DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

FLORAL TRAITS E FENOLOGIA RIPRODUTTIVA DI *ECHIUM PLANTAGINEUM L.*

Applicazione e Valutazione di un nuovo protocollo di rilevamento

FLORAL TRAITS AND REPRODUCTIVE PHENOLOGY OF *ECHIUM PLANTAGINEUM L.*
Application and Evaluation of a New Sampling Protocol

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
ALESSANDRO MARZIALI

Relatore:
PROF.SSA SIMONA CASAVECCHIA

Correlatore:
DOTT.SSA LARA LUCCHETTI

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

“Possiamo soltanto decidere
cosa fare con il tempo
che ci viene concesso”
-Gandalf

INDICE

Acronimi e Abbreviazioni 5

1. Introduzione 6

1.1. Studio e monitoraggio dei floral traits 6

1.2. Studio e monitoraggio fenologico 9

1.3 Obiettivi della tesi 10

2. Materiali e metodi 12

2.1. Area di studio 12

2.1.1. Caratteristiche floristiche dell'area di studio *14*
2.1.2. La scelta della specie oggetto di studio: Echium plantagineum L. e sue caratteristiche *17*
2.1.3 Interesse per gli impollinatori riguardo Echium plantagineum L. *21*
2.1.4 Il declino degli impollinatori *24*

2.2. Metodologia di studio dei floral traits 25

2.2.1. Disegno di campionamento *26*
2.2.2. Periodo di campionamento *27*
2.2.3. Individuazione dell'unità fiorale *27*
2.2.4. Floral area *28*
2.2.5. Flower size *30*
2.2.6. Floral height *32*
2.2.7. Flower depth and width *33*

2.3. Metodologia di studio fenologico 34

2.3.1. Disegno di campionamento *35*
2.3.2. Periodo e intervallo di campionamento *35*
2.3.3. Rilievo fenologico secondo il manuale di rilevamento Michelot-Antalik et al. 2025 ..... *35*
2.3.4. Metodologia di rilievo fenologico secondo i Giardini fenologici italiani *39*

3. Risultati e discussioni 41

3.1. Risultati dello studio dei floral traits 41

3.1.1. Risultati e discussioni delle misurazioni della Floral area *41*
3.1.2 Risultati e discussioni delle misurazioni della Flower size *42*
3.1.3 Risultati e discussioni delle misurazioni della Floral height *43*
3.1.4 Risultati e discussioni delle misurazioni di Flower depth and width *46*

3.2 Risultati e discussioni dello studio fenologico 48

3.2.1 Risultati e discussioni dello studio fenologico secondo il Manuale di rilevamento Michelot-Antalik et al. 2025 ..... *48*
3.2.2 Risultati e discussioni dello studio fenologico secondo i Giardini fenologici italiani *51*

3.3. Confronto tra i dati fenologici ottenuti secondo il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) e il protocollo dei Giardini Fenologici Italiani 58

4. Osservazioni, criticità e proposte 62

5. Conclusioni 66

6. Bibliografia e sitografia..... 69

Acronimi e Abbreviazioni

DOY	Day of Year
FU	Floral unit o Unità fiorale
FD	Floral density
SIRMIP	Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico

1. Introduzione

1.1. Studio e monitoraggio dei floral traits

I functional traits o tratti funzionali delle specie vegetali sono definiti come le caratteristiche morfologiche, fisiologiche o fenologiche misurabili nell'individuo che indirettamente influiscono sulla crescita, riproduzione e sopravvivenza (E-Vojtkó et al. 2020).

Storicamente, il termine **"tratto"** è migrato dal linguaggio comune a diverse discipline scientifiche, tra cui la genetica quantitativa, l'ecologia fisiologica e la demografia delle popolazioni. Inizialmente, seguendo la proposta di Darwin (1859), i tratti venivano utilizzati principalmente come **indicatori o "proxy" della performance** di un organismo. Tuttavia, negli ultimi decenni, lo sviluppo dell'ecologia delle comunità e degli ecosistemi ha spinto il concetto di tratto oltre questi confini originari, portando a un'applicazione del termine a vari livelli di organizzazione, dal singolo individuo all'intero ecosistema (Violle et al. 2007).

I functional traits riflettono i risultati dell'interazione dei componenti abiotici e biotici e per questo il loro studio permette di approfondire tematiche come la distribuzione delle specie e degli individui all'interno di gradienti ambientali e la coesistenza delle specie all'interno di una comunità (Michelot-Antalik et al. 2025).

Storicamente, l'ecologia basata sui functional traits si è focalizzata prevalentemente su caratteristiche vegetative legate all'acquisizione di risorse e alla sopravvivenza, come l'area fogliare o l'altezza della pianta, ovvero sui cosiddetti tratti correlati alla strategia Leaf-Height-Seed (LHS), privilegiando caratteristiche vegetative legate alla competizione e al recupero delle risorse tuttavia, questo schema trascura spesso gli organi coinvolti nella riproduzione sessuale, rendendo necessaria l'integrazione dei floral traits, o tratti fiorali, per comprendere appieno le dinamiche delle comunità vegetali (E-Vojtkó et al. 2020, Michelot-Antalik et al. 2025).

Tra i functiontal traits, i floral traits descrivono organi e strutture direttamente correlati alla riproduzione, fondamentali nell'ambito dell'ecologia dell'impollinazione e dell'attrattività nei confronti dell'impollinatore (Michelot-Antalik et al. 2025). Altri autori (E-Vojtkó et al. 2020) specificano che con i floral traits ci si riferisce esclusivamente a caratteristiche del fiore che hanno una funzione biologica e un'importanza ecologica, influenzando la fitness dell'individuo, senza alcun riferimento a termini come "reproductive traits" (tratti riproduttivi) che generalmente includono le caratteristiche di semi e frutti. I floral traits, in questo senso, includono tratti coinvolti nella capacità di riproduzione sessuata (in contrapposizione alla riproduzione vegetativa), il potenziale di impollinazione incrociata rispetto all'autofecondazione, la fisiologia, la morfologia e la fenologia dei fiori o delle infiorescenze e il modo in cui vengono impollinati (Klotz et al., 2002).

Lo studio dei floral traits di una comunità permette di comprendere non solo i processi riproduttivi e l'interazione impollinatore-pianta, ma considera la diversità delle caratteristiche delle piante che sono essenziali per attrarre impollinatori diversi, permettendo di trarre conclusioni generali, senza limitarsi a singole specie (Michelot-Antalik et al. 2025).

In questo contesto, ad esempio, la frequenza di visita dei fiori di una specie non dipende esclusivamente dai tratti del singolo fiore, ma è strettamente legata alla composizione della

comunità di cui fa parte, ma anche degli impollinatori che la visitano. Da un lato, specie con fioriture abbondanti tendono a interagire con una maggiore diversità di impollinatori rispetto a specie con fioriture scarse. Allo stesso modo, il tasso di visita aumenta proporzionalmente all'abbondanza dei visitatori presenti nell'area. Dall'altro lato, la competizione o la facilitazione tra piante diverse può determinare il successo riproduttivo della singola specie. In definitiva, una pianta può beneficiare della capacità di attrarre una vasta gamma di impollinatori per massimizzare la propria fitness in un ambiente comunitario dinamico (Zhao et al. 2016).

Per comprendere appieno tali dinamiche sistemiche, lo studio dei floral traits risulta uno strumento di fondamentale utilità, permettendo di decodificare i meccanismi che regolano l'attrattività e la riproduzione a scala di comunità. Inoltre, in un'epoca di rapidi cambiamenti ambientali, comprendere questi tratti è cruciale per prevedere possibili mismatch (disallineamenti) fenologici tra piante e impollinatori, che potrebbero minacciare la stabilità degli ecosistemi.

Ad oggi, tuttavia, lo studio dei tratti fiorali è sottorappresentato nei database globali a causa della complessità morfologica dei fiori e della difficoltà di misurazione in situ. Ad esempio, in uno dei più grandi database su functional traits disponibili a livello internazionale come TRY (Kattge et al., 2020) che comprende circa 300.000 specie, i dati si concentrano prevalentemente sui caratteri vegetativi.

Per colmare questo divario metodologico, il recente "Handbook of protocols for standardized measurements of floral traits" (Michelot-Antalik et al., 2025) ha introdotto protocolli standardizzati per 24 tratti fiorali fondamentali, con particolare riferimento all monitoraggio delle comunità temperate**.** Il Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025) presenta protocolli standardizzati dedicati al monitoraggio di 24 floral traits, ai quali sono aggiunte 4 caratteristiche aggiuntive a livello di comunità, applicabili a un ampio insieme di specie vegetali temperate. Per ogni floral traits il Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025) fornisce:

- Unità di misura preferibile
- Esempi dei range di valori previsti
- Raccomandazioni sulle dimensioni di campionamento minime e su quelle raccomandabili
- Tempi stimati di campionamento

In una guida aggiuntiva definita “Supporting information” (Michelot-Antalik et al., 2025), vengono inoltre forniti per ogni traits:

- Una breve introduzione sulle sue caratteristiche ecologiche
- Cosa misurare e come fare le misurazioni o le analisi
- Casi speciali
- Riferimenti bibliografici

Nel Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025), i floral traits sono raggruppati in 3 categorie, di seguito elencate:

1. Visual and olfactory cues (segnali visivi e olfattivi):

1.1. Floral area
1.2. Flower size
1.3. Floral height
1.4. Floral reflectance
1.5. Profile of volatile organic compounds

2. Accessibility (accessibilità)
   2.1. Floral longevity
   2.2. Flower depth and width
   2.3. Anther exsertion
3. Resources (risorse):
   3.1. Nectar
      3.1.1. Nectar volume
      3.1.2. Nectar sugar concentration
      3.1.3. Nectar sugar content
      3.1.4. Nectar sugar composition
      3.1.5. Nectar amino acid composition
      3.1.6. Nectar phenolic and alkaloid composition
   3.2. Pollen
      3.2.1. Pollen grain number
      3.2.2. Pollen grain size
      3.2.3. Total pollen volume
      3.2.4. Total pollen protein concentration
      3.2.5. Pollen polypeptide composition
      3.2.6. Pollen amino acid composition
      3.2.7. Pollen lipid composition
      3.2.8. Pollen sterol composition
      3.2.9. Pollen alkaloid composition

Le 4 caratteristiche aggiuntive a livello di comunità sono considerate distintamente nel Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025) in quanto non sono propriamente floral traits. Tuttavia, esse vengono frequentemente rilevate negli studi sui tratti fiorali, soprattutto perché sono necessarie per estrapolare le misurazioni dei tratti dalle singole specie vegetali all'intera comunità, tenendo conto delle differenze spaziali (di paesaggio) e temporali (fenologiche). Queste caratteristiche aggiuntive a livello di comunità, definite "Floral features for data scaling up at community level" sono di seguito elencate:

1. Floral density
2. Floral density per unit of vegetation cover
3. Floral cover
4. Flowering phenology

Il Manuale (Michelot-Antalik et al.,2025) dedica un approfondimento alla definizione di Unità fiorale o Floral unit (di seguito FU), unità sulla quale effettuare le misurazioni dei flora traits. Da un punto di vista pratico, una FU è definita come uno o più fiori che possono essere visitati da un impollinatore camminando, senza dover volare durante la ricerca di cibo. Una FU è stata definita anche come un'immagine visiva distinta che gli impollinatori

percepiscono a distanza (Michelot-Antalik et al., 2025). Solitamente queste definizioni portano a definire una FU come un singolo fiore, un capolino, un'infiorescenza o un gruppo di rami. Tuttavia, queste definizioni hanno anche un certo grado di soggettività, che può portare a differenze nella definizione di FU per alcune specie in letteratura.

Il Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025) offre protocolli semplici e pronti all'uso anche per non specialisti, facilitando la raccolta di dati in situ per un ampio numero di specie contemporaneamente. Fornendo unità di misura preferibili e metadati standardizzati, il protocollo garantisce che i dati raccolti da diversi ricercatori possano essere integrati in database globali e condivisi efficacemente.

Sulla base di questi presupposti, in seguito alla recente pubblicazione del Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025), la comunità scientifica italiana ha avviato nel 2026 il Progetto ANTHOS - ItAlian NeTwork for Harmonized data on flOwer traitS, nato dalla collaborazione tra il gruppo di lavoro per l'ecologia e il gruppo di lavoro per la fenologia e le strategie vitali della Società Botanica Italiana (SBI). Tra gli obiettivi del progetto ANTHOS vi è quello di creare e mantenere un database nazionale di caratteri fiorali raccolti in maniera standardizzata, di fatto assente nel panorama italiano. I dati sono raccolti a livello di individuo facendo riferimento alla metodologia del Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025).

Anticipando quanto sarà spiegato più approfonditamente nei paragrafi successivi, nella presente tesi, il Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025) viene preso in considerazione per le misurazioni di flora traits quali Floral area, Flower size, Floral height, Flower depth and width e delle caratteristiche aggiuntive a livello di comunità di vegetale quali Floral density e Flowering phenology di *Echium plantagineum* L., in una stessa stazione di campionamento tra la primavera e l'estate 2025.

1.2. Studio e monitoraggio fenologico

La fenologia, o meglio fitofenologia, è una disciplina scientifica che studia i fenomeni ricorrenti delle piante, che si manifestano nel tempo attraverso variazioni visibili nell'aspetto (Puppi, 2008).

La fenologia della fioritura è un processo biologico che influenza la fitness di una pianta, l'interazione con gli impollinatori e la probabilità ad essere esposta a condizioni climatiche avverse. Permette la comprensione delle risposte biologiche ai cambiamenti climatici e la potenziale interruzione delle interazioni pianta-impollinatore (Michelot-Antalik et al., 2025).

Lo studio fenologico può dare utili informazioni sui tempi e sulla durata della disponibilità di risorse nelle comunità ecologiche ad esempio: quantità di polline e nettare disponibili per gli impollinatori, disponibilità di frutta per gli animali (incluso l'uomo), competizione delle piante per i servizi dati dagli impollinatori e per la dispersione di semi (Haggerty e Mazer,2008). Lo studio fenologico può costituire l'obiettivo principale di una ricerca, ad esempio nell'analisi delle fasi di sviluppo delle piante agrarie o nel monitoraggio del successo riproduttivo di specie spontanee rare o minacciate. Tale studio può riguardare una singola specie, ma anche intere comunità vegetali, come nel caso dell'analisi del ritmo stagionale delle fitocenosi forestali o prative (Puppi Branzi 1989). In ambito agricolo la

fenologia diventa uno strumento utile per valutare il miglior momento per eseguire trattamenti fitosanitari, valutare danni da grandine, pianificare la zonazione delle colture e la pianificazione agricola (Ruml e Vulic 2005; Schirone 1989; Mandrioli 1993; Borin 2012; Haggerty and Mazer 2008).

L'obbiettivo comune degli studi fenologici di base è quello di definire i periodi in cui si manifestano gli eventi chiave del ciclo vitale, definiti fenofasi. Le fenofasi che riguardano la fenologia della fioritura si possono ad esempio semplicemente riassumere in una sequenza come quella che segue:

- presenza di boccioli fiorali chiusi
- fiori aperti
- piena fioritura
- fiori sfioriti

I vari modi e tempi in cui ogni specie conclude una fenofase possono tuttavia complicare l'identificazione e l'assegnazione delle tempistiche della fenofase stessa (Haggerty & Mazer 2008).

Così come verrà più ampiamente illustrato nei paragrafi successivi, nella presente tesi vengono condotti monitoraggi fenologici per monitorare il periodo di fioritura e fruttificazione di *Echium plantagineum* L., utilizzando sia la metodologia di rilievo fenologico "classica" così come viene proposta dai Giardini Fenologici Italiani (Malossini et al. 1993, Puppi 2008) sia la metodologia proposta dal Manuale di rilevamento proposto da Michelot-Antalik et al. 2025.

1.3 Obiettivi della tesi

La presente tesi ha l'obiettivo di raccogliere dati sulle caratteristiche fiorali e della fenologia riproduttiva di *Echium plantagineum*, applicando il protocollo di rilevamento proposto dal Manuale di Michelot-Antalik et al. (2025).

Echium plantagineum è una pianta spontanea utile agli impollinatori sia per il polline che per il nettare e oggetto di studio da parte del gruppo di Botanica del D3A e dell'Orto Botanico "Selva di Gallignano" dell'UNIVPM per la composizione di miscugli di semi da specie spontanee di origine locale nell'ambito del progetto Cariverona Habitat "Seeds&Bees", come sarà approfondito in seguito nel paragrafo 2.1.2.In particolare, i Floral traits presi in considerazione per tale specie sono di seguito elencati, utilizzando la terminologia del Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025) seguiti da una breve traduzione:

- Floral area o area fiorale
- Flower size o superficie dei petali
- Floral height o altezza minima dal suolo del fiore più alto
- Flower depth and width o profondità e larghezza del fiore

Per quanto riguarda il monitoraggio fenologico, alla metodologia di rilevamento proposta nel Manuale viene aggiunta quella proposta dai Giardini Fenologici Italiani.

Lo scopo è quello di verificare la praticabilità operativa del Manuale (Michelot-Antalik 2025), proponendo eventualmente suggerimenti di miglioramento sulla base delle esperienze condotte in campo.

I monitoraggi dei floral traits e della fenologia riproduttiva sono stati condotti in individui di *Echium platagineum* L., una pianta spontanea e comune nel territorio di Ancona, nella primavera-estate del 2025. Gli individui appartenevano tuti allo stesso popolamento di *E. plantagineum* presente al Parco del Cardeto nella città di Ancona.

2. Materiali e metodi

2.1. Area di studio

L'area di studio individuata ai fini del monitoraggio fenologico e di floral traits è situata sul versante meridionale del Colle dei Cappuccini, all'interno del Parco del Cardeto, nel comune di Ancona.

Il Parco del Cardeto si estende su un'area complessiva di circa 35 ha e si trova tra il centro storico del capoluogo marchigiano e il mare Adriatico, su un territorio compreso tra il colle Cappuccini e il Colle Cardeto. Il Parco è un continuo ecologico e geografico con il vicino Parco del Conero.

L'area di studio (fig. 1, 2 e 3) è localizzata in prossimità del ciglio della falesia a mare, lungo la strada che costeggia l'Antico Cimitero Ebraico. Le sue dimensioni sono di 30 m di lunghezza e 3 m di larghezza (90 m^2). Il suolo ha una pendenza del 70% con un'esposizione a Sud-Ovest. L'altitudine è di circa 70 m s.l.m.



Figura 1: Vista aerea, dal mare, della porzione di Parco del Cardeto, Colle Cappuccini e area oggetto di studio (Google Earth).



Figura 2: *vista aerea dell'area di studio ottenuta con Qgis*



Figura 3: scarpata individuata come area oggetto di studio

Per definire il clima nella zona di studio, vengono presi in considerazione i dati di precipitazione e temperatura medie del Centro di Ecologia e Climatologia dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale (S.C.A.R.L) di Macerata tratti dallo studio sul campo medio della precipitazione annuale e stagionale sulle Marche e da quello sul campo medio della

temperatura, riferiti al periodo di tempo 1950-2000. Viene presa in considerazione la stazione metereologica di Ancona Torrette per definire il clima del Parco del Cardeto. Nel periodo preso in considerazione (tab. 1-2), la stazione di Torrette ha registrato una media annuale di precipitazioni di 738,7mm, con una massima in autunno di 273,7 mm e una minima in estate di 105,2 mm. Il mese più piovoso si è rivelato novembre con 87,22 mm, mentre il più secco è stato luglio con 45,9 mm.

Mese	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
mm	64,3	56,2	69,00	54,5	49,2	52,24	45,9	55,2	71,7	77,4	87,2	77,1

Tabella 1: precipitazioni medie annuali registrate dalla stazione di Torrette (AN)

Per quanto riguarda le temperature, luglio e agosto hanno registrato le medie mensili più alte con 23,8 °C, mentre gennaio la media mensile più bassa con 5,9°C (tab. 2).

Mese	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
°C	6,0	7,3	10,0	13,6	17,7	22,1	24,1	24,6	21,2	16,8	11,7	7,9

Tabella 2: temperature medie annuali registrate dalla stazione di Torrette (AN)

In base alla classificazione bioclimatica di Rivas-Martinez (2001), il territorio di Ancona è incluso nella regione a macrobioclima temperato oceanico variante submediterranea con periodi di siccità di 1-2 mesi. La località presenta un termotipo mesotemperato inferiore e ombrotipo subumido inferiore; inoltre risente dell'effetto mitigante del mare Adriatico dovuto alle correnti caldo-umide.

2.1.1. Caratteristiche floristiche dell'area di studio

Il primo sopralluogo effettuato a metà aprile 2025 ha permesso di individuare le specie vegetali presenti nei 90 m^2 di superficie individuata come area di studio.

Nell'area sono state individuate 30 specie diverse (tab. 5), con una predominanza di erbacee. Tra le molte terofite (specie annuali) predominano specie come *Avena barbata* Pott ex Link e *Hypochaeris achyrophorus* L. Vi è anche una certa presenza di specie emicriptofite bienni come *Smyrnium olusatrum* L. e *Echium plantagineum* L. ed emicriptofite perenni, anche se quest'ultime meno abbondanti, come *Bromopsis erecta* (Huds.) Fourr. e *Urospermum dalechampii* (L.) F.W.Schmidt. Citiamo la presenza della camefita *Calendula suffruticosa* Vahl subsp. *fulgida* (Raf.) Guadagno, molto diffusa nel territorio del Conero. Tra le geofite, vi sono due specie dei *Allium* (*A. neapolitanum* e *A. roseum*) e *Asparagus acutifolius* L. Alcune delle specie presenti sono riportate nelle immagini seguenti (figg. 4-6).



