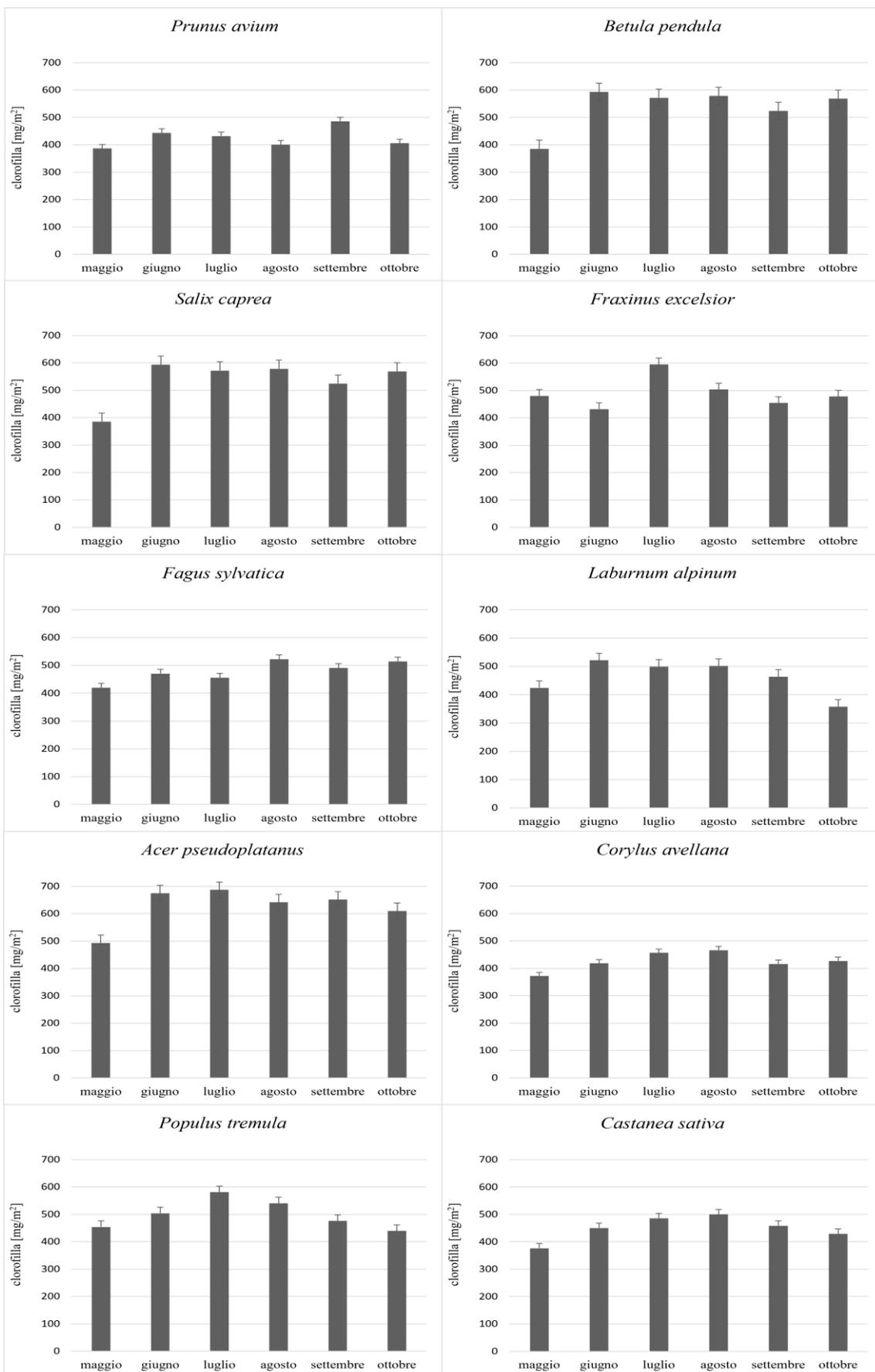


Figura 38 - Concentrazione di clorofilla media nelle dieci specie oggetto di studio in ogni mese, da maggio a ottobre.

5.3 Relazione tra la concentrazione di clorofilla vs R

Osservando i grafici a dispersione relativi al rapporto tra concentrazione di clorofilla in mg/m^2 (sull'asse delle x) e la componente percentuale per il fattore R (asse delle y), si nota che esiste una relazione (*Figura 39*). Nella maggior parte delle specie, infatti, si evidenzia come, all'aumentare della concentrazione di clorofilla, la percentuale della componente R diminuisca; dunque, l'andamento di questi grafici risulta essere decrescente. Fa eccezione *Laburnum alpinum*, dal cui grafico possiamo dedurre come non esista una chiara relazione lineare tra i due parametri presi in considerazione ($R^2=0,0017$).

Tra le specie oggetto di studio non è stato realizzato il grafico relativo a *Salix caprea*, dal momento che i valori di R sono quasi totalmente pari a zero, per ogni foglia analizzata.