Figura4: Avena barbata Pott ex Link a sinistra e Hypochaeris achyrophorus L. a destra (Foto: Andrea Moro. Fonte: Progetto Dryades – Università degli Studi di Trieste. Licenza CC BY-SA 4.0.)



Figura5: Bromopsis erecta (Huds.) Fourr a sinistra e Smyrnium olusatrum L a destra (Foto: Andrea Moro. Fonte: Progetto Dryades – Università degli Studi di Trieste. Licenza CC BY-SA 4.0.)



Figura6: Calendula suffruticosa Vahl subsp. fulgida (Raf.) Guadagno (Foto: Andrea Moro. Fonte: Progetto Dryades – Università degli Studi di Trieste. Licenza CC BY-SA 4.0.)

Per quanto riguarda la flora dell'area di studio, le famiglie più rappresentate sono quelle delle Asteraceae e delle Poaceae, seguite dalle Fabaceae (tab. 3).

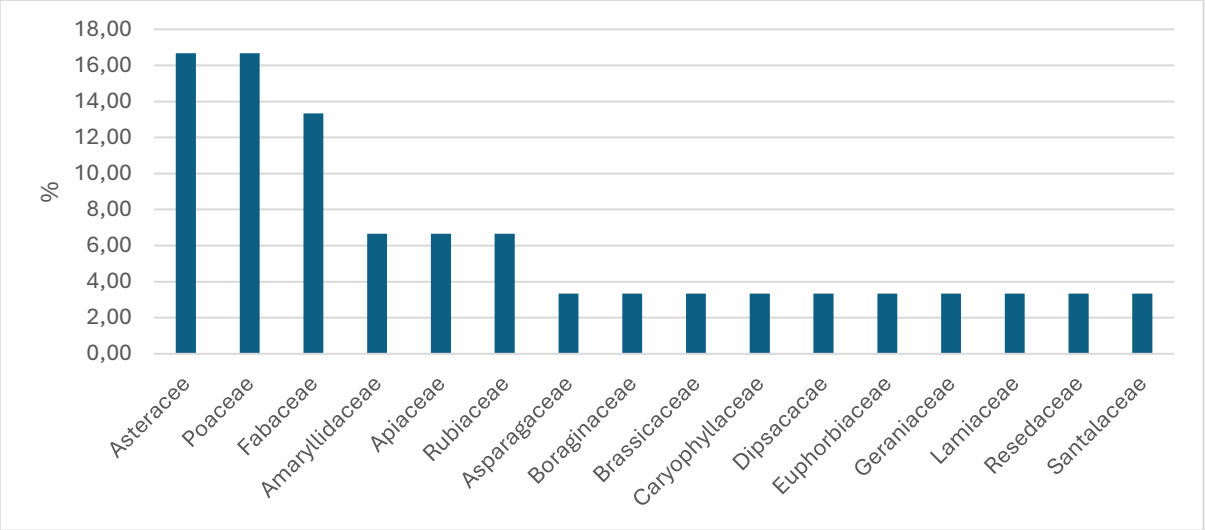


Tabella 3: Ripartizione delle principali famiglie botaniche rilevate nell'area di studio, espresse in percentuale

In merito alla corologia delle specie presenti (tab. 4), si evidenzia una predominanza delle specie di areale mediterraneo, in particolare steno-mediterranee (piante con areale ristretto al bacino del Mediterraneo).

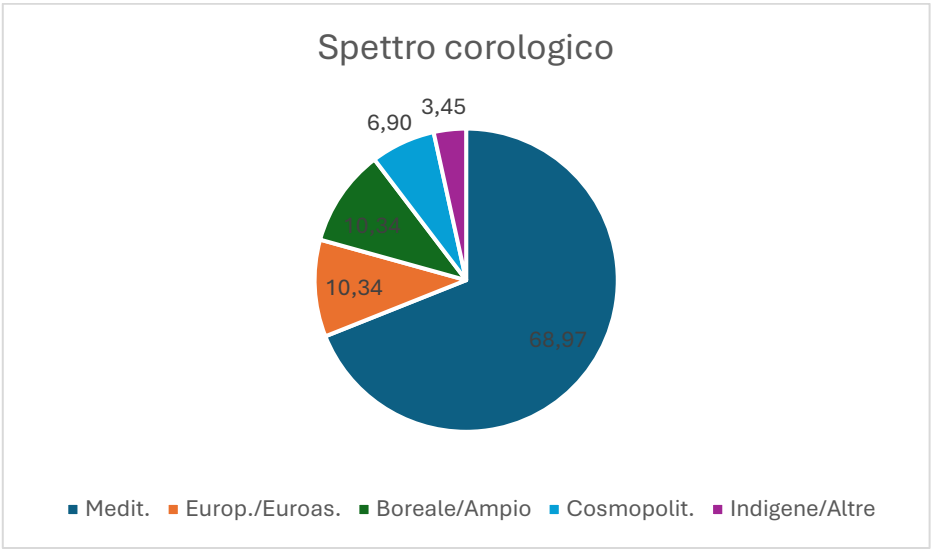


Tabella 4: Spettro corologico della flora censita nell'area di studio

Nell'ambito di accordi tra il gruppo di Botanica del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali dell'UNIVPM e l'Ufficio Verde del Comune di Ancona, dal 2023 la superficie viene risparmiata dallo sfalcio primaverile-estivo che interessa gran parte delle superfici erbacee del Parco del Cardeto. In questo modo la vegetazione prosegue indisturbata nel suo ciclo riproduttivo, fino alla disseminazione dei semi e contemporaneamente viene data la possibilità di procedere con monitoraggi e ricerche su piante e impollinatori.

			Numero	1
			data	21/04/2025
			Altitudine (m)	70
			Esposizione	S-W
			Inclinazione (%)	70
			Ricoprimento (%)	100
			Superficie (mq)	90
			Descrizione	scarpata tra la strada e il margine della falesia
			punto gps	43.623204, 13.517267
Famiglia	Forma biologica	Tipo corologico	Specie	Abbondanza-Dominanza
Poaceae	T scap	Medit.-Turan.	Avena barbata Pott ex Link	4
Asteraceae	T scap	Steno-Medit.	Hypochaeris achyrophorus L.	4
Asteraceae	Ch suffr	indigena	Calendula suffruticosa Vahl subsp. fulgida (Raf.) Guadagno	3
Apiaceae	H bienn	Atl. - Merid.	Smyrnium olusatrum L.	3
Boraginaceae	H bienn-T scap	Euri-Medit.	Echium plantagineum L.	3
Poaceae	T scap	Euri-Medit	Anisantha madritensis (L.) Nevski	3
Poaceae	T scap	Circumbor.	Hordeum murinum L.	3
Poaceae	T scap	Subcosmop.	Bromus hordeaceus L.	3
Brassicaceae	T scap	E-Medit.	Sinapis alba L. subsp. alba	3
Amaryllidaceae	G bulb	Steno-Medit.	Allium neapolitanum Cirillo	2
Dipsacacae	H bienn-T scap	Steno-Medit.	Sixalix atropurpurea (L.) Greuter & Burdet	2
Poaceae	H caesp	Paleotemp.	Bromopsis erecta (Huds.) Fourr.	2
Asteracee	H scap	Euri-Medit.	Urospermum dalechampii (L.) F.W.Schmidt	2
Apiaceae	T scap	Steno-Medit.	Tordylium apulum L.	2
Amaryllidaceae	G bulb	Steno-Medit.	Allium roseum L. subsp. roseum	1
Asparagaceae	G rhiz/NP	Steno-Medit.	Asparagus acutifolius L.	1
Caryophyllaceae	H scap	Paleotemp. divenuta Subcosmop.	Silene vulgaris (Moench) Garcke subsp. vulgaris	1
Fabaceae	T scap	Steno-Medit.	Lotus ornithopodioides L.	1
Geraniaceae	T scap/H bienn	Medit.-Macarones	Erodium malacoides (L.) L'Hér. subsp. malacoides	1
Asteraceae	T scap/H bienn	Euroasiat. divenuta SUBCOSMOP.	Sonchus asper (L.) Hill subsp. asper	1
Fabaceae			Trigonella sp.	1
Asteraceae	H bienn (T scap)	(Euri-) Medit.-Turan.	Carduus pycnocephalus L. subsp. pycnocephalus	+
Lamiaceae	H scap	Medit. Atl.	Salvia verbenaca L.	+
Resedaceae	H scap (T scap)	Europ.	Reseda lutea L. subsp. lutea	+
Santalaceae	NP	Euri-Medit.	Osyris alba L.	+
Euphorbiaceae	T scap	Cosmop.	Euphorbia helioscopia L. subsp. helioscopia	+
Rubiaceae	T scap	Euroasiat.	Galium aparine L.	+
Fabaceae	T scap	Steno-Medit.	Lathyrus ochrus (L.) DC.	+
Rubiaceae	T scap	Eurimedit. divenuta Subcosmop.	Sherardia arvensis L.	+
Fabaceae	T scap	Eurimedit. - Stenomedit.	Medicago arabica (L.) Huds.	+

Tabella 5: Rilievo fitosociologico della comunità vegetale presente nell'area di studio a cui Echium plantagineum appartiene. Ad ogni specie viene attribuito un valore di abbondanza-dominanza secondo la scala di Braun-Blanquet.

2.1.2. La scelta della specie oggetto di studio: *Echium plantagineum* L. e sue caratteristiche

Tra le specie presenti nell'area di studio, *Echium plantagineum* L. (Figura 7) è statascelta come pianta della quale collezionare dati relativi a floral traits e fenologia fiorale.

La scelta della specie è stata fatta sulla base di vari criteri, che riguardano principalmente la sua importanza nei confronti degli impollinatori e , collegato a questo, le caratteristiche peculiari del fiore

Di fatti, la specie, apprezzata da molti impollinatori, come sarà spiegato meglio in seguito, è stata selezionata insieme ad altre piante spontanee nel territorio del Conero tra quelle da includere nella composizione di miscugli di specie di origine locale per il progetto Seed&Bees. Si tratta di un progetto finanziato dalla Fondazione Cariverona della Call Habitat2022 il cui capofila è il Parco del Conero e l'UNIVPM ha funzione di coordinamento scientifico. Gli obiettivi del progetto sono quelli di incrementare e migliorare gli habitat per gli impollinatori nel Parco del Conero attraverso la creazione di miscugli di semi di specie spontanee di origine locale. Pertanto, nell'ambito del progetto sono state individuate varie specie delle quali sono state studiate le caratteristiche fenologiche, morfologiche e germinative.

Tali miscugli di semi trovano impiego nell'arricchimento di praterie, bordure, margini stradali, in zone urbane, semi-urbane e rurali nonché in ambienti degradati. Ad oggi nel mercato italiano e non solo i miscugli di semi disponibili a tale scopo hanno origine prevalentemente estera. Solo alcune piccole realtà nel Nord Est si occupano della produzione di sementi da specie native; il progetto ha lo scopo di colmare queste lacune, con particolare riferimento al territorio del Conero e delle Marche centrali. L'importanza di dotarsi di semi da specie spontanee di origine locale è particolarmente urgente soprattutto laddove gli ambienti nei quali seminare tali miscugli siano localizzati in aree di forte valenza ambientale quali aree protette e siti della Rete Natura 2000.

Tornando alla scelta della specie, a tali considerazioni si sono poi aggiunti aspetti legati alla circostanza operativa, in quanto la pianta si trovava all'inizio della fioritura nel periodo di studio, rendendola idonea al monitoraggio dei floral traits e della fenologia fiorale nel corso del periodo di osservazione.

Le dimensioni e il colore del fiore, presenti in ampi racemi, lo rendono ben identificabile come Unità fiorale di campionamento (FU, vedi paragrafo 2.2.3. "Individuazione dell'unità fiorale"). Il periodo di fioritura prolungato e le fioriture abbondanti consentono di monitorarne la fenologia per più mesi.

Oltre alle caratteristiche intrinseche del fiore e della corolla ai fini delle misurazioni e dei monitoraggi fenologici, la pianta è stata scelta tra quelle possibili anche perché interessante per gli impollinatori, come viene approfondito nel paragrafo 2.1.3 "Interesse per gli impollinatori riguardo Echium plantagineum L"



Figura 4: Esemplare di *Echium plantagineum* L. fografato nel suo complesso



Figura 5 Dettaglio del fiore di Echium plantagineum L. (Foto: Andrea Moro. Fonte: Progetto Dryades – Università degli Studi di Trieste. Licenza CC BY-SA 4.0.)

Di seguito viene riportata la scheda descrittiva di *E. plantagineum* con dettagli su diffusione, habitat, caratteristiche vegetative e riproduttive.

Tassonomia

Ordine	Boraginales Juss. Ex Bercht. & J. Presl
Famiglia	Boraginaceae' Juss.
Tribù	Echieae
Genere	Echium L.

Nomi comuni:

- Viperina piantaginea, Viperina piantagginea (Actaplantarum)

Distribuzione:

- Presente: Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Emilia-Romagna, Lazio, Liguria, Marche, Molise, Puglia, Sardegna, Sicilia, Toscana, Umbria
- Alloctona casuale: Lombardia, Trentino-Alto Adige, Veneto
- Alloctona naturalizzata: Friuli-Venezia Giulia
- Segnalazione erronea: Piemonte

(Portale della Flora d'Italia)

Descrizione:

Pianta erbacea annuale o biennale che raggiunge un'altezza compresa tra i 20-60cm. Presenta densi peli molli su tutti gli organi che gli conferiscono pubescenza.

Le foglie basali (fig. 9 a sinistra) formano una rosetta basale svernante, presentano una forma ovata-lanceolata con dimensioni di 2-4 x 8-14 cm, picciolate, con nervature laterali prominenti. Le foglie cauline (fig. 10 a sinistra) hanno una forma oblanceolato-lineare, sono sessili e quelle superiori sono cordate alla base con il fusto. L'infiorescenza (fig. 9 a destra) è generalmente portata da rami nutanti. Il calice gamosepalo con 5 denti uguali, villosi, lineari, di 8-10 mm alla fioritura e 15mm durante la fruttificazione. La corolla è prima roseo-porporina poi blu, di 18-25 mm, imbutiforme, brevemente pelosa sui margini e sulle nervature. I filamenti sono sparsamente pelosi, con 2 soli stami generalmente sporgenti; stilo non o poco sporgente, stigma bifidoIl frutto (fig. 10 a destra) è uno schizocarpo con 4 mericarpi, monospermi, di 2,5-3,5 x 1,5-2,5 mm, a contorno triangolare, tubercolati, con una ciglia dorsale, una ventrale e due laterali, di colore bruno-grigiastro.

Periodo di fioritura in Italia: febbraio-luglio

Numero cromosomico: 2n=16

Habitat: Incolti aridi e sabbiosi, zone ruderali, bordi strada, da 0 a 1300 m s.l.m.

(Pignatti 2017-2019; Actaplantarum)



Figura 6: rosetta basale a sinistra e infiorescenza a destra di Echium plantagineum L. (Foto: Andrea Moro. Fonte: Progetto Dryades – Università degli Studi di Trieste. Licenza CC BY-SA 4.0.)



Figura 7: foglie cauline a sinistra (Foto: Andrea Moro. Fonte: Progetto Dryades – Università degli Studi di Trieste. Licenza CC BY-SA 4.0.) e semi a destra di Echium plantagineum L.

2.1.3 Interesse per gli impollinatori riguardo *Echium plantagineum* L.

Il genere *Echium* possiede una certa importanza per le api da miele essendo una buona risorsa di nettare, soprattutto in periodi estivi siccitosi e per il fatto di essere una pianta pollinifera (Ricciardelli D'Albore e Persano Oddo, 1978).

Il nettare è una soluzione secreta dai nettari delle piante costituita da zuccheri (saccarosio, glucosio e fruttosio) che soddisfa le esigenze energetiche dell'impollinatore. Viene utilizzato dall'ape mellifera per la produzione di miele, insieme alle melate, ed è impastato con il polline per l'alimentazione delle larve. Il nettare presenta anche piccole percentuali di composti azotati, vitamine, sali minerali, pigmenti, oli essenziali etc.

Nell'ape mellifera il polline riveste un ruolo fondamentale perché viene utilizzato per sfamare le larve e le api nutrici, permette lo sviluppo del corpo adiposo, delle ovaie e delle ghiandole ipofaringee che secernono la "gelatina reale" utilizzata per nutrire le larve nei primi 3 giorni di vita e la regina durante la sua vita.

È stato calcolato che il genere *Echium* possiede un potenziale mellifero di 500kg miele/ha. Per potenziale mellifero di una specie botanica si intende la quantità di miele che si ottiene da una determinata estensione di terreno occupata dalla specie di interesse, in condizioni ottimali. Viene misurato tenendo conto della quantità di nettare prodotto da ogni singolo fiore durante il periodo della fioritura, dalla concentrazione zuccherina media del nettare e dal totale dei fiori presenti nell'estensione di terreno. Da questi dati si può stilare una classifica di sei classi mellifere in base alla loro importanza (tab 6).

I classe	Da 0 a 25 kg miele/ha
II classe	Da 26 a 50 kg miele/ha
III classe	Da 51 a 100 kg miele/ha
IV classe	Da 101 a 200 kg miele/ha
V classe	Da 201 a 500 kg miele/ha
VI classe	Oltre 500 kg miele/ha

Tabella 6: elenco delle classi mellifere, da Ricciardelli D'Albore e Persano Oddo, 1978.

Per quanto riguarda gli altri impollinatori, diversi dall'Ape mellifera, il genere *Echium* è visitato da Apoidei generalisti come il Bombo (Ricciardelli D'Albore, G. 2000; Boni et al. 2025) e da specie oligolettiche (ossia specie che bottinano un ristretto numero di specie vegetali) come *Osmia adunca* Panzer, *O. anthocopoides* Schenk e *O. lepetieri* Pérez. (Ricciardelli D'Albore e Intoppa 2000).

Nel corso dei rilievi fenologici e dei floral traits sono state condotte occasionalmente osservazioni degli impollinatori che visitavano i fiori di *E. plantagineum* Tra questi si possono elencare individui di ape da miele e apoidei selvatici (*Anthophora* sp. pl., *Bombus* sp.pl., *Xylocopa* sp.pl.), lepidotteri (cedronella), rappresentati nella seguente raccolta di immagini (fig. 11).



Figura 11: alcuni degli insetti impollinatori di Echium plantagineum osservati in campo.

Alla luce delle caratteristiche sopra riportate*, Echium plantagineum* L. risulta una specie di interesse per gli impollinatori, sia per la disponibilità di nettare e polline, sia per la sua capacità di essere visitata da diversi gruppi di insetti pronubi. Considerando anche la sua presenza spontanea nel territorio, può essere considerata una specie inseribile in miscugli di semi destinati alla realizzazione di bordure in aree urbane, extraurbane e rurali, contribuendo ad una maggiore disponibilità di risorse per le comunità di impollinatori, anche in contrasto alla crisi che affligge questi insetti a livello globale come sarà approfondito nel paragrafo successivo.

2.1.4 Il declino degli impollinatori

A livello globale è in corso una crisi degli impollinatori caratterizzata dal rischio di estinzione per oltre il 40% degli impollinatori invertebrati, con conseguenti pericoli per gli ecosistemi e la società (IPBES, 2020). Secondo l'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN), il 9% delle specie di api e farfalle è a rischio estinzione, con un declino della popolazione del 31% per le farfalle (IPBES, 2016) e del 37% per le api (IUCN, 2015).

Questo calo diffuso di specie e colonie riguarda sia diversi paesi dell'Unione Europea sia altre aree mondiali come Stati Uniti, Russia e Brasile (Corte dei conti Europea, 2020).

In Italia, sebbene manchino dati numerici definitivi sulle specie a rischio, si osserva un chiaro peggioramento dello stato di salute, della diversità e della numerosità degli impollinatori (ISPRA, 2020).

Le cause del declino degli insetti pronubi sono varie e comprendono (Kluser et al., 2007; Potts et al., 2010; ISPRA, 2020):

- l'agricoltura intensiva che crea un paesaggio omogeneo portando alla perdita di specie vegetali che sono fonte di risorse alimentari;
- pesticidi e altri agenti inquinanti che possono colpire gli impollinatori in modo diretto o indiretto;
- l'uso del suolo per l'urbanizzazione o l'agricoltura che porta alla perdita di habitat;
- l'introduzione di specie esotiche invasive come il calabrone asiatico (Vespa velutina);
- il cambiamento climatico con l'aumento delle temperature.

L'agricoltura intensiva e il cambio di uso del suolo sono tra le principali cause di degrado e frammentazione degli habitat, con conseguente perdita di biodiversità degli impollinatori (Kluser et al. 2007; Potts et al. 2010). Tale degrado compromette attività fondamentali, come nidificazione (specie per gli impollinatori selvatici), alimentazione, riposo e accoppiamento (Kluser et al., 2007).