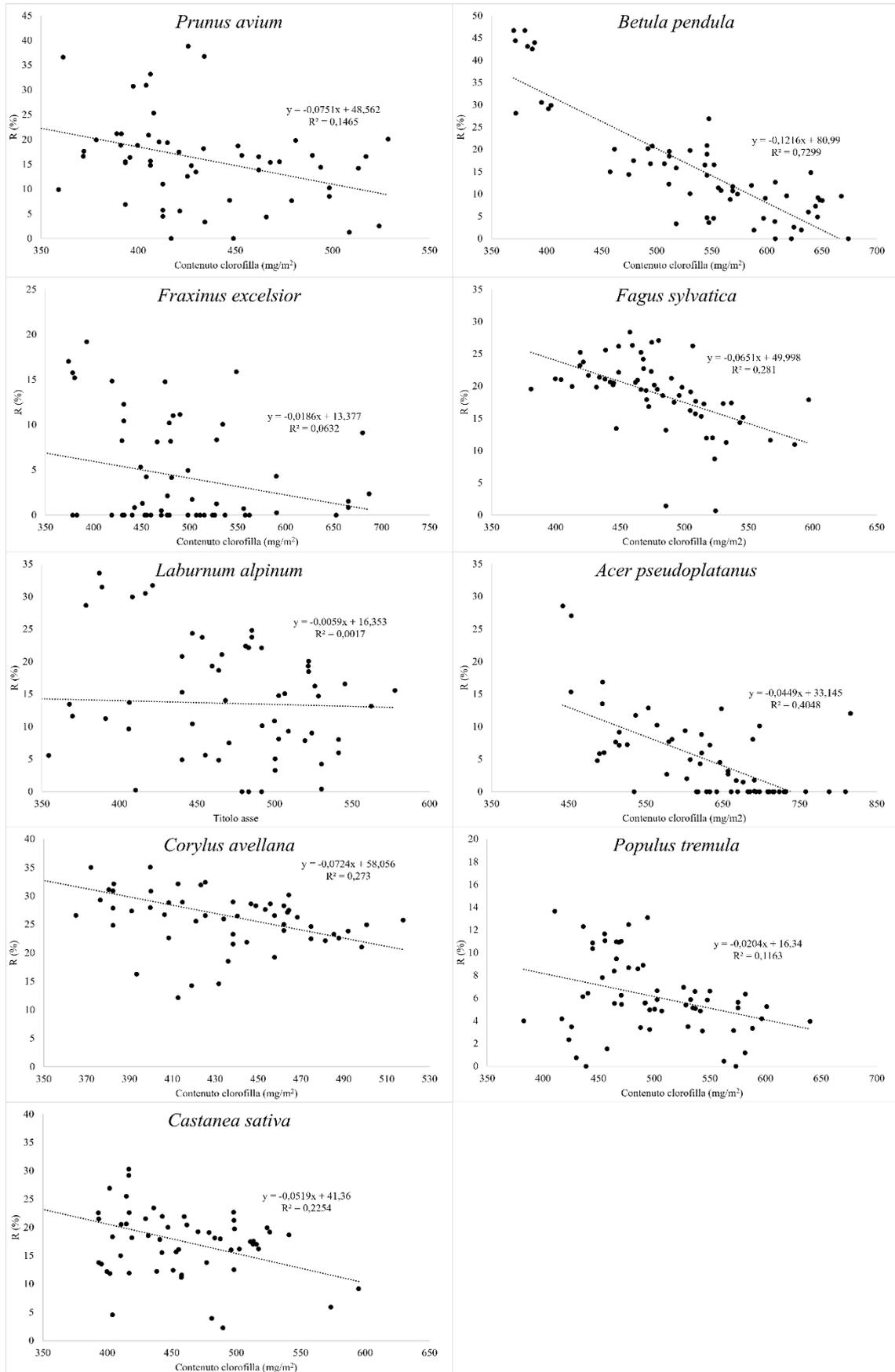


Figura 39 -Relazione tra la concentrazione di clorofilla fogliare (sull'asse x) e componente R percentuale (su asse y) in nove specie oggetto di studio, da maggio a ottobre

5.1 Relazione tra la concentrazione di clorofilla vs S

Analizzando i grafici a dispersione relativi al rapporto tra concentrazione di clorofilla in mg/m^2 (sull'asse delle x) e la componente percentuale per il fattore S (asse delle y), esiste una relazione (*Figura 40*). Per sette specie su dieci è possibile dedurre che, all'aumentare del contenuto di clorofilla corrisponda un incremento in termini percentuali della componente S della strategia. Questo andamento, invece, non si verifica per le specie *Salix caprea*, *Laburnum alpinum* e *Fraxinus excelsior*; infatti, nel primo caso l'andamento è leggermente decrescente, mentre per gli altri due si può evincere dai grafici che non vi sia una stretta relazione tra contenuto di clorofilla e componente S% (i coefficienti di determinazione sono $R^2=0,0077$ per *Laburnum alpinum* e $R^2=0,0006$ per *Fraxinus excelsior*).