Per contrastare il declino, la comunicazione UE "a favore degli impollinatori" del 2018 stabilisce obiettivi e azioni basati su tre priorità:

1. migliorare le conoscenze scientifiche su cause e conseguenze del fenomeno;
2. contrastare le cause dirette del declino;
3. sensibilizzare la società e favorire la collaborazione.

Tra le raccomandazioni comunitarie per la salvaguardia rientrano la tutela delle api selvatiche e dei loro habitat, l'uso dei Programmi Agroambientali della PAC, la sensibilizzazione degli agricoltori e il sostegno alla ricerca scientifica (Comitato IUCN Italiano, 2018).Tra le varie azioni che si possono intraprendere anche a livello locale, l'incremento delle risorse utili agli impollinatori apporta sicuramente un beneficio in quanto a incremento di polline e nettare, fonte di alimentazione per tali insetti. L'arricchimento degli ambienti seminaturali o artificiali con piante utili agli impollinatori può essere raggiunto

attraverso l'utilizzo di miscugli di semi di specie utili. Particolare attenzione deve esser riposta nella composizione di tali miscugli, che dovrebbero comprendere:

- semi di specie di varia famiglia e specie;
- semi di specie con fiori di vario colore e forma: la forma di un fiore guida l'insetto lungo percorsi che agevolano il processo di impollinazione (ISPRA, 2021), ogni specie ha coevoluto la forma dei propri fiori con impollinatori diversi quindi fiori di forma diversa richiamano impollinatori diversi;
- semi di specie che fioriscono in vari periodi dell'anno e a fioritura prolungata;
- semi di specie di origine locale: è di fondamentale importanza l'utilizzo di germoplasma autoctono di orgine locale soprattutto nell'utilizzo di miscugli di semi in aree di forte valenza ambientale, così come è importante non introdurre e diffondere specie esotiche invasive, cosa che spesso avviene invece con l'utilizzo di miscugli di dubbia origine. In questo modo, si salvaguardia la biodiversità intraspecifica oltre a quella specifica,

In questo senso, il progetto Seeds&Bees apporta nuovi miscugli di semi con specie native del territorio del Conero.

Infine, con particolare riferimento all'obiettivo principale delle tesi, lo studio dei floral traits e delle caratteristiche morfologiche fiorali in genere si configura esso stesso come un contributo all'accrescimento delle conoscenze delle caratteristiche di attrattività delle specie spontanee nei confronti degli impollinatori e rientra nella raccomandazione Comunitaria sopra citata riguardante la produzione di nuove conoscenze scientifiche - conoscenze e reti (Comitato IUCN Italiano, 2018).

2.2. Metodologia di studio dei floral traits

In questa tesi viene adottata la metodologia di studio dei floral traits secondo il protocollo di rilevamento di Michelot-Antalik et al. (2025), di seguito Manuale. In particolare, sono stati presi in considerazione i seguenti floral traits, così come vengono nominati e classificati nel Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025), seguiti da una rispettiva traduzione:

- Floral area o area fiorale
- Flower size o superficie dei petali
- Floral height o altezza minima dal suolo del fiore più alto
- Flower depth and width o profondità e larghezza del fiore

Nel Manuale (Michelot-Antalik et al., 2025), "Floral area", "Flower size" e "Floral height" sono classificati nella stessa categoria denominata "segnali visive e olfattivi" ("visual and olfactory cues"), mentre "Flower depth and width" appartiene alla categoria dell'accessibilità ("accessibility") del fiore, il tutto nei confronti degli impollinatori. Per tutte le misurazioni dei floral traits presi in considerazione sono stati scelti i fiori ben aperti e più alti. Per quanto riguarda la Flower size e Flower depth and width per le loro misurazioni sono state utilizzati le stesse 20 FU dove 10 sono state raccolte nel periodo iniziale di massima fioritura e le altre 10 sono state raccolte nel periodo finale di massima fioritura. Nella seguente tabella vengono

sintetizzate le modalità di campionamento e di misurazione adottate per i vari floral traits (tab 6).

Floral traits	Definizione	Floral unit (FU)	N° FU da manuale	FU raccolte	FU raccolte/misurate a inizio del periodo di massima fioritura	FU raccolte/misurate alla fine del periodo di massima fioritura	Strumento di misurazione	Posizione FU nella pianta	Modalità di misurazione
Floral Area	larghezza x altezza	fiore singolo	10	10	10	-	10 FU misurate con calibro in campo 10 FU misurate con righello in campo	FU più in alto	Misurazioni effettuate sulle 10 FU prima con calibro e poi con righello
Flower Size	superficie occupata dai petali	fiore singolo	10	20	10	10	Software ImageJ	FU più in alto	Le FU raccolte sono state sezionate, scannerizzate e misurate con ImageJ
Flower Depth & Width	profondità del fiore dall'apertura e larghezza a metà del tubo corollino	fiore singolo	10					FU più in alto	Le FU raccolte sono state sezionate, scannerizzate e misurate con ImageJ
Floral Height	distanza dal suolo del fiore più alto	fiore singolo	20	20	20	-	Misurazione dell'altezza con metro a nastro, in campo	FU più in alto	Tutte le 20 misurazioni sono state effetuate durante il periodo iniziale di massima fioritura. 10 di questi sono stati oggetti delle misurazioni indicate nelle righe sovrastanti

Tabella 6: tabella riassuntiva delle modalità e delle misurazioni effettuate sui floral traits. Si specifica che le 20 FU misurate per la Flower height sono state misurate tutte nel periodo iniziale di massima fioritura, di cui 10 di queste sono state oggetto delle misurazioni di Flower area, Flower size e Flower depth and width.

2.2.1. Disegno di campionamento

Le misurazioni dei floral traits sono state condotte all'interno del popolamento di *Echium plantagineum* presente nell'area di studio individuata, di circa 90 m^2, all'interno del Parco del Cardeto di Ancona.

Poiché lo scopo della tesi è, di monitorare, oltre ai floral traits, anche gli aspetti fenologici, i campionamenti sono stati effettuati su individui presenti all'interno di 5 quadrati da 1 m^2 l'uno, mobili, che ad ogni giorno di rilievo venivano posizionati in modo casuale nell'area di campionamento (fig. 12). I quadranti erano costituiti da due metri pieghevoli in legno, entrambi di 2 metri, che posizionati ad L formavano un quadrato da 1m^2.

Tuttavia, la scelta di effettuare i monitoraggi dei floral traits all'interno dei quadrati è stata dettata puramente dall'abbinamento con lo studio fenologico, altrimenti sarebbe stato sufficiente effettuare i monitoraggi nell'intera area di studio.



Figura 8: uno dei 5 quadranti di campionamento

2.2.2. Periodo di campionamento

Le indicazioni presenti nel Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) suggeriscono, specificatamente solo per la misurazione di Floral area, di effettuare le misurazioni su piante in piena fioritura e con fiori ben aperti, meglio se nei giorni assolati dalle 10:00 alle 17:00, in quanto alcune specie (Asteraceae, Convolvulaceae, ecc.) chiudono le proprie infiorescenze e fiori in alcuni orari del giorno o con tempo nuvoloso. Il protocollo suggerisce inoltre che anche le misurazioni di Flower size e Flower depth and width devono essere effettuate su fiori ben aperti.

Pertanto, anche se non esplicitato nel Manuale, prima di effettuare le misurazioni sono stati condotti sopralluoghi nell'area di studio per verificare l'inizio della fioritura del popolamento di *Echium*.

Le misurazioni sono state quindi effettuate su individui con fiori ben aperti, preferibilmente nelle ore centrali della giornata (10:00-16:00) quando l'area era in pieno sole.

Per le misurazioni di Flower size e Flower depth and width sono stati raccolti fiori in due occasioni, uno all'inizio del periodo di massima fioritura del popolamento di *Echium* e uno al termine del periodo di massima fioritura.

2.2.3. Individuazione dell'unità fiorale

Una corretta individuazione dell'Unità fiorale (floral unit, di seguito FU) è fondamentale per definire l'oggetto di osservazione e quindi una appropriata misurazione delle sue caratteristiche.

La presente tesi adotta la classificazione riportata nel Manuale (fig. 13), relativa a tipi di FU, a sua volta ripresa da Baldock et al. (2015) and Casanelles-Abella et al. (2021), secondo la quale per le Boraginaceae viene considerata come FU il singolo fiore.

TABLE 2 Floral unit types and examples of corresponding plant taxa reported by Baldock et al. (2015) and Casanelles-Abella et al. (2021).

Floral unit type	Plant taxa reported by Baldock et al. (2015)	Plant taxa reported by Casanelles-Abella et al. (2021)
Single flower	*Alstroemeria* spp., all Amaranthaceae, *Allium* spp., *Vinca* spp., *Ilex* spp., *Zantedeschia* spp., *Hedera* spp., *Hyacinthoides* spp., *Impatiens* spp., *Berberis* spp., *Mahonia* spp., all Boraginaceae, all Brassicaceae, all Campanulaceae, all Caprifoliaceae (except for *Sambucus* spp.), all Caryophyllaceae, *Euonymus* spp., all Cistaceae, all Convolvulaceae, *Sedum* spp., *Dipsacus fullonum*, *Elaeagnus* spp., all Ericaceae (except for *Calluna vulgaris*), *Escallonia* spp., all Fabaceae (except for *Medicago* spp. and *Trifolium* spp.), all Fumariaceae, all Geraniaceae, *Hydrangea* spp., *Hypericum* spp., *Crocosmia* spp., all Lamiaceae (except for *Lavandula* spp.), *Laurus nobilis*, *Hemerocallis* spp., *Linum* spp., all Malvaceae, *Narthecium ossifragum*, all Oleaceae, all Onagraceae, all Orchidaceae, all Orobanchaceae, *Oxalis* spp., all Papaveraceae, *Mimulus* spp., *Plantago* spp., *Armeria* spp., *Phlox* spp., *Polygala* spp., all Polygonaceae, *Claytonia* spp., all Primulaceae, all Ranunculaceae, all Rosaceae (except for *Spiraea* spp. and *Prunus lusitanica*), all Rubiaceae, *Choisya* spp., all Scrophulariaceae (except for *Buddleja* spp.), *Veronica pimeleoides*, *Veronica* spp. (subgenus *Pseudoveronica*), *Veronica speciosa*, all Solanaceae, *Tropaeolum* spp., *Valerianella locusta*, *Viola* spp.	Acanthaceae, Alismataceae, Amaranthaceae, Anacardiaceae, Apocynaceae, Asparagaceae, Balsaminaceae, Begoniaceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Campanulaceae (except *Phyteuma* spp.), Caprifoliaceae (except Dipsacoideae), Caryophyllaceae, Celastraceae, Cistaceae, Cleomaceae, Convolvulaceae, Crassulaceae, Cucurbitaceae, *Cytisus* spp., Geraniaceae, Hypericaceae, Iridaceae, Lamiaceae, *Lathyrus* spp., Linaceae, Lythraceae, Magnoliaceae, Malvaceae, Onagraceae, Orchidaceae, Orobanchaceae, Oxalidaceae, Papaveraceae, Phrymaceae, Plantaginaceae (except *Plantago* spp.), Polemoniaceae, Polygonaceae, Portulacaceae, Primulaceae, Ranunculaceae, Resedaceae, Rhododendron spp., Rosaceae (except *Filipendula ulmaria*, *Sanguisorba* spp., *Spiraea* spp.), Rutaceae, Saxifragaceae, Spartium spp., Solanaceae, Scrophulariaceae (except *Buddleja davidii*), Tropaeolaceae, Verbenaceae, Violaceae, Xanthorrhoeaceae
Single capitulum	All Asteraceae (except *Solidago canadensis*), *Knautia arvensis*	Asteraceae, Dipsacoideae
Single branch of capitula	*Solidago canadensis*	
Part of panicle	*Spiraea* spp. (except for *Spiraea douglasii*)	
Single umbel		*Allium* spp.
Secondary umbel	All Apiaceae	Apiaceae
Single compound cyme	All Valerianaceae (except for *Valerianella locusta*)	*Centranthus* spp.
Single corymb or single cyme	*Cornus* spp., *Sambucus* spp., *Euphorbia* spp.	Adoxaceae, Cornaceae, *Hydrangea* spp., *Euphorbia* spp.
Single panicle	*Buddleja* spp., *Spiraea douglasii*	Sapindaceae, *Buddleja davidii*, *Galium* spp., *Filipendula ulmaria*, *Sherardia arvensis*, *Spiraea* spp., *Syringa vulgaris*
Single raceme	*Calluna vulgaris*, *Medicago* spp., *Prunus lusitanica*, *Trifolium* spp., *Veronica pimeleoides*, *Veronica* spp. (subgenus *Pseudoveronica*), *Veronica speciosa*	Fabaceae (except *Cytisus* spp., *Lathyrus* spp., *Spartium* spp.), *Hedera helix*, *Ligustrum* spp., Vitaceae
Single spike	*Callistemon* spp., *Lavandula* spp.	*Plantago* spp., *Tamarix* spp.
Single thyrse	*Ceanothus* spp.	
Single dense cluster		*Sanguisorba* spp.
Single catkin		Betulaceae, Fagaceae, Salicaceae

Note: Floral unit types describe the scale (i.e. the part of the inflorescence) at which the trait measurements are to be made (except for the traits that are always measured at the flower scale, Table 1), depending on the species.

Fig. 13: esempi di FU per alcuni taxa (Michelot-Antalik et al. 2025)

2.2.4. Floral area

Il floral traits identificato come “Floral area” viene definito nel protocollo di Michelot-Antalik et al. (2025) come l’area della più ampia superficie visibile della FU. In base alla specie può avere forma approssimata rettangolare o circolare, ed è espressa in mm^2.

Il protocollo suggerisce di misurare la Floral area di 10 FU integre quando le FU sono al culmine della fioritura e ben aperte, solitamente nelle giornate di sole tra le 10:00 e le 17:00, poiché alcune specie chiudono i fiori a fine pomeriggio.

L’area floreale viene considerata circolare per i fiori attinomorfi (es *Apiaceae, Asteraceae*), per i quali viene quindi misurato il diametro, e rettangolare per i fiori zigomorfi (es. *Boraginaceae*), per i quali si misurano invece la lunghezza (L) e la larghezza (W) delle FU. Infine, viene calcolata l’area della FU che, se circolare l’equazione sarà $A = p\ (d/2)$, invece se rettangolare $A = W \times L$ (Michelot-Antalik et al., 2025).

Adottando la metodologia presentata dal manuale per la specie presa in considerazione, si è quindi proceduto misurando la Floral area in 10 FU (quindi in 10 fiori ben aperti) di *Echium plantagineum* L. presenti nell’area di studio, nel nostro caso all’interno dei 5 plot da 1 m^2. Per le misurazioni sono stati scelti i fiori ben aperti più alti. Poiché, stando al manuale, l’FU di *Echium* rientra tra quelle di tipo rettangolare, l’obiettivo è stato quello di misurare lunghezza e la larghezza della corolla di ogni FU.

Sono stati adottati due metodi differenti: in quello che definiamo come metodo A la misurazione è stata effettuata con l'utilizzo di un calibro a corsoio; invece, in quello che definiamo come metodo B è stato utilizzato un righello. Sono state quindi effettuate 10 misurazioni col metodo A e 10 misurazioni col metodo B sulle stesse FU nello stesso giorno di rilievo. In questo modo, si è voluto testare se l'utilizzo di due metodi di rilevamento alternativi può portare a misurazioni differenti. La misurazione della floral area è stata effettuata nel periodo in cui gli individui si trovavano nella fase di massima fioritura (fine aprile).

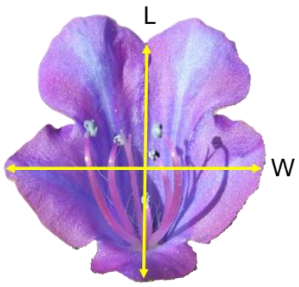


Figura 9: rappresentazione misurazioni lunghezza (L) e larghezza (W) (Foto: Andrea Moro. Fonte: Progetto Driade – Università degli Studi di Trieste. Licenza CC BY-SA 4.0.)



Figura 10: misurazione larghezza (W) foto a sinistra e lunghezza (L) foto a destra con calibro a corsoio



Figura 11: misurazione larghezza (W) foto a sinistra e lunghezza (L) foto a destra con righello

2.2.5. Flower size

Per Flower size il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) intende la superficie appiattita e proiettata dei petali del fiore espressa in mm^2 misurata su 10 FU. Il protocollo suggerisce di riporre i fiori raccolti in sacchetti o in provette riempite di acqua e conservati preferibilmente a 4°C così che possano mantenersi nelle condizioni ottimali fino al laboratorio dove verranno effettuate le misurazioni. I campioni non possono essere conservati per più di 24 ore dopo la raccolta. Per la misurazione, i petali devono essere appiattiti e quindi se si hanno fiori non piatti possono essere sezionati per ottenere pezzi piani. In seguito, si può acquisire l'immagine con l'utilizzo di uno scanner o una fotocamera digitale, ponendo vicino ai campioni un riferimento di scala. Infine, bisogna misurare l'area di ogni singolo petalo e sommarle per ottenere il valore della Flower size (Michelot-Antalik et al., 2025).

Il protocollo non specifica la parte di pianta nella quale raccogliere i fiori, ma fa esclusivo riferimento al fatto che i fiori devono essere ben aperti, freschi e integri.

Si è proceduto quindi con la raccolta di 10 fiori, specificatamente i fiori ben aperti più alti. su altrettanti individui in due distinti periodi di fioritura: una raccolta è stata condotta all'inizio del periodo di massima fioritura del popolamento oggetto di studio, mentre una raccolta successiva ha interessato altri 10 fiori al termine del periodo di massima fioritura. In questo modo si vogliono verificare eventuali differenze di Flower size in periodi di fioritura differenti. L'inizio e la fine del periodo di massima fioritura sono stati individuati sulla base dei monitoraggi fenologici dei quali si parlerà più avanti. I 20 campioni raccolti nei due periodi di massima fioritura sono stati anche oggetti di misurazione per quanto riguarda Flower depth and width.

Per ogni giorno di raccolta i fiori sono stati conservati in contenitori di plastica finché non sono stati portati in laboratorio per essere scansionati. La corolla è stata appiattita sezionandola longitudinalmente in modo da mantenere integri i petali. Gli strumenti utilizzati sono stati un bisturi, pinzette e un piccolo pennello morbido per appiattire i petali. Una volta sezionati, i fiori sono stati posti su uno scanner, insieme con un righello a rappresentare un

riferimento di scala. Le scansioni sono state effettuate sui 20 fiori posti a gruppi di 5. Successivamente, sono state effettuate le misurazioni col software ImageJ.



Figura 12: contenitore utilizzato per il trasporto dei fiori a sinistra e fiore sezionato a destra

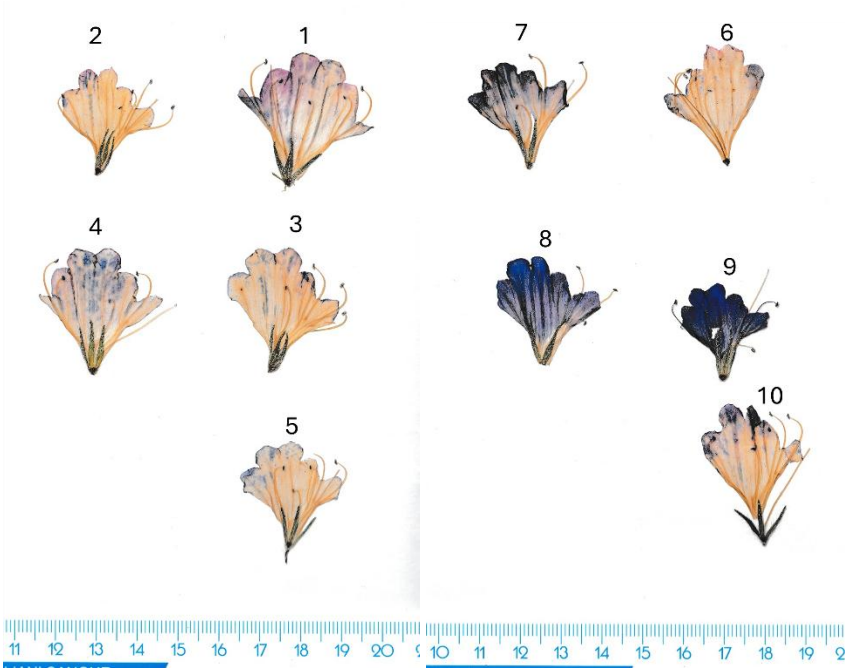


Figura 13: scansione del gruppo dei primi 5 fiori a sinistra e degli ultimi 5 fiori a destra raccolti all'inizio del periodo di massima fioritura

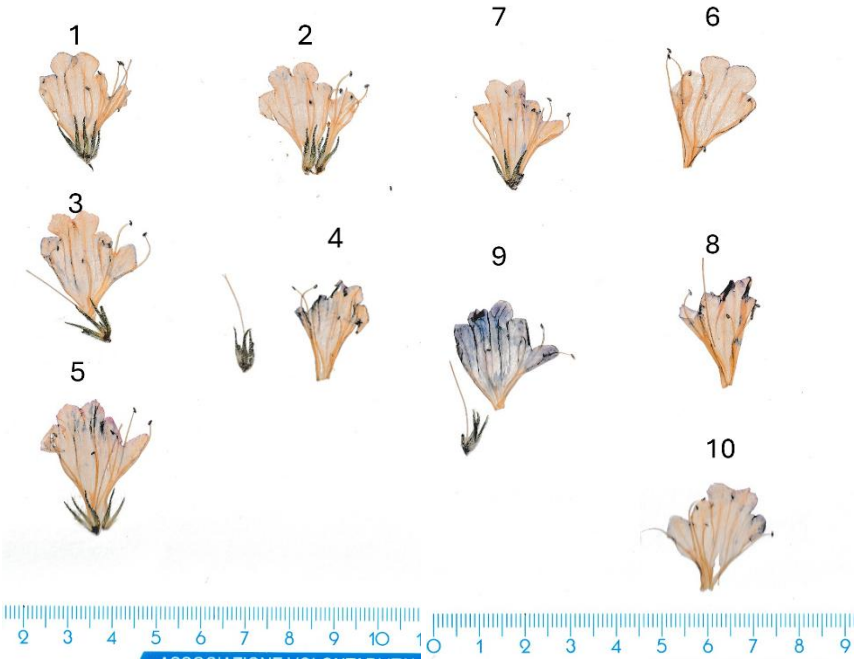


Figura 14: scansione del gruppo dei primi 5 fiori raccolti e degli ultimi 5 fiori raccolti alla fine del periodo di massima fioritura

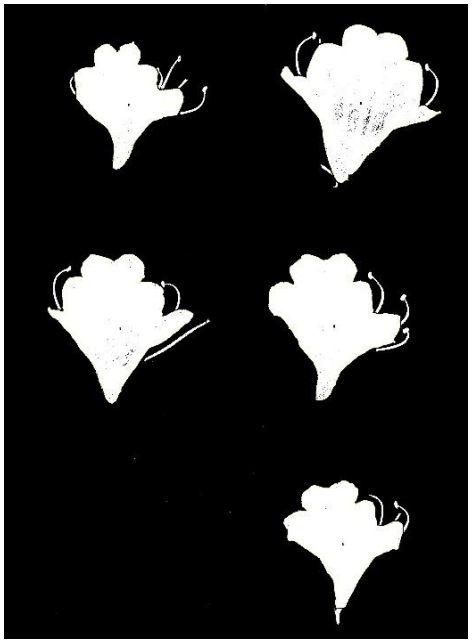


Figura 15: misurazione di flower size con ImageJ dei primi 5 fiori raccolti all'inizio del periodo di massima fioritura

2.2.6. Floral height

Per Floral height si intende la distanza tra la FU più alta di un individuo e il suolo, espressa in metri (fig. 21). Per la misurazione devono essere selezionati 20 individui per specie e con

l’utilizzo di un metro a nastro si misura la distanza tra la FU e il suolo (Michelot-Antalik et al., 2025).

Tenendo in considerazione il metodo riportato nel manuale, la Floral height *in Echium plantagineum* è stata misurata selezionando 20 individui più rappresentativi e nel caso degli individui ramificati, si è considerata la ramificazione più alta. Pertanto, anche in questo caso per le misurazioni sono stati scelti i fiori ben aperti più alti. Con l’utilizzo di un metro a nastro l’altezza è stata misurata dal suolo fino alla parte apicale del petalo del fiore più alto.

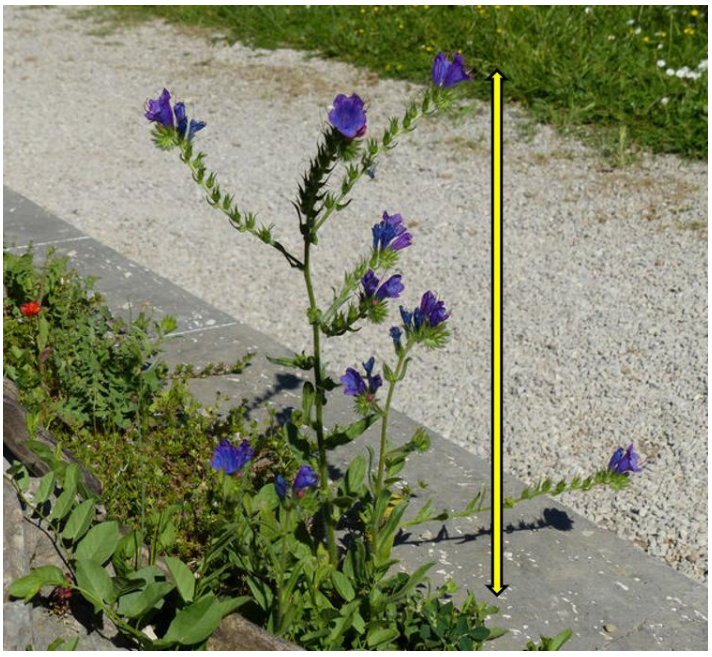


Fig. 21: rappresentazione Floral height (Foto: Andrea Moro. Fonte: Progetto Dryades – Università degli Studi di Trieste. Licenza CC BY-SA 4.0.)

2.2.7. Flower depth and width

Per Flower depth si intende la profondità del fiore misurata dalla sua apertura alla sua base, espressa in millimetri, mentre per Flower width si intende la larghezza del fiore che viene misurata nella porzione centrale, espressa in millimetri. Poiché i fiori di forma tubulare, imbutiforme, labiata, campanulata o a vessillo presentano petali fusi, l’apertura del fiore viene considerata il punto in cui queste parti del fiore si saldano. I nettari o le zone di accumulo del nettare sono considerati la base del fiore. Per la misurazione è necessaria la raccolta di 10 fiori integri per specie che devono essere misurati ancora freschi dopo la raccolta o in alternativa conservati in etanolo al 70% in una provetta eppendorf per prolungare la conservazione per alcuni mesi (Michelot-Anatalik et al., 2025).

Per quello che riguarda lo scopo della tesi, sono stati raccolti 10 fiori su altrettanti individui nel periodo iniziale della massima fioritura e altri 10 fiori nel periodo finale dalla massima fioritura. Per le misurazioni sono stati scelti i fiori ben aperti più alti. I 20 campioni raccolti nei due periodi di massima fioritura sono stati anche oggetti di misurazione per quanto riguarda la Flower size.

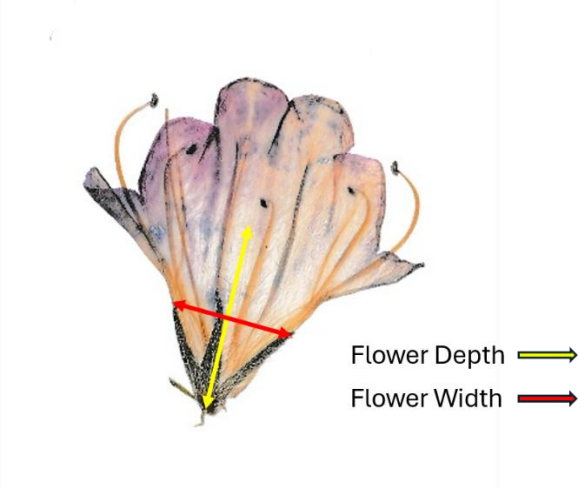


Figura 16: rappresentazione della misurazione di flower depth and width

Le misurazioni sono state effettuate su immagini scannerizzate dei fiori, che erano state precedentemente sezionati e appiattiti, mediante l'utilizzo del software ImageJ, sia per Flower depth sia per Flower width. Una misurazione più agevole sarebbe stata quelle di effettuare le misurazioni direttamente in campo.

Si precisa che, essendo il fiore sezionato e disteso su un piano, la misurazione effettuata con ImageJ corrisponde alla circonferenza del tubo corollino. Considerando che la larghezza del tubo corollino corrisponde al diametro della sezione circolare del tubo stesso, il valore del flower width è stato ricavato calcolando il diametro a partire dalla circonferenza mediante divisione per π (3,14).

2.3. Metodologia di studio fenologico

Per lo studio della fenologia riproduttiva di *Echium plantagineum* L. sono state adottate sia la metodologia di monitoraggio riportata nel manuale di rilevamento Michelot-Anatalik et al. (2025) per il parametro denominato "Flowering phenology", che la metodologia di studio fenologico dei Giardini Fenologici Italiani (Malossini et al. 1993, Puppi 2008), di seguito descritte.

Entrambe le metodologie di rilievo sono state condotte nello stesso giorno di rilievo, nella stessa area di studio, nello stesso plot.

Obiettivo dello studio è definire l'andamento e la durata del periodo di fioritura e di produzione di semi, espresso come giorni dell'anno. Mettendo a paragone le due metodologie proposte, ci si pone l'obiettivo di definire quale risulta più agevole, anche per i non esperti.

2.3.1. Disegno di campionamento

Allo scopo di definire le modalità di campionamento e quindi un disegno di campionamento adeguato all'interno dell'area di studio, si è optato per una sintesi tra quanto proposto nel Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) e nella letteratura dei Giardini Fenologic Italiani di riferimento (Malossini et al. 1993, Puppi 2008).

Il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) suggerisce di considerare al minimo 5 quadrati da 1 m² l'uno e di utilizzare preferibilmente 10 quadrati da 1 m² l'uno. Similmente, nella letteratura di riferimento nell'ambito dei monitoraggi fenologici "classici" si fa riferimento alla possibilità di contare gli individui presenti in densi popolamenti in 5 aree da un metro quadrato l'una, sparsi in maniera casuale all'interno di ogni area considerata, per ogni giorno di rilievo.

Pertanto, data anche la dimensione della superficie individuata come area di campionamento, si è scelto di effettuare i campionamenti in 5 quadrati da 1 m² l'uno, mobili, che ad ogni giorno di rilievo venivano posizionati in modo casuale. I quadranti erano costituiti da due metri pieghevoli in legno, entrambi di 2 metri, che posizionati ad L formavano un quadrato da 1 m^2.

2.3.2. Periodo e intervallo di campionamento

Nel manuale (Michelot-Anatalik et al. 2025) si fa esclusivo riferimento ad un monitoraggio dei fiori aperti nel corso della stagione ("counting open flowers (or FUs) at each visit across the season").

Il protocollo dei Giardini Fenologici Italiani (Malossini et al. 1993, Puppi 2008) fa invece specifico riferimento ad un intervallo che deve essere decadale o settimanale.

Pertanto, entrambe le metodologie di rilievo fenologico sono stati condotte ogni 7 o al massimo ogni 10 giorni, da fine aprile agli inizi di luglio.

Al fine di facilitare il confronto tra dati, i giorni di rilievo sono riportati come "DOY" ("Day Of Year", ovvero numero di giorno dell'anno).

Per identificare l'inizio della fioritura e quindi il giorno nel corso del quale dare l'avvio ai monitoraggi sono stati condotti sopralluoghi in campo. I monitoraggi sono proceduti fin quando erano presenti gli ultimi fiori aperti.

2.3.3. Rilievo fenologico secondo il manuale di rilevamento Michelot-Antalik et al. 2025

Il Manuale (Michelot-Anatalik et al.,2025) definisce il monitoraggio dei parametri di Flowering phenology come derivanti per ogni specie da quello della Floral density. Floral density viene calcolata come il numero di fiori aperti (o FU) contati per ogni specie per unità di area di campionamento, espressa in fiori aperti (o FU) per m^2.

Secondo il Manuale stesso, la conta delle FU aperte può essere facilitata da un contatore manuale, se necessario. In alcuni casi come, ad esempio una specie che presenta un grande

numero di fiori, il Manuale suggerisce inoltre la possibilità di effettuare delle stime del numero di fiori aperti, tramite un sotto-campionamento che consideri ad esempio la conta del numero di FU aperte per ramo, moltiplicando poi per il numero dei rami.

Il Manuale suggerisce anche i tempi entro i quali i campionamenti dovrebbero essere effettuati: da 1 a 5 minuti al m^2 per il parametro Flowering phenology e 5-10 min al m^2 per il conto della Floral density.

Prima di procedere col conteggio dei fiori aperti per ogni giorno di rilievo nei 5 quadrati da $1m^2$ l'uno (di seguito definiti plot), sono state testate diverse metodologie di campionamento alternative suggerite dal Manuale, ovvero conta manuale diretta e conta derivata per stima. Per ogni procedura adottata è stato anche registrato il tempo di rilevamento. L'obiettivo di tali test era quello di comprendere quale metodologia fosse migliore, nel senso della precisione e della velocità, anche in confronto ai tempi suggeriti dal protocollo. I test di conteggio vengono di seguito elencati e descritti. Si specifica che i test e i relativi risultati sono propedeutici alla scelta del metodo "migliore" da applicare all'approccio fenologico; pertanto, vengono considerati come risultati parziali di tesi e pertanto descritti nell'ambito dei materiali e metodi adottati.

Test basati sul conteggio manuale diretto del n° di FU aperte/individuo all'interno dello stesso plot:

- **Test n° 1: primo conteggio**

Nel primo plot è stata effettuato un conteggio dei fiori aperti procedendo, all'interno del quadrato, dal basso verso l'alto e da destra verso sinistra, senza utilizzo di strumenti di supporto. Sono state contate 104 FU in 3 minuti e 47 secondi. Da questo primo tentativo sono emerse delle difficoltà nel conteggio dovute al fatto che il popolamento oggetto di campionamento presentava individui più o meno ramificati, con vari racemi che si dipartivano dalla ramificazione principale. Altri individui invece, si presentavano poco o affatto ramificati.

Il popolamento si presentava nel pieno della sua vigoria, cioè molto folto e ciò ha comportato il rischio di confondersi, perdere il conto e dover ricontare più volte sia sinoli individui, che racemi.

- **Test n° 2: conteggio con individui contrassegnati**

Sempre nel primo plot, si è ripetuto il conteggio per la terza volta, ma questa volta sugli individui via via conteggiati venivano applicate mollette da bucato così da poterli contrassegnare e individuare più facilmente. Il numero di fiori aperti conteggiati è stato di 113 FU in 3 minuti e 26 secondi. Consideriamo questo come il test definitivo di riferimento per la conta diretta.

Test basati sul conteggio derivato per stima del n° di FU aperte/individuo

- **Test n° 3: stima delle FU sui racemi**

Sempre nel primo plot si è proceduto questa volta con la conta del numero di racemi su un individuo; quindi, con la conta del numero di FU su un racemo e infine si è derivato il numero di FU per quell'individuo, moltiplicato poi per il totale degli individui presenti nel plot.

Si hanno in questo caso:

- individui/m^2: 6
- media del n° di FU/racemo: 2
- racemi/individuo: 20
- racemi totali: 20x6=120
- totale FU: 120x2= 240

Il tempo di svolgimento della prova è stata di 6 minuti.

- **Test n° 4: perfezionamento basato sull'osservazione degli impollinatori**

Sempre nel primo plot, si è proceduto ancora col metodo della stima così come fatto nel test n° 3, ma perfezionandolo in base all'osservazione dell'attività degli impollinatori. Si è osservato infatti che la maggior parte delle api che bottinano entrano solo nei fiori ben aperti ed ignorano quelli che presentano petali anche solo leggermente afflosciati, anche se recettivi. A partire quindi dalla considerazione che non tutte le FU su un racemo fossero pienamente attrattive verso gli impollinatori, è stata quindi diminuita da 2 a 1.5 la media del numero di FU/racemo.

Il risultato del calcolo precedente diventa quindi: 120x1,5= 180 FU totali. l tempo di svolgimento della prova è stata di 6 minuti.

A questo punto, si è proceduto quindi col conteggio delle FU anche nel secondo plot:

- individui/m^2: 10 (presenza di individui più piccoli e con meno racemi rispetto al primo quadrante)
- racemi/individuo: 8
- media del n° di FU/racemo
- FU tot: 10 x 8 x 1,5= 120 FU

Tuttavia, il conteggio delle FU nel secondo plot ha riportato grandi differenze rispetto al primo, in base ad altezza, numero di ramificazioni e livello di accestimento. Quindi, si è pensato di effettuare alcune misurazioni sugli individui della popolazione per avere un'idea della loro variabilità. Sono stati pertanto presi in considerazione 3 individui su tutta l'area di studio, che fossero rappresentativi della variabilità del popolamento in esame, dei quali si riporta una sintesi delle misurazioni nella tab. 5:

	Individuo 1	Individuo 2	Individuo 3
Altezza dal suolo fino alla ramificazione più alta (cm)	110	72	67
N° ramificazioni	9	4	1 (presenta solo un fusto centrale)
N° racemi nella ramificazione più lunga	23	12	2
N° racemi nella ramificazione più corta	8	1	0
Media del n° di FU/racemo	1.5	1.5	1.5
Media n° racemi	(23+8/2)*9=139.5	(12+1/2)*4= 26	1
N° FU/individuo	139.5*1.5=209.5	26*1.5=39	1.5

Tabella 7: sintesi dei risultati parziali relativi alla derivazione del numero di UF aperti/individuo sulla base del numero di ramificazioni e racemi in 3 individui di Echium plantagineum.

Dalle osservazioni e dai risultati ottenuti attraverso la derivazione del numero di fiori aperti sulla base del conteggio di ramificazioni e racemi si evidenzia una elevata differenza tra il numero di fiori aperti nei 3 individui considerati.

Vengono di seguito riportati i risultati del conteggio delle FU aperte nel primo plot dei test precedentemente descritti:

1. 104 FU in 3 minuti e 47 secondi
2. 113 FU in 3 minuti e 26 secondi
3. 240 FU in 6 minuti
4. 180 FU in 6 minuti

Il numero di FU contate con conteggio diretto differisce molto da quello ottenuti con la stima del numero di FU aperte sulla base del conteggio diretto di ramificazioni e racemi.

Specificatamente per quanto riguarda la stima di FU aperte sulla base del conteggio di ramificazioni e racemi, i risultati ottenuti variano molto a seconda della variabilità del numero di ramificazioni e racemi degli individui presenti nel plot. Si è visto come in un unico plot è possibile trovare individui molto diversi tra loro sia per numero di racemi che per numero di ramificazioni.

Considerando le tempistiche, per i tentativi condotti attraverso il conteggio manuale si è registrata una media di circa: (227 + 206) secondi / 3=203 secondi = 3,38 minuti = 3 minuti e 22 secondi. I tentativi condotti invece tramite stima sono stati svolti entrambi in circa 6 minuti.

Di conseguenza, il metodo della stima può portare a risultati troppo diversi tra loro e risulta troppo lungo per essere applicato, per lo meno su questa specie.

Il tentativo n° 2, che include il contrassegno degli individui, è considerato come il metodo ottimale tra quelli che riguardano il conteggio diretto, sia per la precisione che assicura che per i tempi.

In conclusione, per la conta della FU e quindi ai fini del monitoraggio di Flower density e, di conseguenza, di Floral phenology, si è optato di procedere col metodo della conta manuale dei fiori aperti su ogni individuo all'interno dei 5 quadranti, marcando ogni individuo contato con una molletta da bucato così da evitare riconteggi.



Figura 17: utilizzo di mollette da bucato per distinguere individui o ramificazioni già conteggiate

2.3.4. Metodologia di rilievo fenologico secondo i Giardini fenologici italiani

La procedura di rilevamento fenologico a cui si fa riferimento è quella applicata dai Giardini Fenologici Italiani (Malossini et al. 1993, Puppi 2008), che consiste nel conteggio degli individui presenti in una determinata fenofase per giorno di rilievo, da effettuarsi con periodicità settimanale o almeno decadale. A ciascun individuo, per giorno di rilievo, è stata attribuita una delle fenofasi contemplate nella chiave di rilevamento o scala fenologica di 12 fenofasi riportata nella fig. 24. Si tratta di 12 fasi descrittive della fioritura e altre 12 della fase di fruttificazione.

I rilievi fenologici sono stati quindi condotti nei 5 plot da 1 m^2 l'uno, ogni 7 o al massimo 10 giorni, all'interno dell'area di studio.

Oltre alla fase fenologica della fioritura, nella presente tesi viene monitorata anche quella della fruttificazione, che rappresenta una possibilità di trarre informazioni aggiuntive riguardanti le strategie riproduttive delle specie spontanee utili agli impollinatori.

GFI	Scala riproduttiva
R01	boccioli presenti ma poco sviluppati
R02	boccioli prossimi alla chiusura, rigonfi con petali visibili
R03	boccioli rigonfi e fiori aperti
R04	piena fioritura: boccioli, fiori aperti e fiori sfioriti
R05	inizio sfioritura: fiori aperti e fiori appassiti
R06	completa sfioritura: tutti i fiori appassiti
R07	allegagione: inizio ingrossamenti ovari
R08	inizio fruttificazione: ovari ingrossati e pochi frutti immaturi
R09	frutti evidenti ma in prevalenza immaturi (pochi frutti maturi)
R10	culmine della fruttificazione: la maggior parte dei frutti maturi
R11	frutti in parte caduti, degenerati o secchi
R12	presenza di soli frutti residui

Figura 18: chiave di rilevamenti dei Giardini Fenologici Italiani (Puppi Branzi 1993) adottata nella presente tesi. Da Puppi 2008

3. Risultati e discussioni

3.1. Risultati dello studio dei floral traits

In questo capitolo vengono riportati i risultati delle misurazioni effettuate nell'ambito del monitoraggio dei floral traits per la specie oggetto di studio, *Echium plantagineum* L., all'interno dell'area di studio del Cardeto seguendo il protocollo di rilevamento di Michelot-Antalik et al. (2025). Sono anche riportate le discussioni riguardanti i risultati ottenuti, che possono consistere in confronti tra una metodologia adottata e l'altra o in osservazioni sulle metodologie stesse.