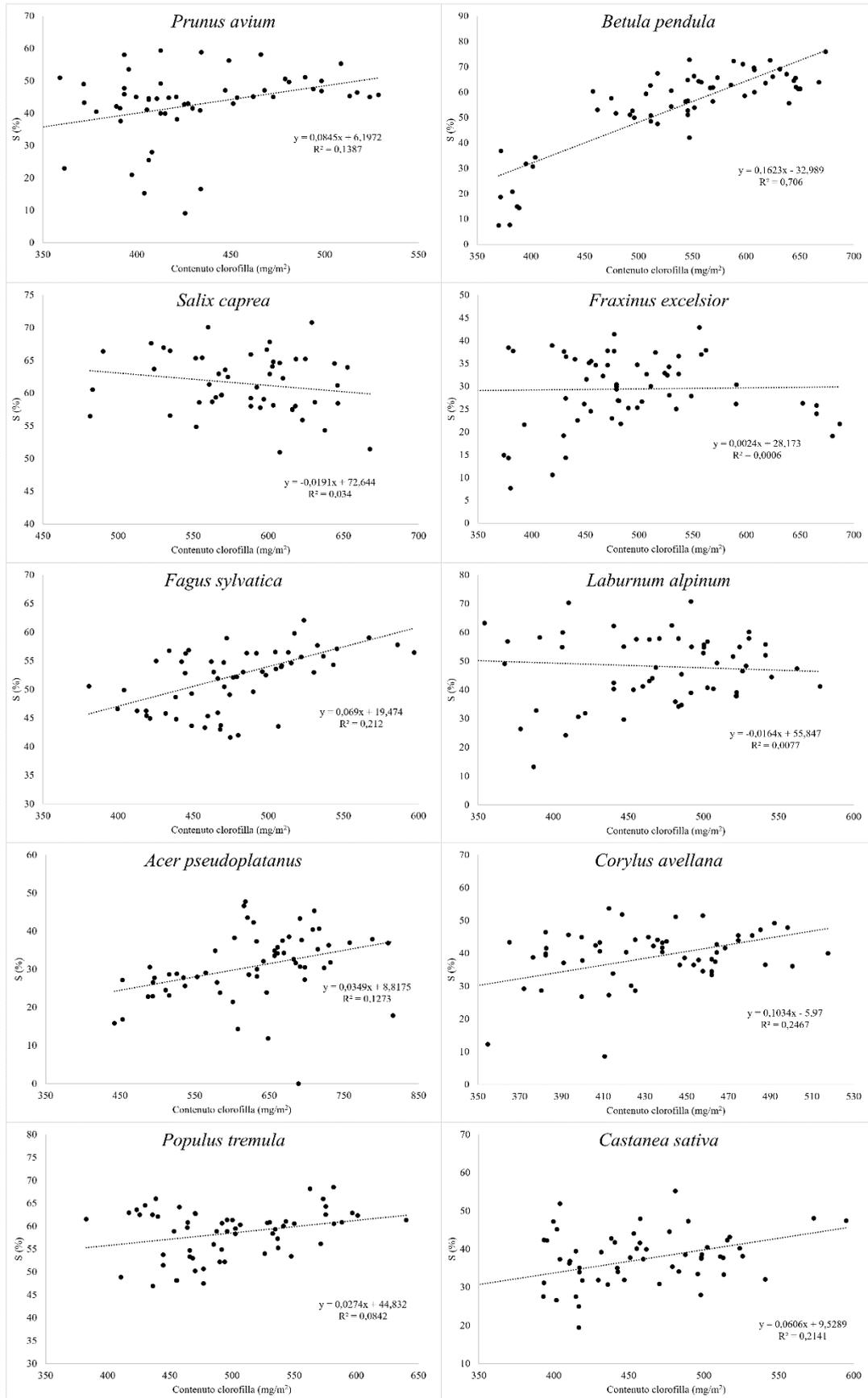


Figura 40 - Relazione tra la concentrazione di clorofilla fogliare (sull'asse x) e componente S percentuale (su asse y) nelle 10 specie oggetto di studio, da maggio a ottobre

5.1 Relazione tra la concentrazione di clorofilla vs C

Infine, per quanto riguarda il rapporto tra la concentrazione di clorofilla in mg/m^2 (sull'asse delle x) e la componente percentuale per il fattore C (asse delle y), osservabile in *Figura 41* non è possibile individuare una relazione comune a tutte le specie, tranne per *Betula pendula*, il cui andamento è negativo; dunque, all'aumentare del contenuto di clorofilla la componente C diminuisce percentualmente.

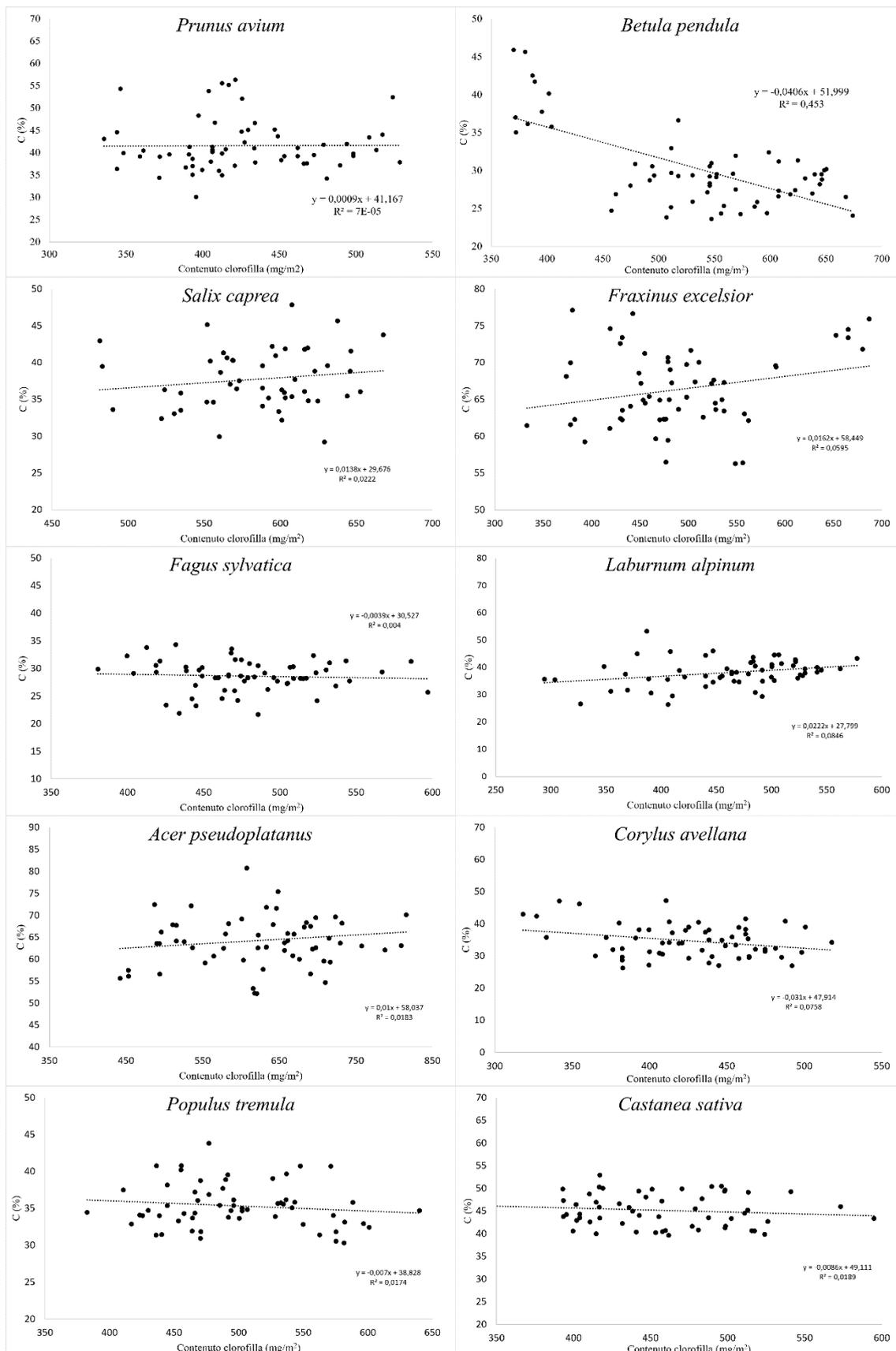


Figura 41 - Relazione tra la concentrazione di clorofilla fogliare (sull'asse x) e componente C percentuale (su asse y) nelle 10 specie oggetto di studio, da maggio a ottobre

6. DUSCUSSIONE DEI RISULTATI

Dall'analisi dei dati raccolti ed elaborati, è possibile trarre alcune considerazioni riguardanti tutte le specie oggetto di studio, la maggior parte delle quali ha subito dei cambiamenti più o meno sensibili della propria strategia funzionale CSR, durante l'arco della stagione vegetativa.

Osservando i dati ricavati da *Prunus avium* è possibile affermare che la strategia CSR adottata da questa specie si modifichi nel corso del tempo in modo rilevante. Infatti, se nel mese di maggio la componente ruderale è così importante da determinare una strategia CR/CSR, già nel mese successivo questa si modifica e diventa CS, per poi diventare nuovamente CSR, grazie ad un ulteriore incremento della componente R; e infine tornare a CS, nel mese di ottobre, quando la componente R torna ad abbassarsi e i valori di S raggiungono il massimo. La componente C è quella che, con il progredire dei mesi, si modifica in misura minore, anche se manifesta un andamento complessivamente decrescente. Questo può essere imputato al fatto che il ciliegio selvatico è una specie tipicamente pioniera, che non forma boschi puri, ma che si trova sporadicamente, associata ad altre specie che, al contrario, formano associazioni monospecifiche. Dunque, per sopravvivere e non essere sopraffatta dagli altri individui, questa specie adotta strategie competitive, che le permettono di sfruttare al meglio le risorse. Questo comportamento è evidente se si considera il periodo di fioritura della pianta, che è tra le prime arboree a fiorire in primavera, ancor prima di emettere le foglie, per fare in modo che gli insetti impollinatori si dedichino esclusivamente alla sua impollinazione. Se si confrontano i risultati ottenuti con quelli proposti da Pierce (C=35%; S=40%; R=25%) (Pierce et al.,2017), è possibile affermare che è nel mese di luglio che i valori C, S e R registrati sono il più simile possibile. Pierce assegna al ciliegio una strategia di tipo CSR, abbastanza simile a quella assegnata con questo studio, di tipo CS/CSR (C=42%; S=45%; R=13%).

Un andamento simile viene adottato dalla seconda specie studiata, *Betula pendula*, i cui valori di R% tendono a diminuire nel tempo, e, se inizialmente (a maggio) la strategia è CR/CSR, questa già nel mese di giugno subisce un forte cambiamento, dal momento che la componente stress-tollerante aumenta a tal punto da modificarne la strategia a S/CS. Nei mesi di agosto e ottobre la componente S è sicuramente preponderante rispetto alle altre due, per cui si può affermare come questa caratteristica sia specifica

per la betulla. Infatti, la betulla verrucosa è una specie pioniera, il cui apparato radicale non penetra nel terreno per molti metri, ma si mantiene superficiale; dunque, deve poter resistere alla carenza idrica durante i periodi di siccità (Hecker, 1988). Confrontando i dati ottenuti (C=30%; S=54%; R=15%) con quelli proposti dalla letteratura (C=17%; S=73%; R=10%) (Pierce et al., 2017), è possibile affermare che è nei mesi di giugno e agosto che si sono registrati valori simili.