3.1.1. Risultati e discussioni delle misurazioni della Floral area

Di seguito (tabella 8) vengono riportati i risultati delle misurazioni della Floral area relativa a 10 unità fiorali di *Echium plantagineum* L. presenti nell'area di studio. Poiché la FU di riferimento è quella di un fiore appartenente alla famiglia delle Boraginaceae, la Floral area è il risultato del prodotto tra base e altezza del fiore, espressa in millimetri. Nella tabella vengono riportate 10 misurazioni effettuate lo stesso giorno di rilievo sulle stesse FU con l'utilizzo di un calibro a corsoio (metodo A) e altre 10 con l'utilizzo di un righello (metodo B).

	Metodo A										Metodo B									
n° campioni	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
larghezza fiore (mm)	20	19	21	15	16	20	19	24	23	20	25	24	21	21	20	20	21	25	28	25
altezza fiore (mm)	22	20	18	16	19	20	19	22	22	19	25	24	24	21	22	20	20	25	28	23
floral area (larghezza x altezza del fiore) (mm²)	440	380	378	240	304	400	361	528	506	380	625	576	504	441	440	400	420	625	784	575

Tabella 8: risultati delle misurazioni di Floral area con calibro a corsoio (metodo A) e righello (metodo B)

Per quanto riguarda le misurazioni effettuate col metodo A, la larghezza media risulta essere di 19,70 mm, con un minimo di 15 mm e un massimo di 24 mm. In merito all'altezza del fiore, sempre con il metodo A, la media risulta essere di 19,70 mm, con un minimo di 16 mm e un massimo di 22 mm.

Per quanto riguarda le misurazioni effettuate col metodo B, la larghezza media risulta essere di 23 mm, con un minimo di 20 mm e un massimo di 28 mm. In merito all'altezza del fiore, sempre con il metodo B, la media risulta essere 23,2 mm, con un minimo di 20 mm e un massimo di 28 mm.

Nel fare un confronto tra le misurazioni effettuate coi due metodi, è evidente come l'uso del righello porti a misurazioni sempre maggiori o uguali a quelle effettuate col calibro. Nella tabella 7 vengono riportate le differenze di misurazione individuate, sottraendo i valori misurati col metodo B a quelli misurati col metodo A. La differenza di misurazione tra i due metodi è probabilmente dipendente dal fatto che con l'uso del righello si tende accidentalmente a schiacciare i petali dell'*Echium*, particolarmente sottili e leggeri.

n° campioni	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**

Differenza nella larghezza fiore (mm)	5	5	0	6	4	0	2	1	5	5
Differenza nell'altezza fiore (mm)	3	4	6	5	3	0	1	3	6	4
Differenza nella floral area (larghezza x altezza del fiore) (mm^2)	185	196	126	201	136	0	59	97	278	195

Tabella 9: differenze tra le misurazioni effettuate col metodo B rispetto a quelle effettuate col metodo A

3.1.2 Risultati e discussioni delle misurazioni della Flower size

In questo capitolo vengono riportati i risultati della misurazione della Flower size (tabella 10) relativi a 10 fiori raccolti su altrettanti individui all'inizio del periodo di massima fioritura e di altrettanti 10 fiori raccolti alla fine del periodo di massima fioritura di *Echium plantagineum L.* presenti all'interno dell'area di studio. Le misurazioni della Flower size sono state effettuate su immagini scannerizzate dei fiori, precedentemente sezionati e appiattiti, con l'utilizzo del software ImageJ.

Data: 28/04/2025, DOY 118										
individuo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
flower size (superficie occupata dai petali) (cm^2)	5,50	3,02	4,33	4,60	3,26	3,60	3,23	3,60	2,58	3,64
Data: 05/06/2025, DOY 156										
individuo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
flower size (superficie occupata dai petali) (cm^2)	2,72	3,08	2,99	1,90	3,44	2,78	2,37	1,97	2,88	2,90

Tabella 10: risultati delle misurazioni della Flower size nel periodo iniziale (28/04/2025) e finale (05/06/2025) di massima fioritura

Per quanto riguarda le misurazioni effettuate sui 10 fiori raccolti nel periodo iniziale di massima fioritura in data 28/04/2025, il valore medio risulta essere di 3,73 cm^2, con un minimo di 2,58 cm^2 e un massimo di 5,50 cm^2.

Per quanto riguarda le misurazioni effettuate sui 10 fiori raccolti nel periodo finale di massima fioritura in data 05/06/2025, il valore medio risulta essere di 2,70 cm^2 con un minimo di 1,90 cm^2 e un massimo di 3,44 cm^2.

La Flower size è risultata significativamente maggiore nella fase iniziale della piena fioritura rispetto alla fase finale (t-test per campioni indipendenti, $p < 0,01$), con una differenza media di circa 1,03 cm^2 pari a circa il 27.62% (Tabella 11). Oltre alla media più alta, all'inizio della piena fioritura c'è maggiore variabilità e si raggiungono valori massimi più elevati, mentre alla fine del periodo di massima fioritura i valori minimi e massimi sono entrambi inferiori, con minor variabilità.

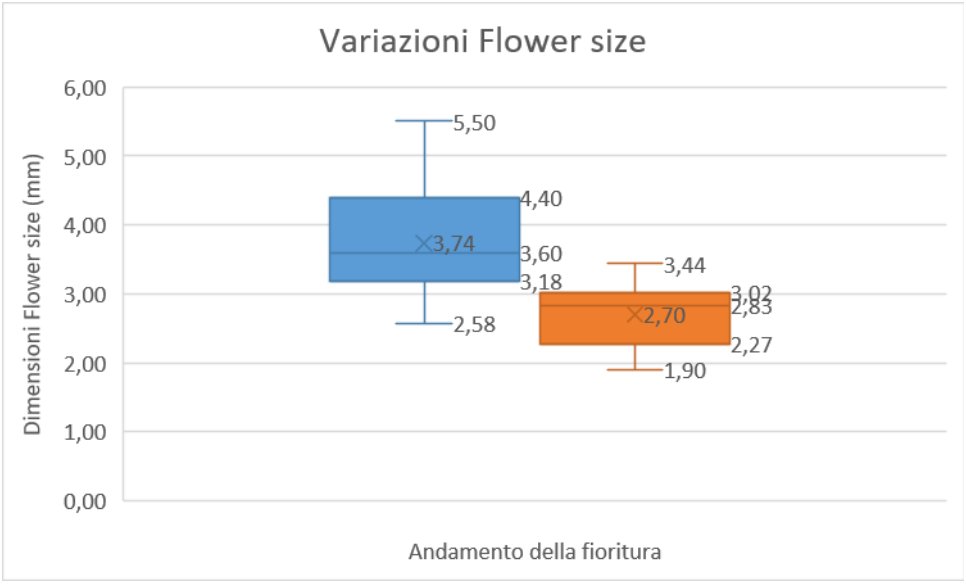


Tabella 11: andamento di Flower size all'inizio della piena fioritura (box azzurro) e alla fine della piena fioritura (box arancione)

Il campione è relativamente piccolo per poter interpretare i dati in modo certo; tuttavia, è ipotizzabile che all'inizio della piena fioritura la pianta investe di più per attrarre impollinatori e massimizzare il successo riproduttivo, producendo quindi fiori più grandi e appariscenti e che con il passare del tempo le risorse (energia, acqua, nutrienti) possono ridursi, portando a produrre fiori più piccoli nella fase finale.

3.1.3 Risultati e discussioni delle misurazioni della Floral height

Di seguito (tabella 9) vengono riportati i risultati delle misurazioni della Floral height relativi alle FU più elevate rispetto al suolo, rilevate su 20 individui di *Echium plantagineum L.* all'interno nell'area di studio. Nella tabella vengono riportate 20 misurazioni effettuate attraverso l'utilizzo di un metro a nastro nel giorno in cui le piante si trovavano nel pieno della fioritura (fine aprile).

n° individui	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
floral height (cm)	110	110	116	90	74	102	71	75	99	66	70	82	90	79	84	86	80	70	82	102

Tabella 12: risultati delle misurazioni di Floral height su 20 individui di Echium plantagineum L.

L'altezza media degli individui del popolamento in esame risulta essere di 86,9 cm, con un massimo di 116 cm e un minimo di 66 cm.

Nell'ottica di confrontare i dati rilevati con altri presenti in letteratura, si possono prendere in considerazione alcune misurazioni presenti nel database TRY (Kattge et al., 2020) riguardanti l'altezza di individui di *Echium plantagineum* per lo più in fase vegetativa e che fanno riferimento a loro volta a dati derivati da vari database internazionali. La media delle altezze delle piante da tutti i dati riportati da TRY database per *Echium platagineum* è di

41.95 cm, con un minimo di 1.70 cm e un massimo di 120 cm. Prendendo in considerazione solo alcuni dei database riportati nel TRY database, come ad esempio quelli di BASECO: a floristic and ecological database of Mediterranean French flora, l'altezza minima è di 30, la massima di 50 (non è specificato se per individui in stadio vegetativo o riproduttivo). Nel LEDA traitabase (dati proveniente dall'Europa nord-occidentale), l'altezza delle piante (in stadio vegetativo) va da 20 a 60 cm. Il risultato completo dei dati richiesti a TRY database per l'altezza di *Echium plantagineum* è riportata nella tab. 13.

LastName	FirstName	DatasetID	Dataset	ObservationID	ObsDataID	TraitID	TraitName	DataID	DataName	OrigName	OrigValueStr	OrigUnitStr	ValueKindName	StdValue	UnitName	OrigObsDataID	ErrorRisk	Reference	Comment
Gachet	Sophie	175	BASECO: a floristic and ecological database of	13525246	9622280	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	HEIGHT min	0.3	cm	Minimum	3	m		561193	1	
Gachet	Sophie	175	BASECO: a floristic and ecological database of	14496110	10754867	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Height.max	0.5	cm	Maximum	5	m		875684	1	
Pausas	Juli	474	BROT 2.0	5939404	57366788	3106	Plant height vegetative	504	Plant height vegetative	Height	0.017	cm	Single	17	m		566506	2	
Pausas	Juli	474	BROT 2.0	5939638	57368926	3106	Plant height vegetative	504	Plant height vegetative	Height	0.19	cm	Single	19	m		773332	2	
Pausas	Juli	474	BROT 2.0	5940028	57372192	3106	Plant height vegetative	504	Plant height vegetative	Height	0.6	cm	Single	6	m		262678	2	
Ford	Henry	174	Ecological Flora of the British	14926442	10838391	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Height.3. typical maximum (cm)	60	cm	Single	6	m	10707959	104421	3	3.05
Ford	Henry	174	Ecological Flora of the British	14926443	10838393	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Height.3. typical maximum (cm)	20	cm	Single	2	m	13597274	122639	3	3.05
Ford	Henry	174	Ecological Flora of the British	16343350	11108652	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Height.3. typical maximum (cm)	60	cm	Single	6	m	10707959	104421	3	3.05
Ford	Henry	174	Ecological Flora of the British	16343351	11108654	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Height.3. typical maximum (cm)	20	cm	Single	2	m	13597274	122639	3	3.05
Morrison	Jane	655	Functional Flowering Plant Traits	62412255	60944291	3106	Plant height vegetative	20	Plant height maximum	Height	45	cm	Single	45	m		190075	unpub.	(Typical Mean, cm)
Morrison	Jane	655	Functional Flowering Plant Traits	62412255	60944290	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	Height	70	cm	Single	7	m		110714	unpub.	(Typical Max, cm)
Danese	Matteo	164	Italian Alps Plant Traits Database	13364332	9533151	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Plant height [min]	20	cm	Minimum	2	m	13597274	122639	4	
Danese	Matteo	164	Italian Alps Plant Traits Database	14373334	10707959	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Plant height [max]	60	cm	Maximum	6	m		104421	4	
Danese	Matteo	164	Italian Alps Plant Traits Database	14400196	10716541	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Plant height [mean]	40	cm	Mean	4	m		669421	4	
OReilly-Nugent	Andrew	520	Pinnacle Reserve, ACT	5998229	58009599	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	Max.height (m)	0.54	cm	Single	54	m		6963855	5	
OReilly-Nugent	Andrew	520	Pinnacle Reserve, ACT	5998229	58009600	3106	Plant height vegetative	504	Plant height vegetative	Canopy.height (m)	0.46	cm	Single	46	m		219851	5	
OReilly-Nugent	Andrew	520	Pinnacle Reserve, ACT	5998230	58009611	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	Max.height (m)	0.38	cm	Single	38	m		403135	5	
OReilly-Nugent	Andrew	520	Pinnacle Reserve, ACT	5998230	58009612	3106	Plant height vegetative	504	Plant height vegetative	Canopy.height (m)	0.3	cm	Single	3	m		150955	5	
OReilly-Nugent	Andrew	520	Pinnacle Reserve, ACT	5998375	58011345	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	Max.height (m)	0.49	cm	Single	49	m		615639	5	
OReilly-Nugent	Andrew	520	Pinnacle Reserve, ACT	5998375	58011346	3106	Plant height vegetative	504	Plant height vegetative	Canopy.height (m)	0.44	cm	Single	44	m		212686	5	
OReilly-Nugent	Andrew	520	Pinnacle Reserve, ACT	5998376	58011357	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	Max.height (m)	0.27	cm	Single	27	m		584568	5	
OReilly-Nugent	Andrew	520	Pinnacle Reserve, ACT	5998376	58011358	3106	Plant height vegetative	504	Plant height vegetative	Canopy.height (m)	0.21	cm	Single	21	m		934649	5	
Peco	Begoña	270	Plant Traits of Acidic Grasslands in Central Spain	18067586	14037264	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	Canopy.height (cm)	5.31	cm	Single	531	m		286361	6	
Biological Records Centre (BRC)		178	PLANTATT - Attributes of British and Irish Plants	1355211	9649920	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Height (terrestrial)	67	cm	Maximum	67	m		114621	7	
Dwyer	John	301	Specific leaf area responses to environmental gradients through space and time	24451129	21072435	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	Max. Height (cm)	49.7	cm	Single	497	m		870122	8	Plants were pressed fresh in the field and SLA and Height's were measured on pressed specimens.SLA values presented here are from sun-exposed leaves only. Pressed leaves were rehydrated prior to measuring leaf area.
Kleyer	Michael	25	The LEDA Traitbase	1174745	1845030	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	single value [m]	0.4	cm	Best estimate	4	m		446009	9	mean of observation
Kleyer	Michael	25	The LEDA Traitbase	11168228	1845034	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	single value [m]	0.6	cm	Maximum	6	m		862248	9	mean of observation
Kleyer	Michael	25	The LEDA Traitbase	11168227	1845035	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	single value [m]	0.2	cm	Minimum	2	m		100949	9	mean of observation
Kleyer	Michael	25	The LEDA Traitbase	174746	1845038	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	single value [m]	0.2	cm	Best estimate	2	m	1845035	100949	9	mean of observation
Kleyer	Michael	25	The LEDA Traitbase	11168229	1845042	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	single value [m]	0.2	cm	Minimum	2	m	1845035	100949	9	mean of observation
Garnier	Eric	45	The VISTA Plant Trait Database	13065516	9038824	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	plant.height - flora	45	cm	Single	45	m		544459	10	
Garnier	Eric	45	The VISTA Plant Trait Database	13065554	9038841	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	plant.height - flora	45	cm	Single	45	m	9038824	544459	10	
Garnier	Eric	45	The VISTA Plant Trait Database	13065594	9040909	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	plant.height - flora	45	cm	Single	45	m	9038824	544459	10	
Garnier	Eric	45	The VISTA Plant Trait Database	13066637	9040935	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	plant.height - flora	45	cm	Single	45	m	9038824	544459	10	
Garnier	Eric	45	The VISTA Plant Trait Database	13070719	9052221	3106	Plant height vegetative	19	Plant height vegetative	plant.height - flora	42.5	cm	Single	425	m		496683	10	
Garnier	Eric	45	The VISTA Plant Trait Database	13070719	9052224	3106	Plant height vegetative	504	Plant height vegetative	veg plant height	9.79	cm	Single	979	m		160135	10	
Schweingruber	Fritz	251	The Xylem Photom Database	17975099	13597274	3106	Plant height vegetative	1937	Plant height (unspecified if vegetative or reproductive)	plant.height	20	cm	Single	2	m		122639	11	
Catford	Jane	299	Traits related to riparian plant invasion in South East Australia	24644835	20088366	3106	Plant height vegetative	3850	Plant height observed max	Plant height max (m)	1.2	cm	Single	12	m		726951	12	Data extracted from floras
											media								
											min								
											max								

Tabella 13: dati *richiesti al database TRY per l'altezza di Echium plantagineum. Per motivi di spazio sono state eliminate colonne riportanti SpeciesName, AccSpeciesID, oltre che le colonne riportanti OrigUncertaintyStr, UncertaintyName, REplicates, RelUncertaintyPercent, StdValueStr che risultavano vuote nel file originale. Le citazioni presenti nella colonna References fanno riferimento a: 1 = Gachet et al. 2005, 2 = Tavsanoglu C. & Pausas J.G. 2018, 3 = Fitter et al. 1994, 4 = Bragazza 2009, 5 = O'Reilly et al. 2019, 6 = Peco et al. 2005, 7 = Hill et al. 2004, 8 = Dwyer et al. 2014, 9 = Kleyer et al. 2088, 10 = Garnier et al. 2007, 11 = Schweingruber et al. 2005, 12 = Catford et al. 2014*

Inoltre, un confronto, seppur parziale, è possibile con quanto riportato nella Flora d'Italia (Pignatti 2017-2019), che riporta un'altezza media per la specie *Echium plantagineum* di 20-60 cm, dato che considera probabilmente l'altezza da terra totale dell'individuo e non quella del fiore aperto posto più in alto. Ad ogni modo, i dati rilevati in campo risultano essere maggiori rispetto a quelli della Flora d'Italia.

3.1.4 Risultati e discussioni delle misurazioni di Flower depth and width

Nel seguente capitolo vengono riportati le misurazioni di Flower depth and width (tabella 14) relativi a 10 fiori raccolti all'inizio del periodo di massima fioritura e altrettanti 10 fiori raccolti alla fine del periodo di massima fioritura di *Echium plantagineum L.* all'interno dell'aria di studio.

Data: 28/04/2025, DOY 118										
individuo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
flower depth: profondità del fiore dall'apertura (mm)	18,34	14,00	15,20	19,00	13,50	17,50	16,50	14,80	13,70	16,90
flower width: larghezza del tubo corollino (mm)	4,00	2,30	2,10	3,80	2,10	2,70	2,40	2,60	1,70	3,60
Data: 05/6/2025, DOY: 156										
individuo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
flower depth: profondità del fiore dall'apertura (mm)	15,50	13,60	13,80	14,40	17,80	14,80	13,70	16,40	12,30	11,80
flower width: larghezza del tubo corollino (mm)	3,00	2,80	2,80	2,00	2,40	2,50	2,50	2,30	3,00	2,60

Tabella 14: flower depth and width di 10 fiori raccolti all'inizio del periodo di piena fioritura (28/04/2025) e alla fine del periodo di piena fioritura (05/06/2025), in millimetri

Per quanto riguarda le misurazioni effettuate sui 10 fiori raccolti nel periodo iniziale di massima fioritura in data 28/04/2025 per il flower depth il valore medio risulta essere di 15,94 mm con un minimo di 13,5 mm e un massimo di 19 mm (tab.15); per il flower width il valore medio risulta essere di 2,73 mm con un minimo di 1,7 mm e un massimo di 4 mm (tab. 16).

Per quanto riguarda le misurazioni effettuate sui 10 fiori raccolti nel periodo finale di massima fioritura in data 05/06/2025 per il flower depth il valore medio risulta essere di 14,4 mm con un minimo di 11,8 mm e un massimo di 17,8 mm (tab. 15); per il flower width il valore medio risulta essere di 2,59 con un minimo di 2 e un massimo di 3 mm (tab. 16).

Quindi, mediamente, Flower depth ha mostrato una riduzione nella fase finale della piena fioritura di 1.53 mm, sebbene la differenza non abbia raggiunto la significatività statistica ($p = 0,088$) (Tab.15).