Tra le specie che non variano mai la propria strategia nel corso della stagione vegetativa si trova *Salix caprea*, la quale adotta una strategia CS in ogni mese. La componente R, presente in minima parte nel mese di maggio, assume valori nulli nei mesi successivi, lasciando sempre più spazio a competizione e stress-tolleranza. In particolare, quest'ultima componente aumenta al trascorrere dei mesi, il che può essere associato al fatto che questa specie, insieme ad altre appartenenti alla famiglia delle Salicaceae, ha attitudine pioniera, e in habitat naturale la si trova lungo le sponde dei fiumi, o comunque su suoli umidi o ai margini dei boschi. Confrontando i dati ottenuti (C=38%; S=62%; R=0%) con quelli proposti in letteratura (C=23%; S=65%; R=12%) (Pierce et al., 2017), è possibile notare come, in questo caso Pierce abbia registrato minori valori di C, mentre questo studio ha riportato valori di C più elevati (in media C=38%), in tutti i mesi; pertanto, la strategia proposta da Pierce è S/CS, mentre quella risultante dallo studio è CS.

Analogamente, la seconda specie che non varia strategia è *Fraxinus excelsior*, che risulta adottare la strategia C/CS lungo tutto l'arco della stagione vegetativa. La componente S aumenta con il tempo, ma sicuramente la strategia prevalente è quella competitiva. Infatti, il frassino predilige terreni molto ricchi di nutrienti, inoltre possiede foglie con un'elevata superficie fogliare, grazie al quale è in grado di intercettare la radiazione luminosa con facilità, e la ricchezza dei suoli in cui cresce gli permette di vincere la competizione con le altre specie. Crea di rado boschi puri, sia in pianura che in montagna, dunque si potrebbe dotare di caratteri competitivi per intercettare in maniera ottimale le risorse disponibili nell'ambiente in cui cresce. Confrontando i dati ottenuti (C=68%; S=31%; R=1%) con quelli proposti dalla letteratura (C=62%; S=28%; R=10%) (Pierce et al., 2017), si nota come siano perfettamente coerenti con quelli ottenuti con questo esperimento.

Una specie che spesso condivide lo stesso habitat del frassino è *Acer pseudoplatanus*, per questo motivo anche la strategia che adotta è analoga, ovvero C/CS. Anche in questo caso la strategia non si modifica al trascorrere dei mesi, e le componenti C, S e R subiscono variazioni percentuali minime. L'acero di monte, così come il frassino, può contare sulla capacità di intercettare al meglio la luce solare, grazie alle cospicue dimensioni delle foglie e ad un'elevata concentrazione di clorofilla nel mesofillo fogliare (fino a $686,9 \pm 73,06$ mg/m² nel mese di luglio). Queste caratteristiche sono tipiche delle specie competitive (Grime, 2001), e gli permettono di sfruttare le risorse a disposizione. Confrontando i dati ottenuti (C=66%; S=32%; R=2%) con quelli proposti dalla letteratura (C=37%; S=55%; R=8%) (Pierce et al., 2017), si nota come con tale studio la componente C sia mediamente maggiore (in media C=66%), facendo risultare la strategia C/CS, mentre Pierce attribuisce all'acero di monte la strategia CS. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che la strategia CSR può variare anche fra piante della stessa specie che però afferiscono a popolazioni diverse (variazione intraspecifica) come riportato in letteratura (Giupponi e Giorgi, 2019; Giupponi, 2020; Baltieri et al., 2020).

La quarta specie che non varia strategia è *Fagus sylvatica*; infatti, questa risulta essere S/CSR per tutti i mesi. La componente preponderata è la S, tant'è vero che il faggio è una specie che tollera bene lo stress da freddo e riesce a sopravvivere anche a temperature ben al di sotto dello zero. Essendo sciafilo, il faggio riesce a sopravvivere e crescere anche in condizioni di luminosità limitate, per cui mette in atto una strategia di stress-tolleranza, soprattutto nei confronti di carenza di luce e basse temperature. Confrontando i dati ottenuti (C=29%; S=52%; R=19%) con quelli proposti dalla letteratura (C=23%; S=62%; R=14%) (Pierce et al., 2017), si nota come, nel presente studio si sono registrati maggiori valori di R, e questo ha permesso di attribuire la strategia S/CSR, mentre Pierce assegna al faggio la strategia S/CS.

La quinta e ultima specie che mantiene una strategia CS/CSR per ogni mese preso in considerazione è *Castanea sativa*. In questo caso non si assiste a eccessive variazioni percentuali delle varie strategie, ma semplicemente la componente ruderale tende a decrescere leggermente nel corso dei mesi; la componente stress-tollerante, al contrario, aumenta; mentre la componente competitiva rimane pressoché costante. Questa specie può svilupparsi sia in boschi puri che misti, il che significa che necessita di mettere in pratica alcune strategie per competere con gli altri individui vegetali presenti nel bosco.

Allo stesso tempo il castagno resiste bene ai fattori di stress e ai disturbi; si ricordino l'elevata capacità pollonifera di questa specie e la cospicua produzione di semi (in termini di biomassa) che rilascia ogni anno in autunno, e che nella quasi totalità dei casi riescono a germinare. Confrontando i dati ottenuti (C=45%; S=37%; R=17%) con quelli proposti in letteratura (C=37%; S=56%; R=7%) (Pierce et al., 2017), si può applicare lo stesso ragionamento valido per il faggio; ovvero anche in questo caso sono stati registrati valori di R maggiori (in media R=17%), dunque la strategia risultante è CS/CSR, mentre secondo Pierce sarebbe CS.

Una specie che subisce evidenti variazioni è sicuramente *Laburnum alpinum*. Anche in questo caso si può osservare una decrescita nell'andamento di R e di C, mentre S subisce un vistoso incremento e aumenta gradualmente ogni mese. Inizialmente (maggio) le tre componenti C, S e R erano complessivamente equilibrate, poi, già a partire dal mese successivo, la componente R è sensibilmente diminuita, mentre C e S erano presenti in egual misura, tanto che la strategia identificata era CS/CSR. A partire da agosto, tuttavia la strategia si modifica e diventa CS, con una spiccata tendenza alla stress-tolleranza, che diventa ancor più evidente ad ottobre, quando la strategia si modifica ulteriormente, diventando S/CS. La strategia media è CS/CSR, questo significa che le componenti C ed S sono predominanti. Si ricordi che il maggiociondolo alpino è una specie pioniera, che spesso invade i prati e i pascoli abbandonati e, grazie alla simbiosi che instaura con i microrganismi azotofissatori, prepara il terreno all'arrivo di nuove specie, più esigenti in termini di azoto. Ciò significa che deve essere in grado di resistere a condizioni di stress, quali carenze di nutrienti nel suolo e aridità, ma allo stesso tempo deve mettere in atto delle strategie per competere con altre specie pioniere, sia arboree che arbustive, che tipicamente colonizzano i prati montani abbandonati. Infine, non è da sottovalutare anche la presenza della componente ruderale, il che la rende resistente a disturbi di varia natura. Confrontando i dati ottenuti (C=38%; S=49%; R=13%) con quelli proposti dalla letteratura (C=41%; S=40%; R=19%) (Pierce et al., 2017), si nota come, nel presente studio valori simili si sono ottenuti nei mesi di giugno e luglio, quando la strategia è CS/CSR.

Osservando i dati relativi a *Corylus avellana*, anche in questo caso si assiste a più di una variazione della strategia. Per i mesi di maggio e giugno questa è di tipo CR/CSR, il che presuppone il fatto che le componenti C e R sono predominanti rispetto a S.

Successivamente, da luglio in poi, la componente stress-tollerante aumenta, ed è massima proprio in questo mese, tanto che la strategia diventa S/CSR, per poi modificarsi nuovamente negli ultimi tre mesi e trasformarsi in CSR. Infatti, anche se in proporzione leggermente inferiore rispetto alle altre due componenti, i valori di R superano il 25%. Il nocciolo, essendo una pianta che si sviluppa poco in altezza e spesso assume portamenti più arbustivi che arborei, riesce a sopravvivere in boschi radi o al più ai margini delle foreste. Resiste bene agli stress, incluse carenza idrica e aridità del suolo, e ai disturbi. Anche nel suo caso, come già affermato precedentemente per il castagno, il nocciolo possiede un'elevata capacità pollonifera, che gli permette di resistere molto bene ai disturbi meccanici. Confrontando i dati ottenuti (C=35%; S=38%; R=27%) con quelli proposti dalla letteratura (C=29%; S=59% R=12%) (Pierce et al., 2017), si osserva come una strategia analoga si riscontra nel mese di luglio (S/CSR). Infine, anche per *Populus tremula* si sono notate una serie di variazioni di strategia: a maggio è di tipo CS/CSR, mentre a giugno, dopo una diminuzione in termini percentuali della componente R, diventa CS; mentre a partire da luglio la componente di stress-tolleranza risulta preponderante e la strategia si trasforma in S/CS. In questo caso la componente C diminuisce di mese in mese, mentre la componente S subisce un considerevole incremento, tanto da diventare la componente prevalente. Il pioppo tremulo è una specie pioniera ed eliofila, che tollera molto bene gli stress, soprattutto carenze idriche e aridità; si trova quasi sempre in associazione con altre specie arboree, nei confronti delle quali entra in competizione. Confrontando i dati ottenuti (C=36%; S=58%; R=6%) con quelli proposti dalla letteratura (C=32%; S=56%; R=12%) (Pierce et al., 2017), si nota come, nel presente studio, valori simili si hanno nel mese di luglio (S/CS), anche se in questo caso, i valori di R ricavati sono inferiori rispetto a quelli proposti da Pierce, che per il pioppo tremula riporta una strategia funzionale di tipo S/CSR.

Se si osservano le informazioni ricavate dalla misurazione della concentrazione della clorofilla, possiamo distinguere diverse situazioni. Nel primo caso, per quattro specie (*Laburnum alpinum*, *Corylus avellana*, *Populus tremula* e *Castanea sativa*), il grafico che rappresenta l'andamento del contenuto di clorofilla ha una forma a campana, dunque con valori maggiori nei mesi estivi centrali. Questo accade perché nei mesi più caldi e soleggiati dell'anno le condizioni per svolgere i processi fotosintetici sono