Per quanto riguarda flower width, le differenze tra inizio e fine piena fioritura sono inferiori, ovvero di 0.14 mm, subendo quindi una diminuzione del 5.13%. Tuttavia, flower width non ha mostrato differenze significative tra i due periodi di campionamento ($p = 0,61$) (Tab. 16)

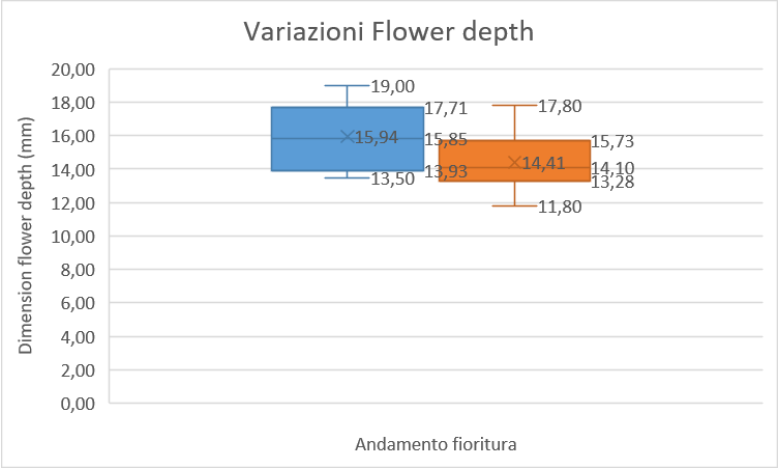


Tabella 15: andamento di Flower depth all'inizio della piena fioritura (box azzurro) e alla fine della piena fioritura (box arancione)

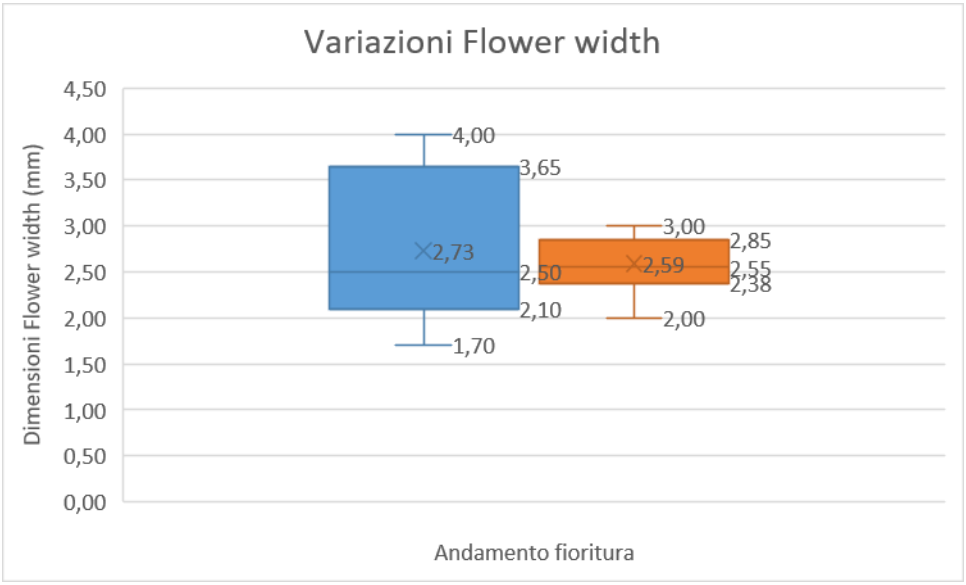


Tabella 16: andamento di Flower width all'inizio della piena fioritura (box azzurro) e alla fine della piena fioritura (box arancione)

Anche se non statisticamente significativo, tale andamento, soprattutto se visto alla luce dei risultati ottenuti dai confronti di Flower size negli stessi periodi (che invece dimostrava differenze significative), potrebbe suggerire una riduzione dell'investimento nella struttura fiorale man mano che la piena fioritura avanza

3.2 Risultati e discussioni dello studio fenologico

In questo capitolo vengono presentati i risultati ed esposte le relative discussioni riguardanti lo studio fenologico condotto sul popolamento di *Echium plantagineum L* presente nell'area di studio. Vengono prima esposti i risultati dello studio fenologico secondo il Manuale di rilevamento di Michelot-Antalik et al. (2025) per il parametro denominato "Flowering phenology" e successivamente i risultati del monitoraggio condotto attraverso la metodologia dei Giardini Fenologici Italiani. Entrambe le metodologie sono state effettuate all'interno dello stesso quadrante per ogni giorno di rilievo.

3.2.1 Risultati e discussioni dello studio fenologico secondo il Manuale di rilevamento Michelot-Antalik et al. 2025

Nelle tabelle 12 e 13 di seguito vengono riporti i risultati riguardanti lo studio fenologico secondo il protocollo riportato nel Manuale di Michelot-Antalik et al. (2025), che definisce lo studio fenologico della fioritura come un parametro derivante a sua volta da Floral density (densità fiorale) rilevata in campo.

I dati riguardano quindi il conteggio totale del numero di FU aperte per ogni giorno di rilievo all'interno di 5 plot di campionamento di 1 m² ciascuno, posizionati casualmente nell'area di studio in ogni giornata di rilevamento.

Nelle tabelle vengono anche riportati i dati metereologici ottenuti attraverso il portale SIRMIP (Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico) ad eccezione della nuvolosità che è stata attribuita da osservazioni in campo.

DOY	118					125					134					140					149				
Data	28/04/2025					05/05/2025					14/05/2025					20/05/2025					29/05/2025				
Ora	10:00					10:52					11:53					08:30					10:15				
Temperatura (°C)	18.81					22.19					20.50					20.50					23.70				
Precipitazioni (mm)	0.00					0.00					0.00					0.00					0.00				
Umidità (%)	61.48					54.95					44.55					53.93					54.74				
Nuvolosità	Cielo sereno					Poco nuvoloso					Cielo sereno					Nuvoloso					Cielo sereno				
Radiazione solare globale (W/m²)	496.15					740.21					957.00					347.40					704.25				
Velocità media del vento (m/s)	3.67					4.72					2.85					1.95					1.95				
Direzione prevalente del vento	NNW					ESE					NW					SE					WNW				
Plot n°	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Floral density (n° FU aperti per specie/m²)	113	50	63	51	37	130	31	15	20	100	23	91	165	22	47	172	23	30	54	58	163	102	188	21	33
totale FU aperti per specie/m²	314					296					348					337					507				

Tabella 17 risultati relativi alla floral density e dati metereologici (SIRMIP) dell'area oggetto di studio, dal 28/04/2025 (DOY 118) al 29/05/2025 (DOY 149).

DOY	156					163					170					177					185				
Data	05/06/2025					12/06/2025					19/06/2025					26/06/2025					04/07/2025				
Ora	09:59					15:37					10:02					09:32					17:42				
Temperatura (°C)	26.73					26.61					25.55					30.92					32.11				
Precipitazioni (mm)	0.00					0.00					0.00					0.00					0.00				
Umidità (%)	44.99					59.68					66.11					48.71					42.77				
Nuvolosità	Poco nuvoloso					Cielo sereno					Cielo sereno					Cielo sereno					Poco nuvoloso				
Radiazione solare globale (W/m²)	639.40					639.85					474.17					720.20					282.85				
Velocità media del vento (m/s)	3.20					2.93					3.56					3.30					1.37				
Direzione prevalente del vento	NE					N					NW					N					W				
Plot n°	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Floral density (n° FU aperti per specie/m²)	142	25	26	86	62	36	68	8	6	40	7	11	8	13	5	5	5	7	9	4	0	0	1	0	0
totale FU aperti per specie/m²	341					158					44					30					1				

Tabella 18: risultati relativi alla floral density e dati metereologici (SIRMIP) dell'area oggetto di studio dal 05/05/2025 (DOY 156) al 04/07/2025 (DOY 149).

La tabella 19 sintetizza i dati di Floral density rilevati in campo. Per ciascuna data sono riportati il giorno dell'anno (DOY), la Floral density calcolata come numero di fiori aperti nel totale dei 5 plot da 1 m^2 l'uno, il prodotto DOY × FD utilizzato per il calcolo della media ponderata del tempo di fioritura e la FD cumulativa, impiegata per stimare la distribuzione temporale della fioritura e la durata della fase principale (10–90%).

Data	DOY	Floral Density (FD)	FD %	DOY*FD	FD cumulativa	% FD cumulativa
28/04/2025	118	314	13%	37052,00	314	13,22
05/05/2025	125	296	12%	37000,00	610	25,67
14/05/2025	134	348	15%	46632,00	958	40,32
20/05/2025	140	337	14%	47180,00	1295	54,50
29/05/2025	149	507	21%	75543,00	1802	75,84
05/06/2025	156	341	14%	53196,00	2143	90,19
12/06/2025	163	158	7%	25754,00	2301	96,84
19/06/2025	170	44	2%	7480,00	2345	98,70
26/06/2025	177	30	1%	5310,00	2375	99,96
04/07/2025	185	1	0%	185,00	2376	100,00
		Tot FD		**Tot DOY*FD**	**Media ponderata**	
		2376,00		335332,00	141,13	

Tabella 19: sintesi dei dati di Flora density rilevati in campo nel 2025. Per ciascuna data sono riportati il giorno dell'anno (DOY), la Floral density (FD), il prodotto DOY × FD, la FD cumulativa e la Sd cumulativa percentuale.

L'andamento della curva mostrata nella tabella 20mostra un aumento non lineare della Floral Density da DOY 118 (28/04/2025) fino a DOY 149 (29/5/2025), quando si è registrato un picco (507 FU aperte), ovvero dopo 31 giorni dall'inizio del monitoraggio. In seguito al picco, la Floral density è diminuita bruscamente fino a concludersi a DOY 185 (04/07/2025). In totale si sono state quindi FU aperte per circa 67 giorni e il numero totale di fiori aperti osservati è stato pari a 2375.

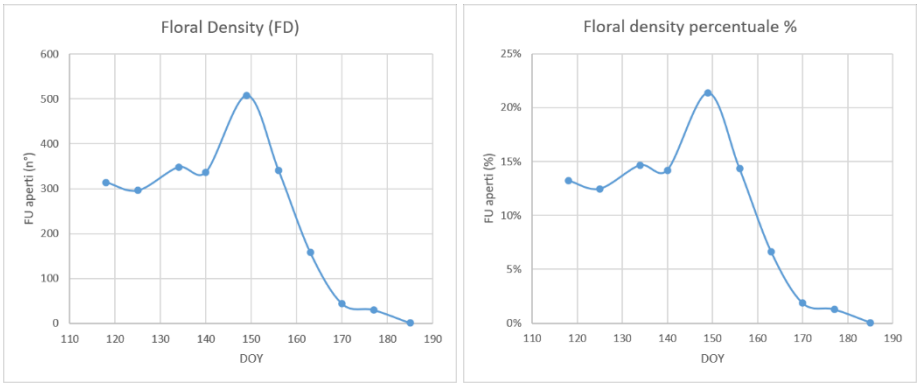


Tabella 20 andamento di Floral density e della Floral density percentuale nel corso del periodo di monitoraggio.

La curva cumulativa della Floral density nella tabella 21 mostra la distribuzione temporale dei fiori aperti nell'area di rilievo. Nella prima parte della stagione la curva cresce in modo relativamente regolare, passando da poco più di 300 unità floreali cumulative al DOY 118 a poco più di 950 al DOY 134. Il tratto centrale della curva mostra la pendenza maggiore, con un incremento da circa 950 a oltre 2100 FU cumulative, nella fase che rappresenta la massima intensità di fioritura. Dopo il DOY 156 la curva rallenta progressivamente fino a raggiungere un plateau intorno a 2376 unità floreali cumulative.

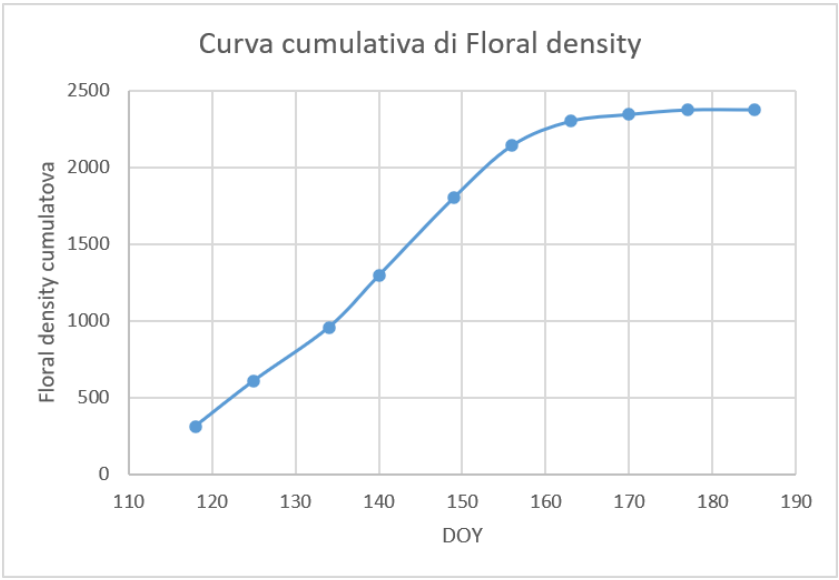


Tabella 21curva cumulativa della Floral density per l'anno 2025.

Nella tabella 22 viene riportata la Floral density cumulativa percentuale, calcolata come rapporto percentuale tra la Floral density cumulativa e la Floral density cumulativa totale, che mostra come il 50% della densità floreale cumulativa è stato raggiunto intorno al DOY

138–140, mentre il 90% è stato raggiunto al DOY 156, indicando che la fase principale della fioritura si è concentrata in circa 38 giorni.

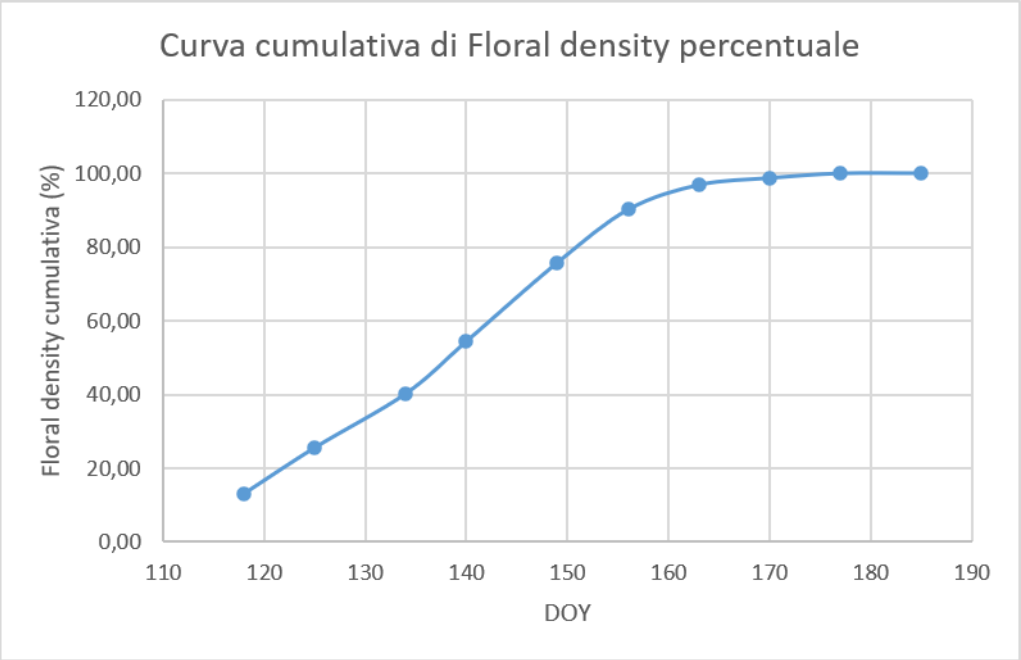


Tabella 22 *andamento della floral density cumulativa percentuale.*

3.2.2 Risultati e discussioni dello studio fenologico secondo i Giardini fenologici italiani

Nel capitolo seguente vengono riportati i risultati (tabella 23) dello studio fenologico riproduttivo secondo la metodologia adottata dai Giardini Fenologici Italiani (Malossini et al. 1993, Puppi 2008).

La tabella 23 mostra nella parte più alta i conteggi relativi all'andamento fenologico della fase di fioritura, mentre in quella più bassa sono riportati i conteggi relativi alla fase di fruttificazione.

fioritura

		plot	1												tot 1	2												tot 2
intervallo di rilevamento	DOY	stadio fenologico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	118	28/04/2025				3									3			2	10									12
7	125	05/05/2025			2	14									16				3									3
9	134	14/05/2025				4	1								5				9									9
6	140	20/05/2025				14									14				2									2
9	149	29/05/2025					2								2				1	2								3
7	156	05/06/2025					9	13							22					1								1
7	163	12/06/2025					3	11							14					10	2							12
7	170	19/06/2025					5								5					2	1							3
7	177	26/06/2025					1	2							3					1								1
8	185	04/07/2025						2							2						1							1

		plot	3												tot 3	4												tot 4	5												tot 5	tot
intervallo di rilevamento	DOY	stadio fenologico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	118	28/04/2025			1	5									6	1		2	6									9				3									3	33
7	125	05/05/2025	1			2									3	1		2	2									5			1	6									7	34
9	134	14/05/2025				12									12				2									2				4									4	32
6	140	20/05/2025				3									3				3									3				6	1								7	29
9	149	29/05/2025					12								12					3	1							4				1	3								4	25
7	156	05/06/2025					2	1							3					4								4					5	3							8	38
7	163	12/06/2025					5	5							10					1								1					3								3	40
7	170	19/06/2025					5	1							6					4	2							6					1								1	21
7	177	26/06/2025					2								2					1								1					2	2							4	11
8	185	04/07/2025						3							3						4							4						3							3	13

fruttificazione

		plot	1												tot 1	2												tot 2
intervallo di rilevamento	DOY	stadio fenologico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	149	29/05/2025									2				2									3				3
7	156	05/06/2025									4	18			22									1				1
7	163	12/06/2025									1	11	6		18										14			14
7	170	19/06/2025										5			5										3			3
7	177	26/06/2025										3	1		4										1			1
8	185	04/07/2025										1	1	2	4										1			1

		plot	3												tot 3	4												tot 4	5												tot 5	tot
intervallo di rilevamento	DOY	stadio fenologico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	149	29/05/2025									11	1			12								1	1	2			4									1	3			4	25
7	156	05/06/2025									2	1			3								1	3				4									8				8	38
7	163	12/06/2025									7	3			10									1				1									1	2			3	46
7	170	19/06/2025										6	3		9										8		1	9										1			1	27
7	177	26/06/2025										2			2										1			1										5			5	13
8	185	04/07/2025										3			3										4		3	7										3		5	8	23

Tabella 23: risultati dello studio fenologico secondo i Giardini fenologici italiani nell'area oggetto di studio. In colonna sono riportati i 5 plot di rilievo e, per ogni plot, le fasi fenologiche da 1 a 12, in riferimento alla scala fenologica a 12 fasi riproduttive adottata (figura 24). Nelle righe vengono riportate invece le date di rilievo. Nelle celle sono riportai i conteggi degli individui che si ritrovano in una certa fase fenologica per giorno di rilievo e i relativi totali. Nelle colonne colorate in giallo sono riportati i totali dei conteggi fenologici in ogni plot per giorno di rilievo, mentre nelle colonne in verde i totali complessivi per ogni giorno di rilevamento.

Dalla tabella 23 sono stati estrapolati (tab.24) i soli conteggi relativi alle fasi di fioritura, ovvero dalla fase 1 (boccioli presenti) alla fase 6 (fiori sfioriti), sommando i dati di tutti i plot per giorno di rilievo. La fase fenologica 2, che determina la comparsa di petali visibili, probabilmente per la difficoltà di individuazione nella specie oggetto di studio ripota sempre valori uguali a 0, pertanto non compare nella tabella.

DOY	conteggi					conteggi percentuali				
	Fase 1	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 1	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6
118	1	5	27	0	0	3%	15%	82%	0%	0%
125	2	5	27	0	0	6%	15%	79%	0%	0%
134	0	0	31	1	0	0%	0%	97%	3%	0%
140	0	0	28	1	0	0%	0%	97%	3%	0%
149	0	0	2	22	1	0%	0%	8%	88%	4%
156	0	0	0	21	17	0%	0%	0%	55%	45%
163	0	0	0	22	18	0%	0%	0%	55%	45%
170	0	0	0	17	4	0%	0%	0%	81%	19%
177	0	0	0	7	4	0%	0%	0%	64%	36%
185	0	0	0	0	13	0%	0%	0%	0%	100%

Tab. 24: dettaglio dei conteggi e dei conteggi percentuali relativi agli individui presenti nelle fasi di fioritura per giorno di rilievo (da DOY - 118 28/04/2025- a DOY 185 - 04/07/2025) nei 5 plot.

Dalla tabella 24 deriva il grafico (Tabella 25) della distribuzione percentuale delle fasi di fioritura, dalla fase 1 = di presenza di boccioli alla fase 6 = fine fioritura.

Le fasi 1 e 3 risultano essere molto poco rappresentate e presenti nei primi due giorni di rilievo, per una durata di 7 giorni circa.

Sono invece preponderanti le fasi 4 = piena fioritura e 5= inizio sfioritura. La fase di piena fioritura è già presente sin dal primo giorno di monitoraggio e raggiunge il massimo nei DOY 134 e 140, per poi terminare a DOY 149 quando è presente al suo minimo, durando in totale 31 giorni circa.

La fase 5 inizia in maniera latente nel DOY 134 e diventa preponderante da DOY 149, per terminare a DOY 177, con una durata di circa 43 giorni.

La fioritura si conclude a DOY 185 con tutti gli individui in fase 6. La fase 6 inizia a DOY 146 e dura circa 36 giorni.

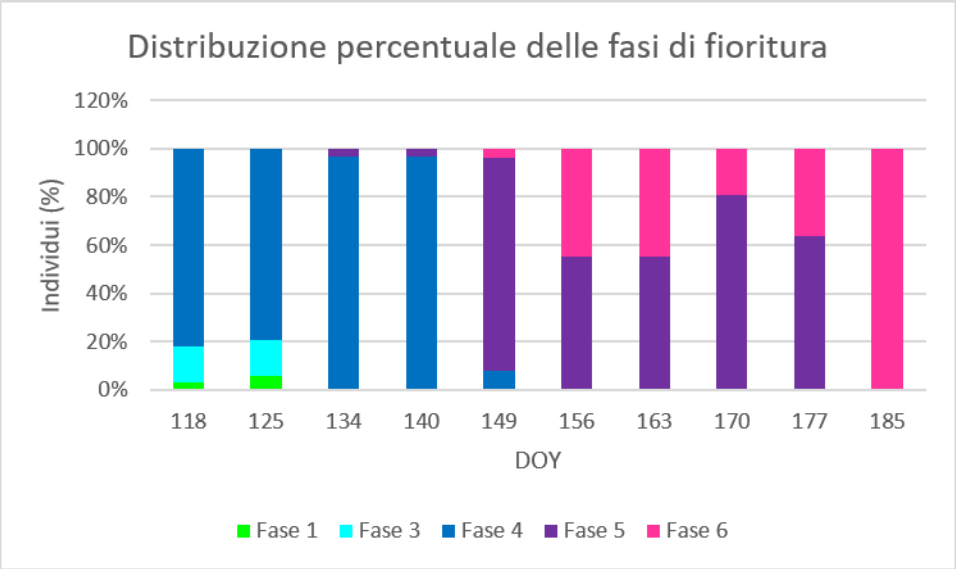


Tabella 25: distribuzione percentuale delle fasi di fioritura.

Ponendo attenzione alla sola fase 4 - piena fioritura, fase che viene attribuita agli individui con fiori aperti, boccioli e fiori sfioriti, ma soprattutto con fiori per lo più tutti aperti, le tabelle 26 e 27 mostrano rispettivamente gli andamenti della fase di piena fioritura e della piena fioritura percentuale.

L'inizio della fase di piena fioritura era già presente a DOY 118 (primo giorno di rilievo) e termina a DOY 149, durando quindi complessivamente circa 31 giorni, come detto anche in precedenza. La piena fioritura raggiunge un picco ai DOY 134 e 140 (rispettivamente 31 e 82 individui in piena fioritura, ovvero il 97% del conteggio totale di individui), ovvero dopo 16 giorni dall'inizio della piena fioritura/fioritura stessa. Raggiunto il 97% del totale, la piena fioritura cala bruscamente da DOY 149.

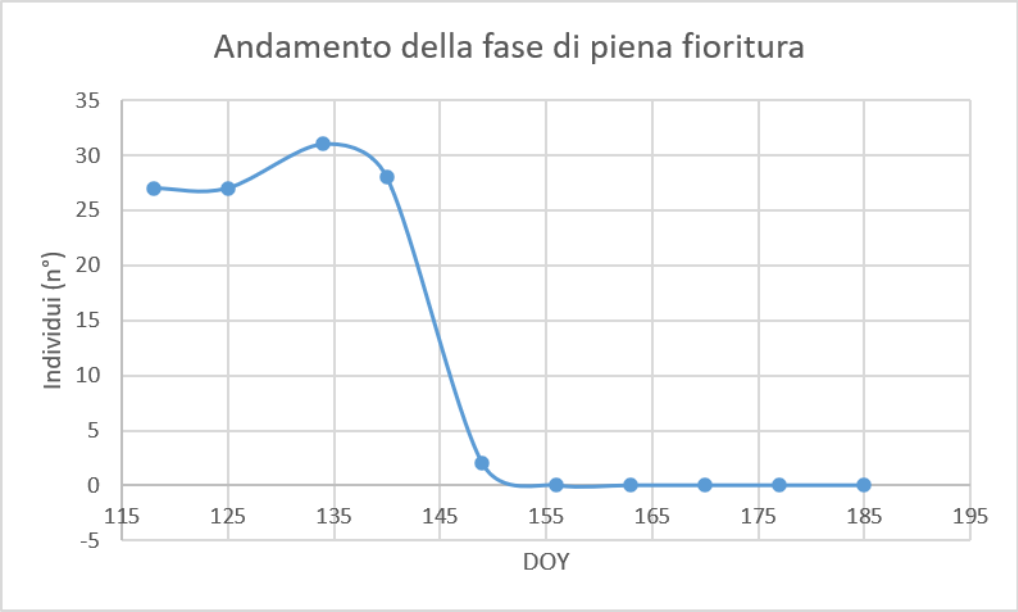


tabella 26: andamento della piena fioritura

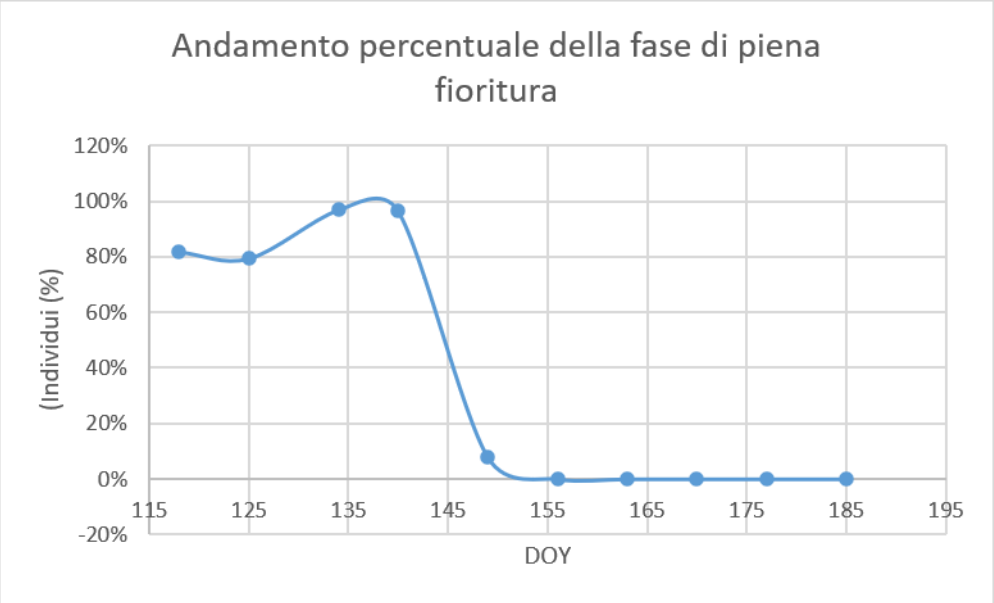


Tabella. 27: andamento percentuale della piena fioritura

Considerando ancora i dati dei conteggi nella tabella 23, vengono ora estratti (tab. 28) solo quelli delle fasi centrali di fioritura, ovvero da 3 (boccioli rigonfi e fiori aperti) a 6 (fine fioritura). Viene fatta una elaborazione dei dati fenologici mediante stima della data di comparsa della fenofase 4 – piena fioritura mediante analisi di regressione lineare tra le fenofasi medie e DOY (Zanotti et al. 2002).

La regressione lineare è del tipo DOY=a+b·fase, dove DOY si identifica come la variabile dipendente, mentre la variabile indipendente è la fase fenologica media. Tale analisi è utilizzata per prevedere quando è comparsa la fase di piena fioritura secondo i dati raccolti.

DOY	3	4	5	6	somma	fase media (media ponderata)	INTERCETTA	PENDENZA	fase 2	fase 3	fase 4	fase 5	fase 6
118	5	27	0	0	32,0	3,84	25,56	26,189	78	104	130	157	183
125	5	27	0	0	32,0	3,84							
134	0	31	1	0	32,0	4,03							
140	0	28	1	0	29,0	4,03							
149	0	2	22	1	25,0	4,96							
156	0	0	21	17	38,0	5,45							
163	0	0	22	18	40,0	5,45							
170	0	0	17	4	21,0	5,19							
177	0	0	7	4	11,0	5,36							
185	0	0	0	13	13,0	6,00							

Tabella 28: calcolo dell'intercetta e della pendenza della curva di regressione lineare e previsione dei DOY di comparsa delle fasi da 2 a 6. (Zanotti et al. 2002).

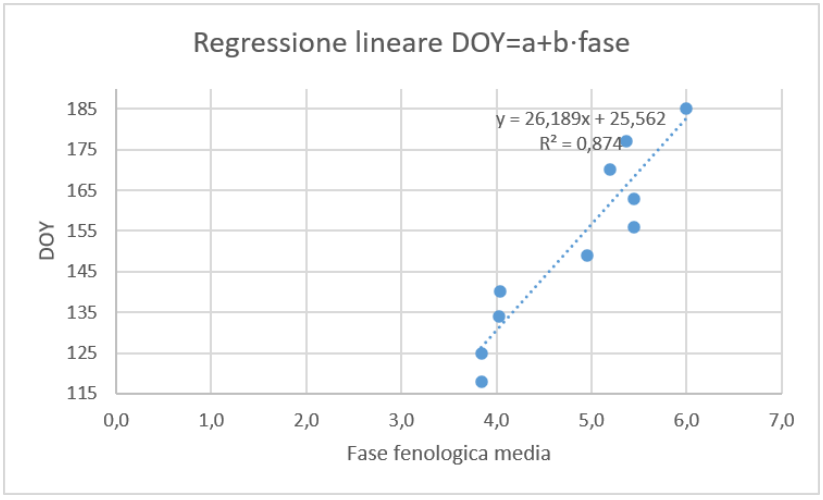


Tabella 29: la curva di regressione lineare derivata dai dati fenologici medi.

La fase di piena fioritura che raggiunge la percentuale del 97% a DOY 134 è prevista, secondo l'analisi della regressione lineare, per DOY 130.

In ultimo, vengono riportati i dati delle fasi fenologiche relative alla fruttificazione, che è stato possibile rilevare secondo il metodo di monitoraggio fenologico dei Giardini Fenologici Italiani.

Dalla tab. 23 sono estrapolati i conteggi percentuali relativi alle fasi centrali di fruttificazione (tabella 30), che vanno da fase 8 (inizio fruttificazione) a fase 12 (presenza di soli frutti residui), con fase 10 corrispondente al culmine della fruttificazione, quando tutti i semi sono

maturi. Il grafico nella tabella 31 riporta l'andamento della distribuzione percentuale degli stadi centrali di fruttificazione.

DOY	conteggi					conteggi percentuali				
	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
149	1	18	6	0	0	4%	72%	24%	0%	0%
156	1	18	19	0	0	3%	47%	50%	0%	0%
163	0	10	30	6	0	0%	22%	65%	13%	0%
170	0	0	23	3	1	0%	0%	85%	11%	4%
177	0	0	12	1	0	0%	0%	92%	8%	0%
185	0	0	12	1	10	0%	0%	52%	4%	43%

Tabella 30: conteggi e conteggi percentuali degli stadi centrali di fruttificazione, dove 10 è il culmine della fruttificazione, quando tutti i semi sono maturi.

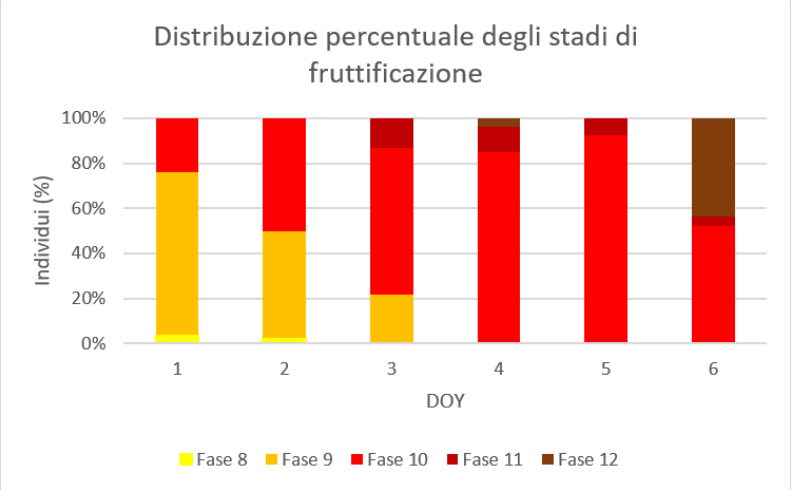


Tabella 31: distribuzione percentuale degli stadi di fruttificazione.

Le tabelle 33 e 34 riportano rispettivamente l'andamento e l'andamento percentuale della fase centrale (fase 10) di fruttificazione, quando tutti i semi sono maturi. È evidente come il popolamento oggetto di studio raggiunga il massimo della maturazione dei semi attorno a DOY 163 e raggiunga il 92% dei frutti maturi a DOY 177.

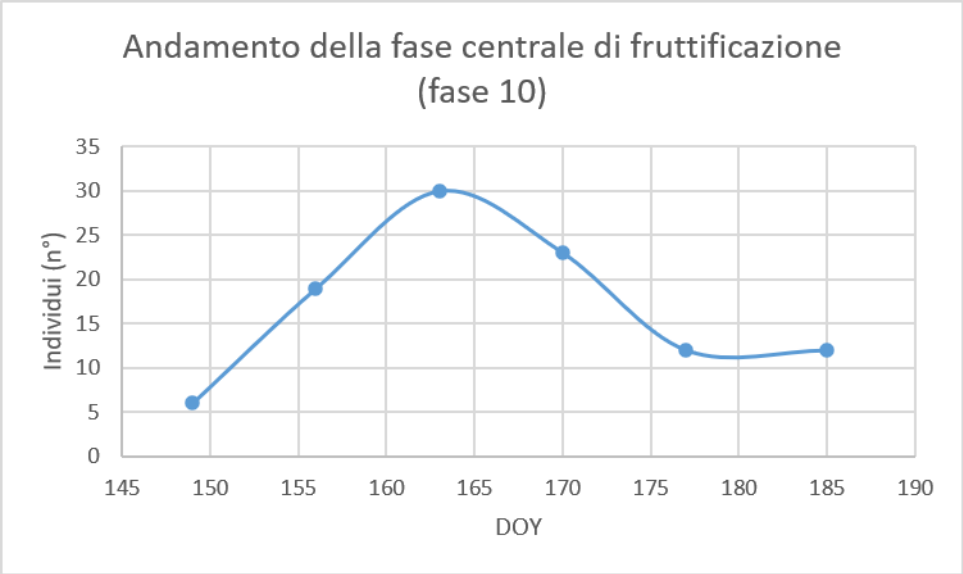


Tabella 33: andamento della fase centrale di fruttificazione.

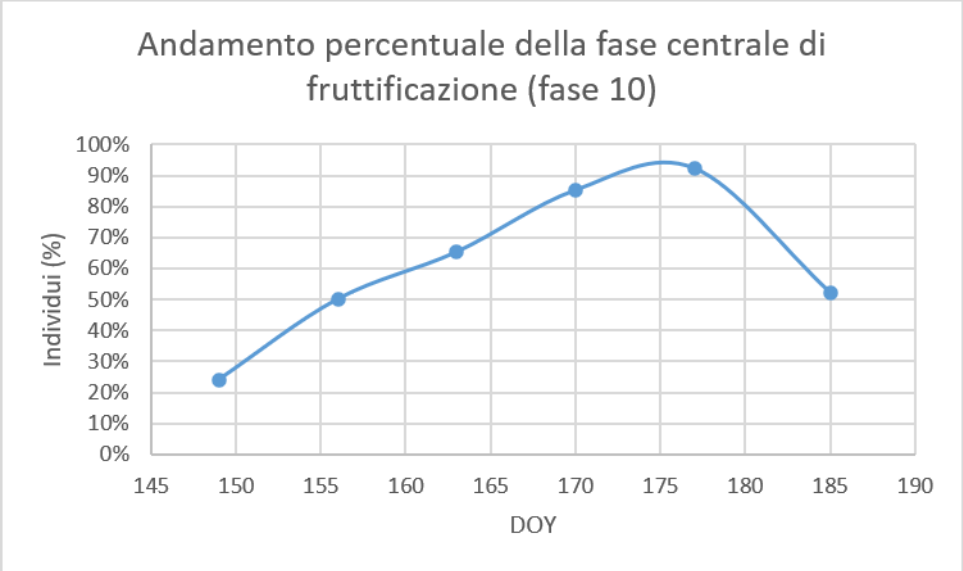


Tabella 34: andamento percentuale della fase centrale di fruttificazione.

3.3. Confronto tra i dati fenologici ottenuti secondo il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) e il protocollo dei Giardini Fenologici Italiani

Entrambe le metodologie di studio fenologico hanno avuto inizio a DOY 118 (28/04/2025) e si sono concluse a DOY 185 (04/07/2025). La frequenza dei rilievi è stata di ogni 7/10 giorni e i rilievi sono stati effettuati all'interno degli stessi plot di rilevamento (5 plot da 1 m^2 l'uno) posti casualmente nell'area di rilevamento da 90 m^2 all'interno del Parco del Cardeto di Ancona.

L’obiettivo dello studio della fenologia secondo il Manuale Michelot-Antalik et al. 2025 è stato quello di monitorare l’andamento della Flora densitiy, che si identifica come numero di FU aperte per ogni giorno di rilievo. A DOY 149 (29/5/2025) si è registrato il massimo di FU aperte (507 FU aperte, 21%), ovvero dopo 31 giorni dall’inizio del monitoraggio. In seguito al picco di Floral density, si è raggiunto il minimo a DOY 185 (04/07/2025), che determina la fine della fioritura. In totale, sono state quindi contate FU aperte per circa 67 giorni.

Andando ora a vedere la Floral density cumulativa, c’è stato un incremento da circa 950 a oltre 2100 FU cumulative, nella fase che rappresenta la massima intensità di fioritura.

La Floral density cumulativa percentuale mostra che il 50% della densità floreale cumulativa è stato raggiunto intorno al DOY 138–140, mentre il 90% è stato raggiunto al DOY 156, indicando che la fase principale della fioritura si è concentrata in circa 38 giorni.

Rispetto al metodo precedentemente descritto, che si basa sul conteggio di FU aperte per giorno di rilievo, lo studio fenologico condotto secondo la metodologia dei Giardini Fenologici Italiani si basa sul conteggio del numero di individui che si trovano in una certa fase fenologica, secondo una scala fenologica a 12 fase riproduttive, in un giorno di rilievo. Lo studio ha riguardato sia la fenologia della fioritura che quella della fruttificazione.

Concentrando l’attenzione in questo caso all’andamento della fase centrale di piena fioritura, questa era già presente sin dal primo giorno di monitoraggio e ha raggiunto il massimo tra DOY 134 e DOY 140, per poi terminare a DOY 149 quando è presente al suo minimo, durando in totale 31 giorni circa. La piena fioritura raggiunge un picco ai DOY 134 e 140 (rispettivamente 31 e 82 individui in piena fioritura, ovvero il 97% del conteggio totale di individui), ovvero dopo 16 giorni dall’inizio della piena fioritura/fioritura stessa. Raggiunto il 97% del totale, la piena fioritura cala bruscamente da DOY 149. La previsione della data di piena fioritura effettuata secondo l’analisi di regressione lineare conferma che questa è probabilmente avvenuta a DOY 130.

Riguardo alle fasi antecedenti la piena fioritura, quando i fiori sono presenti solo in boccioli, ma non aperti (fase 1) e quando sono presenti sia in bocci che appena aperti (fase 3), queste hanno avuto una durata di 7 giorni circa.

Andando a vedere le fasi successive alla piena fioritura, l’inizio della sfioritura (fase 5) è iniziata in maniera latente nel DOY 134 ed è diventata preponderante da DOY 149, per terminare a DOY 177, con una durata di circa 43 giorni.

La fase di fine fioritura (fase 6) è iniziata a DOY 146 e si è conclusa a DOY 185, durando circa 36 giorni.

I due metodi osservano quindi lo stesso fenomeno da punti di riferimento diversi: Floral density da un'informazione su quanti fiori aperti ci sono per giorno di rilievo, mentre i conteggi del monitoraggio fenologico "classico", in questo caso specifico relativi alle fasi centrali di fioritura informano su quante piante fioriscono per giorno di rilievo. Tuttavia, il metodo di rilievo fenologico classico da informazioni ulteriori rispetto a quelle del momento centrale della fioritura.

Si può tentare un confronto tra Floral density percentuale e la percentuale dei conteggi relativi alle fasi centrali di piena fioritura.

Nella tabella 35 viene pertanto riportata una sintesi dei dati riguardanti Floral Density e i conteggi degli individui che si presentavano nelle fasi centrali della fioritura (1-5), ovvero quando avevano almeno qualche fiore aperto e che sarebbero quindi potute rientrare anche nei conteggi della Floral Density,

Data	DOY	Floral Density	Floral Density %	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 3	Fase 4	Fase 5	tot % 3+4+5
28/04/2025	**118**	314	13%	5	27	0	15%	82%	0%	97%
05/05/2025	**125**	296	12%	5	27	0	15%	79%	0%	94%
14/05/2025	**134**	348	15%	0	31	1	0%	97%	3%	**100%**
20/05/2025	**140**	337	14%	0	28	1	0%	97%	3%	**100%**
29/05/2025	**149**	**507**	**21%**	0	2	22	0%	8%	88%	96%
05/06/2025	**156**	341	14%	0	0	21	0%	0%	55%	55%
12/06/2025	**163**	158	7%	0	0	22	0%	0%	55%	55%
19/06/2025	**170**	44	2%	0	0	17	0%	0%	81%	81%
26/06/2025	**177**	30	1%	0	0	7	0%	0%	64%	64%
04/07/2025	**185**	1	0%	0	0	0	0%	0%	0%	0%

Tab. 35: tabella riassuntiva dei dati raccolti col monitoraggio fenologico secondo il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) e quello dei Giardini Fenologici Italiani.