ottimali per le piante; dunque, anche la concentrazione di clorofilla all'interno del mesofillo è maggiore, al fine di intercettare al meglio l'energia luminosa della radiazione solare. Per altre quattro specie (*Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Fagus sylvatica* e *Corylus avellana*) risulta che nel mese di ottobre ci sia stato un incremento del contenuto di clorofilla rispetto al mese precedente. Probabilmente questo può essere attribuito al fatto che, ad ottobre a Edolo, si sono registrate temperature ben al di sopra della media mensile; dunque, l'ingiallimento delle foglie e la conseguente filloptosi sono state posticipate, e le specie hanno approfittato di questa situazione intensificando i processi fotosintetici anche nel primo periodo autunnale. *Prunus avium* e *Acer pseudoplatanus*, infine, presentano un andamento ancor più interessante: il contenuto di clorofilla subisce un primo incremento durante la fase di fruttificazione (giugno per il ciliegio selvatico e luglio per l'acero), e un secondo aumento a settembre, quando ormai la fase riproduttiva della pianta è giunta al termine. Si può ipotizzare che un incremento dei processi fotosintetici nel mese di settembre serva ad accumulare fotosintetati che verranno sfruttati la primavera successiva per la fioritura, nel caso del ciliegio e per lo sviluppo dei germogli, nel caso dell'acero di monte; entrambi sono processi che richiedono la presenza di cospicue riserve di energia all'interno della pianta. Infine, osservando i grafici relativi alla relazione tra contenuto di clorofilla fogliare e componente C, S e R, si può evincere che, all'aumentare della concentrazione di clorofilla la strategia R tende a diminuire, mentre la S ad aumentare. Per la strategia C, invece, non si evidenzia una relazione così evidente. Dunque, per alcune specie, al variare dei mesi varia il contenuto di clorofilla, soprattutto rispetto al primo mese, e varia anche la strategia. Per questo motivo, svolgere le analisi CSR (di latifoglie caduche) in qualsiasi mese può risultare fuorviante, dal momento che potrebbero fornire risultati scorretti. Per le specie che hanno variato la propria strategia nei mesi è possibile affermare che luglio sia il mese più adatto per raccogliere i campioni, dal momento che in questo periodo i valori CSR derivanti dalle analisi sono risultati il più simili possibile rispetto a quelli riportati da Pierce et al. (2017) e ai valori medi ottenuti in questo studio. Sarebbe opportuno, in futuro, ripetere questo studio considerando altre specie arboree o erbacee, così da definire nel modo più preciso possibile il periodo in cui risulta essere più corretto raccogliere i campioni fogliari, al fine di ottenere una strategia CSR il più esatta possibile.

7. CONCLUSIONI

Il presente elaborato ha permesso di valutare per la prima volta come la strategia CSR di dieci specie di latifoglie caducifoglie delle Alpi vari mensilmente, durante l'arco della stagione vegetativa, da maggio a ottobre. Dai risultati ottenuti è stato possibile notare come per le specie *Prunus avium*, *Betula pendula*, *Laburnum alpinum*, *Corylus avellana* e *Populus tremula*, ovvero, la metà di quelle oggetto di studio, la strategia CSR si modifichi sensibilmente al progredire dei mesi. In particolare, se le componenti C e R tendono, in generale, a diminuire al progredire della stagione, lo stesso non si può dire per la componente S, che subisce incrementi (sovrastime) più o meno sensibili, in base alla specie che si prende in considerazione. In particolare, questo si verifica nel primo mese (maggio), in cui i tessuti delle foglie sono ancora giovani e con un contenuto di clorofilla minore.

Questo esperimento ha permesso anche di analizzare l'andamento del contenuto di clorofilla fogliare nel corso dei mesi, ed è emerso come nella metà dei casi questa assuma una distribuzione normale, con valori più elevati nei mesi estivi, centrali, e più bassi in primavera e autunno. Inoltre, è stato possibile individuare una relazione tra la concentrazione di clorofilla all'interno del mesofillo fogliare e le percentuali R e S che concorrono alla definizione della strategia complessiva.

Infine, i risultati emersi da questo studio potrebbero contribuire al miglioramento della metodologia delle analisi della strategia CSR delle specie vegetali e possono essere utili ai ricercatori, al fine di porre attenzione al periodo in cui risulta essere più opportuno effettuare il campionamento fogliare. Infatti, la raccolta delle foglie a inizio o tarda stagione potrebbe influire sulla valutazione della strategia CSR, sovrastimando o sottostimando alcune componenti.

8. BIBLIOGRAFIA

- *Acta Plantarum*. <https://www.actaplantarum.org/> (ultimo accesso 25/10/2023).
- *ARPA Lombardia*. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente. <https://www.arpalombardia.it/> (ultimo accesso 24/11/2023).
- Baltieri M., Fantinato E., Del Vecchio S., Buffa G (2020). *Intraspecific variability of leaf traits and functional strategy of Himantoglossum adriaticum* H. Baumann. *Plant Sociology*, vol.57, n°2. Pag. 105-112.
- Dalla Fior G. (1962). *La nostra flora*. G. B. Monauini, Trento. Pagine consultate: 394, 261, 266, 267.
- *Euforgen*. European Forest Genetic Resources Programme. Regione Lazio, Direzione Regionale Ambiente e Cooperazione tra i Popoli, Centro Regionale di Educazione e Informazione Ambientale (CREIA) <https://www.euforgen.org/> (ultimo accesso 25/10/2023).
- *FloraVeg.EU* <https://floraveg.eu/> (ultimo accesso 21/11/2023).
- Giupponi L. e Giorgi A. (2019). *A contribution to the knowledge of Linaria tonzigii Lona, a steno-endemic species of the Orobic Bergamasche Regional Park (Italian Alps)*. *Eco.mont Journal on Protected Mountain Areas Research and Management*, vol. 11, n° 1
- Giupponi L. e Giorgi A. (2019). *Effectiveness of modern leaf analysis tools for the morpho-ecological study of plants: the case of Primula albenensis*. *Nordic Journal of Botany*, vol. 37, issue 8
- Giupponi L. (2020). *Intraspecific variation in functional strategy and leaf shape of Campanula elatinoides reveals adaptation to climate*. Vol. 268, pag. 151605
- Giupponi L. (2023). *Dispense del corso di Ecologia Forestale*, Università degli studi di Milano, Facoltà di Agraria.
- Gratani L. (1994). *Risposta fotosintetica ed adattamenti morfologici fogliari di alcune specie arbustive sempreverdi, a variazioni microclimatiche*. *Ecologia mediterranea*, tome 20 n°3-4.

- Grime J. P. (1974). *Vegetation classification by reference to strategies*. Nature, vol. 250, pag. 26-31.
- Grime J. P. (1977). *Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory*. The American Naturalist, vol. 111, n°. 982, pag. 1169-1194.
- Grime J. P. (2001). *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. Wiley, Chichester. Consultati capitoli 1 e 2.
- Hecker U. (1988). *Latifoglie piante legnose spontanee dell'Europa continentale*. Zanichelli, Bologna.
- Hodgson J. G., Wilson P. J., Hunt R., Grime J. P. and Thompson K. (1999). *Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem*. Oikos, vol. 85, n°2, pag. 282-294.
- Pierce S., Brusa G., Vagge I. e Cerabolini B. E. L. (2013). *Allocating CSR plant functional types: the use of leaf economics and size traits to classify woody and herbaceous vascular plants* Functional ecology. Functional Ecology, vol. 27, issue 4, pag. 1002-1010.
- Pierce S. et al. (2017). *A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide* Functional ecology. Functional Ecology, vol. 31, issue 2, pag. 444-457.
- Pierce S. et al. (2017). *A field-portable list of CSR strategies* Pierce et al. (2017) Functional Ecology, vol. 31, issue 2, pag. 444-457.
- Pierce et al. (2017). *StrateFy', the global vascular plant CSR calculator tool from Pierce et al. (2017); Funct. Ecol. 31(2), 444-457) in Microsoft Excel format*. Functional Ecology, vol. 31, issue 2, pag. 444-457.
- Pignatti S. (1995). *Ecologia vegetale*. UTET.
- Pignatti S. (2017). *Flora d'Italia*. Edagricole, Bologna.
- *Prodromo della vegetazione italiana*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. <https://www.prodromo-vegetazione-italia.org/> (ultimo accesso il: 28.10.2023).

- Tobias D. J., Yoshikawa K., Ikemoto A., Yamaguchi Y (1994). *Seasonal Changes of Leaf Chlorophyll Content in the Crowns of Several Broad-leaved Tree Species*. Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology. Volume 20 (1994), Issue 1, pages 21-32.

9. RINGRAZIAMENTI

I miei ringraziamenti sono rivolti al Dott. Luca Giupponi, che con pazienza mi ha seguita durante la stesura della tesi e l'attività di tirocinio, insieme alla Dott.ssa Valeria Leoni e al Dott. Marco Zuccolo.

Inoltre, ringrazio la mia famiglia. Mia mamma per prima, che con la grande fiducia che ha sempre avuto nei miei confronti, mi ha permesso di affrontare al meglio questi tre anni, i più difficili ma forse anche i più belli della mia vita. Ringrazio mia sorella Laura che, pur essendo tanto diversa da me è sempre stata un punto di riferimento e un rifugio sicuro. Ringrazio il mio fratellino Federico, che mi insegna più cose di quanto dovrei insegnare io a lui e che mi fa tornare bambina in ogni momento che trascorro con lui.

Ringrazio i miei nonni, che mi hanno cresciuta e sono stati dei secondi genitori, che con la loro saggezza mi hanno insegnato ad apprezzare ogni istante che ci è permesso trascorrere in questo mondo.

Ringrazio la mia bellissima "famiglia allargata", con la quale abbiamo condiviso lacrime e risate, e che mi ha insegnato fin da piccola come gli amici siano la famiglia che ci scegliamo, sulla quale potremmo sempre contare.

Ringrazio tutte le persone che posso chiamare miei amici, prima tra tutte Gaia, amica fedele e speciale, con la quale ho condiviso la vita intera.

Per questi tre anni splendidi ringrazio le mie prime coinquiline, Chiara, Magda e Valentina, che sono state come delle sorelle maggiori, che mi hanno accolta a braccia aperte e con le quali ho condiviso serate film, ricette segrete, passeggiate con la Viola sempre al seguito, notti di chiacchiere, risate fino a farsi venir le lacrime, ma soprattutto ricordi che rimarranno indelebili nella mia mente.

Ringrazio Silvia, la mia "coinquilina storica" e la sua Luna, che hanno reso questi tre anni meravigliosi e indimenticabili.

Ringrazio Pamela, con la quale ho condiviso ore di studio, soprattutto notturno, ma anche lacrime e abbracci.

Ringrazio tutte le persone splendide che hanno reso e rendono quest'esperienza speciale. Ringrazio Edolo, che nella sua semplicità mi ha fatto scoprire un luogo che potrò chiamare casa, dovunque mi troverò in futuro.

Infine, ringrazio te babbo, la mia grande roccia, tu che mi ha fatto innamorare della Montagna, che non smetto di amare nemmeno ora che ti ha portato via, nemmeno ora che rappresenta il luogo dove amore e morte sono divise da un confine finissimo, nemmeno ora perché mi ricorda di te. Grazie perché mi hai insegnato ad amare e rispettare questo posto, che silenzioso come lo eri tu, insegna più di mille libri. Insegna a faticare, a credere nelle proprie forze, a tendere una mano a chi fa fatica, ma soprattutto insegna ad amare le persone che sono sul sentiero con noi. Grazie babbo perché è stato un onore camminare con te, perché vedo ancora i tuoi passi che mi guidano, davanti a me, ogni volta che sono su un sentiero e che mi fanno scegliere la strada giusta. Spero di averti reso orgoglioso di me.