I grafici riportati nella figura 25 sono tratti dai dati percentuali riportati nella tab. XXX. Floral density raggiunge il massimo della percentuale a DOY 149 (21%), mentre la massima percentuale di individui in fase 4 (97%) è raggiunta tra DOY 134 e DOY 140, quindi tra i 9 e i 15 giorni prima rispetto al picco raggiunto da Floral density. Questo evidenzia uno sfasamento tra la disponibilità effettiva di risorse floreali e la fenologia degli individui. Probabilmente, durante la fase 4 di piena fioritura molte piante hanno pochi fiori realmente aperti e ciò può provocare una sovrastima delle interazioni potenziali, con riferimento alla rete pianta–impollinatore.

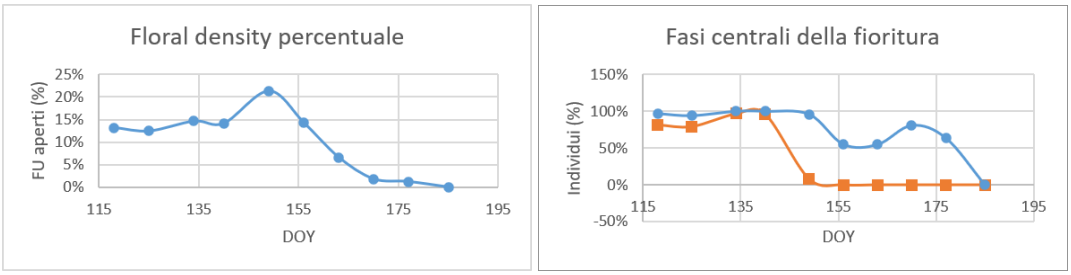


Fig. 25: a sinistra andamento della Floral density percentuale, a destra in blu andamento della percentuale di individui nelle fasi centrali della fioritura (fasi 3-5) e in arancione degli individui nella sola fase di piena fioritura (fase 4).

La fruttificazione è stata monitorata esclusivamente attraverso la metodologia dei Giardini Fenologici Italiani ed esula quindi dal confronto.

4. Osservazioni, criticità e proposte

In questo capitolo vengono riportate le criticità e le osservazioni emerse durante le misurazioni effettuate nell'ambito del rilevamento dei floral trais e del rilevamento fenologico, condotte secondo le modalità proposte dal Manuale (Michelot-Antalik 2025) e in accordo con la metodologia dei Giardini Fenologici Italiani per la specie oggetto di studio, *Echium plantagineum L.*, all'interno dell'area di studio del Cardeto. Vengono inoltre presentate alcune proposte per migliorare e agevolare l'applicazione delle procedure e dei metodi di rilevamento adottati.

Una delle prime questioni sulle quali è stato necessario discriminare ha riguardato l'identificazione della FU. Il Manuale fornisce una tabella (fig. 13) nella quale per varie specie, generi e famiglie botaniche sono riportati se la FU di riferimento debba essere single flower o un'infiorescenza. Tuttavia, sarebbe molto utile una tabella molto più ricca e dettagliata, in quanto talvolta specie della stessa famiglia o genere possono presentare caratteristiche fiorali diverse.

Per quanto riguarda la Floral height, nel Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) viene riportato che questo floral traits incentiva l'attrattività del fiore più alto essendo più visibile agli impollinatori. Tuttavia, nel caso del popolamento di *Echium* oggetto di studio non è stata osservata questa tendenza degli impollinatori a prediligere i fiori più alti e ben aperti, bensì venivano prediletti fiori aperti immediatamente sottostanti. Il comportamento potrebbe essere dovuto a molteplici fattori, come ad esempio il fatto che il fiore più in alto fosse sì ricettivo ma in fase di appassimento. Oppure, anche la presenza del rilevatore potrebbe incidere sul comportamento dell'impollinatore. Ad ogni modo, poiché è necessario definire uno standard che valga per tutti, si condivide la scelta dell'uso del fiore più alto come riferimento per la misurazione della Floral height.

In merito alla misurazione delle dimensioni del fiore per il calcolo della Floral area, il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) propone l'utilizzo di un calibro. Durante le misurazioni in campo è stato tuttavia adottato anche l'utilizzo di un righello, così a testarne l'efficacia, nel caso in cui non si avesse a disposizione un calibro. Si è osservato che le misurazioni ottenute col righello sono risultate maggiori o uguali rispetto a quelli ottenuti col calibro, probabilmente perché appoggiare il righello sulla superficie del fiore comporta uno schiacciamento dei petali essendo questi molto delicati. Si conferma quindi la necessità di dotarsi di un calibro ma soprattutto, in aggiunta, di ricorrere a fotografie scattate in campo con una scala metrica di riferimento e successivamente analizzate mediante software di elaborazioni immagini. Questo può rivelarsi particolarmente vantaggioso nel caso di fiori molto delicati, come appunto quelli di *Echium plantagineum L.*. Infatti, anche solo una lieve pressione esercitata dallo strumento (può capitare anche col calibro) può influenzare la misura finale e di conseguenza la stima dell'area fiorale.

Per quanto riguarda la misurazione della Flower size, il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) suggerisce la raccolta delle FU, la loro successiva scansione e la determinazione dell'area dei petali mediante l'analisi delle immagini. L'applicazione di tale procedura ha

portato ad evidenziare delle osservazioni emerse durante l'esperienza avuta in campo. Il protocollo prevede il campionamento di dieci fiori ben aperti e non danneggiati, senza però specificare la posizione dei fiori da prelevare sulla pianta. Nel caso dell'*Echium plantagineum L.* caratterizzato da un'infiorescenza ramificata e da una fioritura scalare, tale aspetto potrebbe influenzare la rappresentatività del campione, poiché i fiori potrebbero differire nella dimensione in base alla posizione. Pertanto, sono stati sempre scelti i fiori più alti o quelli immediatamente sottostanti.

Per verificare se la fase di fioritura potesse incidere sulle dimensioni del fiore, si è deciso di raccogliere i fiori in due periodi differenti: inizio della piena fioritura e fine della piena fioritura. Nel secondo periodo di raccolta, che coincideva con la fine del periodo di massima fioritura, i fiori raccolti erano di dimensioni più piccole rispetto a quelli della prima raccolta, probabilmente perché alla fine della piena fioritura la pianta ha impiegato meno risorse nella produzione di fiori. Queste differenze nei risultati ottenuti potrebbero suggerire di prevedere rilevamenti sia nella fase finale che nella fase iniziale della fioritura, in modo da valutare le variazioni dei Floral traits durante il periodo riproduttivo.

I fiori raccolti nel secondo periodo, inoltre, si presentavano meno turgidi, probabilmente a causa di una ridotta disponibilità idrica e della temperatura più alta. Ciò ha reso più complicato il sezionamento e l'apertura dei petali rendendo il lavoro più meticoloso e potenzialmente ciò potrebbe aver influenzato la stima dell'area essendo alcuni petali in parte ripiegati su sé stessi. È stato quindi utilizzato un pennello, in alcuni casipotrebbe essere comodo applicare dei vetrini sui campioni nel frattempo preparati, per non farli ripiegare, oppure spruzzare dell'acqua. Queste sono tutte tecniche che si possono perfezionare col tempo e con la pratica, che si potrebbero aggiungere al protocollo per informare su come operare al meglio per la preparazione del campione alla scansione e al calcolo della Floral area.

Al fine di ridurre la variabilità legata alle condizioni ambientali e allo stadio fenologico della pianta, sarebbe opportuno quindi integrare la fenologia nello studio dei Floral traits in modo da individuare il periodo di massima fioritura. A tal fine, sarebbe sufficiente documentarsi sul periodo di massima fioritura atteso della specie in analisi ed effettuare dei sopralluoghi prima di decidere il periodo ottimale per effettuare le misurazioni.

Inoltre, per garantire una maggiore standardizzazione si potrebbero effettuare le misurazioni in giornate soleggiate, preferibilmente nella fascia orario tra le 10:00 e le 16:00 in modo da avere le strutture fiorali completamente aperte. Tale indicazione è già riportata nel Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) nella sezione relativa alla misurazione delle Floral area, sarebbe utile estenderlo anche alla raccolta delle FU nell'ambito della misurazione di Flower size.

In questo contesto, che riguarda in particolare la nictinastia di alcuni fiori e infiorescenze, sarebbe molto utile riproporre un elenco di specie e i relativi orari di chiusura dei fiori (sulla base dell'Orologio di Linneo fig. 26), così da poter pianificare al meglio l'orario di monitoraggio.



Fig. 26: *Horologium florae* di Linneo (https://www.nytimes.com/2015/01/29/garden/planting-a-clock-that-tracks-hours-by-flowers.html)

In merito al monitoraggio fenologico secondo le modalità proposte dal Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025), che si basa sul conteggio del numero delle FU aperte per giorno di rilievo ai fini del rilevamento di Floral density –e quindi di Flowering phenology, si possono fare alcune osservazioni sulla base dell'esperienza avuta in campo. La precisione del conteggio delle FU dipende molto dall'esperienza e dall'abilità dell'operatore ma anche della struttura della pianta e della vegetazione di cui la pianta fa parte. Di fatti, nei casi di piante molto accestite, alte e ramificate, il conteggio può risultare lungo e complicato in modo particolare nel periodo di massima fioritura e di vigoria del popolamento. Il metodo del conteggio manuale è preferibile a quello della stima o della derivazione di FU/racemi laddove gli individui presentino una elevata variabilità nel numero di ramificazioni e racemi come nel caso della specie considerata.

Per quanto riguarda il monitoraggio fenologico secondo la metodologia dei Giardini Fenologici Italiani, utilizzata come metodo alternativo a quello proposto da Michelot-Antalik et al. 2025, talvolta risulta difficile discriminare velocemente lo stadio appropriato, in quanto spesso si trovano fiori in stadi diversi nell'ambito della stessa pianta e, talvolta, anche alcuni in fruttificazione. Tuttavia, il problema si supera agevolmente attribuendo la fase fenologica più rappresentativa, cosa comunque influenzata da una certa soggettività. In alcuni casi, inoltre, è risultato evidentemente difficile, secondo la scala fenologica adottata, attribuire fasi critiche come la fase 2 – boccioli rigonfi prossimi alla schiusura. Una soluzione possibile per semplificare il metodo potrebbe essere quella di adottare una chiave a fasi fenologiche ridotte. Per la specie in esame *Echium plantagineum* una scala semplificata potrebbe essere ad esempio composta da fasi come:

1. boccioli fiorali presenti ma chiusi
2. alcuni fiori aperti
3. maggior parte dei fiori aperti
4. maggior parte dei fiori sfioriti

5. maggior parte dei semi immaturi
6. maggior parte dei semi maturi – piena disseminazione
7. fine disseminazione

5. Conclusioni

Il lavoro di tesi si è principalmente basato sul rilevamento in campo e la successiva elaborazione delle caratteristiche morfologiche e fenologiche di un popolamento di *Echium plantagineum* all'interno del Parco del Cardeto, nella città di Ancona, Marche centrali.

L'obiettivo è stato quello di raccogliere quindi dati sulla morfologia fiorale e sulla fenologia e, allo stesso tempo,anche quello di testare la praticabilità operativa del Manuale di rilevamento dei floral traits proposto da Michelot-Antalik et al. (2025).

Tutto questo si colloca in un ambito più ampio, che riguarda lo studio delle strategie riproduttive di varie specie spontanee mediterranee, con particolare riguardo a quelle utili agli impollinatori.

A tale scopo sono stati raccolti dati riguardanti floral traits come Floral area, Flower size, Floral height, Flower depth and width, secondo il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025). Sono state adottate varie tecniche di monitoraggio, tra quelle suggerite dal Manuale, come l'utilizzo di strumenti di rilevamento diversi (righello, calibro) e conteggi diretti o derivati da stime. Talvolta i campioni sono stati raccolti anche in periodi diversi, in modo da rilevare eventualmente differenze morfologiche. L'unità di base dello studio dei floral traits (FU o floral unit) è stata il singolo fiore di *Echium plantagineum*.

I principali risultati per il popolamento oggetto di studio sono di seguito riportati.

La Floral area è stata misurata con due metodi: col metodo definito "A" è stato usato un calibro a corsoio, come previsto nel Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025), che ha portato a misurazioni medie di 19,70 mm per la larghezza e di 19,70mm per l'altezza. Il metodo definito "B" ha previsto invece l'uso di un righello e ha portato a misurazioni medie di 23 mm per la larghezza e 23,2 mm per l'altezza. Il confronto tra le due misurazioni ha evidenziato che l'uso del righello comporta misurazioni maggiori o uguali rispetto al calibro a corsoio. Tale differenza è riconducibile allo schiacciamento dei petali particolarmente sottili e leggeri dell*'Echium*, durante la misurazione con il righello.

Per quanto riguarda la Flowers size il Manuale prevede misurazioni su 10 FU, ma per verificare eventuali differenze in periodi diversi, le misurazioni sono state effettuate su 10 fiori raccolti su altrettanti individui all'inizio del periodo di massima fioritura e di altrettanti 10 fiori raccolti alla fine del periodo di massima fioritura dell'*Echium plantagineum* L. I Fiori dopo essere stati sezionati e appiattiti, sono stati scansionati e successivamente misurati con l'utilizzo del software ImageJ. La Flower size media del primo periodo è risultata di 3,73 cm^2, mentre nel secondo periodo di 2,70 cm^2, quindi è risultata maggiore nella fase iniziale della piena fioritura rispetto alla fase finale, con una differenza media di 1,03 cm^2 pari al 27.26%. Il confronto tra le due misurazioni ha evidenziato una differenza nelle dimensioni dei fiori tra i due periodi di misurazione. Si ha una media e valori massimi più elevati con una maggiore variabilità nella fase iniziale rispetto alla fase finale. Inoltre, i valori minimi risultano essere inferiori nella fase finale rispetto alla fase iniziale. I risultati suggeriscono che all'inizio del periodo di massima fioritura la pianta investa maggiori risorse portando alla

formazione di fiori più grandi e vistosi che attraggono maggiormente gli impollinatori e massimizzano il successo riproduttivo. Con l'avanzare della fioritura e andando incontro a periodi con meno risorse disponibili (acqua, nutrienti, energia) le dimensioni dei fiori possono ridursi per un minore investimento di energie da parte della pianta. Ciò evidenzia come i floral trais possano influire sulle caratteristiche funzionali della pianta e sulla disponibilità delle risorse offerte agli insetti impollinatori. Tuttavia, data la limitata numerosità del campione, queste osservazioni devono essere approfondite con ulteriori studi.

Sarebbe utile che il manuale fornisse indicazioni specifiche sulle modalità di campionamento delle piante ramificate caratterizzate da fioriture scalari, al fine di rendere più uniformi e confrontabili le misurazioni. Inoltre, potrebbe essere utile includere indicazioni per la manipolazione di fiori particolarmente delicati, specificando le modalità più appropriate per evitare alterazioni della loro morfologia durante la misurazione.

Per ridurre la variabilità legata alle condizioni ambientali, sarebbe inoltre opportuno considerare la fenologia della specie, documentandosi sul periodo di massima fioritura e programmando i monitoraggi in condizioni ambientali il più possibile omogenee, preferibilmente durante giornate soleggiate e nella fascia oraria compresa tra le 10:00 e le 16:00, orario che viene già suggerito dal Manuale ma solo per la misurazione della Floral area. Inoltre, sarebbe auspicabile proporre la raccolta dei dati sulla nictinastia dei fiori della flora spontanea italiana, indicando gli orari di apertura e chiusura dei fiori, anche e soprattutto per le specie per le quali queste informazioni non sono oggi disponibili.

Per quanto riguarda la Floral height il Manuale prevede misurazioni su 20 FU. L'altezza media è risultata di 86,9 cm e se messa a confronto con l'altezza riportata nella Flora d'Italia (Pignatti 2017-2019) di 20-60 cm risultano essere maggiore. Inoltre, l'altezza media è risultata superiore alla media riportata nel database TRY (Kattge et al., 2020).

Per quanto riguarda le misurazioni di Flower depth and width, il Manuale prevede misurazioni su 10 FU, ma come per la Flowers size, sono state svolte su 10 fiori raccolti all'inizio del periodo di massima fioritura e altrettanti 10 fiori raccolti alla fine del periodo di massima fioritura per verificare eventuali differenze in periodi diversi. I campioni sono stati raccolti e le misurazioni sono state effettuate con l'utilizzo del programma ImageJ. Per quanto riguarda il Flower depth, il valore medio nella fase iniziale è stato di 15,94 mm mentre quello nella fase finale di 14,4 mm, mostrando quindi una riduzione nella fase finale della piena fioritura di 1.53 mm. Per quanto riguarda il Flower width il valore medio nella fase iniziale è stato di 2,73 mm mentre quello nella fase finale di 2,59 mm, mostrando quindi una diminuzione del 5.13%, ovvero 0.14 mm, tra i due periodi di fioritura. Anche se non sono statisticamente significativi, tale andamento se paragonato con i risultati di Flower size negli stessi periodi, potrebbe suggerire una riduzione dell'investimento nella struttura fiorale nel proseguire della fioritura.

Per quello che riguarda lo studio della fenologia del popolamento di *Echium plantagineum*, i conteggi e le misurazioni sono stati condotti all'interno di 5 quadrati mobili da un metro quadro l'uno, poste in modo casuale ogni giorno di rilievo. La frequenza di rilevamento è stata di 7/10 giorni circa.

La fenologia è stata monitorata attraverso la Floral density secondo il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025), ma anche secondo il protocollo "classico" di rilevamento dei Giardini Fenologici Italiani. I due metodi, seppur non alternativi, sono stati applicati allo scopo di confrontare i risultati raccolti.

I risultati ottenuti con lo studio fenologico secondo il Manuale (Michelot-Antalik et al. 2025) ci dicono che a DOY 149 (29/5/2025) si è registrato il picco di Floral density, con 507 FU aperte (21%), ovvero dopo 31 giorni dall'inizio del monitoraggio. Nella messa in pratica del protocollo è risultato più idoneo l'utilizzo del metodo del conteggio manuale delle FU aperte per la presenza di individui che presentavano una variabilità nel numero di ramificazioni rispetto ad un metodo per stima.

I risultati ottenuti con lo studio fenologico "Classico" secondo il protocollo di rilevamento dei Giardini Fenologici Italiani mostrano invece che la piena fioritura ha raggiunto un picco ai DOY 134 e 140 (rispettivamente 31 e 82 individui in piena fioritura, ovvero il 97% del conteggio totale di individui), ovvero dopo 16 giorni dall'inizio della piena fioritura/fioritura stessa. In merito allo studio fenologico "Classico" la difficoltà riscontrata ha riguardato la rapidità nell'identificazione della fase appropriata, a causa della coesistenza di fiori in diverse fasi nello stesso individuo. Tale limite si supera agevolmente attribuendo la fase fenologica più rappresentativa

I due risultati a confronto mostrano quindi che c'è uno sfasamento che va da 9 a 15 giorni tra la disponibilità effettiva di risorse floreali e la fenologia degli individui.

Infine, per quanto riguarda la fruttificazione, il popolamento oggetto di studio ha raggiunto il massimo della maturazione dei semi attorno a DOY 163 e raggiunga il 92% dei frutti maturi a DOY 177.

In conclusione, il presente lavoro ha permesso di raccogliere e analizzare dati relativi ad alcuni Floral traits e alla fenologia riproduttiva di *Echium plantagineum* L., specie spontanea di interesse per gli impollinatori, prendendo in esame un popolamento presente nel territorio di Ancona durante la primavera-estate del 2025. I floral traits considerati sono stati rilevati applicando il protocollo proposto da Michelot-Antalik et al. (2025), mentre lo studio della fenologia riproduttiva è stato condotto integrando la metodologia proposta dallo stesso Manuale con quella adottata dai Giardini Fenologici Italiani. L'esperienza condotta in campo ha evidenziato l'utilità del Manuale per lo studio delle caratteristiche fiorali, ma ha anche permesso di individuare alcune criticità operative, in particolare nella scelta degli strumenti e nelle modalità di misurazione o evidenziando la necessità di considerare la fenologia della specie prima di programmare e intraprendere il rilevamento dei suoi floral traits. Nel complesso, i risultati ottenuti rappresentano un contributo alla valutazione della praticabilità del protocollo e della ripetibilità delle procedure di rilevamento, consentendo al contempo di formulare possibili proposte per il loro miglioramento.

6. Bibliografia e sitografia

- Boni, C. B., Coppola, F., Sagona, S., Quaranta, M., Flaminio, S., Biella, P., ... & Felicioli, A. (2025). Pollen Resource Repartition Between Managed Honey Bees (Apis mellifera L. 1758) and Unmanaged Bees in Three Italian National Parks. *Conservation*, *5*(1), 5.
- Borin M. (2012). Studi fenologici-Un'applicazione alle piante coltivate. In Taffetani F. (2012) (a cura di). Herbaria: il grande libro degli erbari italiani: per la ricerca tassonomica, la conoscenza ambientale e la conservazione del patrimonio naturale. Nardini Editore
- Bragazza L (2009) Conservation priority of Italian alpine habitats: a floristic approach based on potential distribution of vascular plant species. Biodiversity and Conservation 18: 2823–2835.
- Catford, J. A., Morris, W. K., Vesk, P. A., Gippel, C. J. & Downes, B. J. (2014) Species and environmental characteristics point to flow regulation and drought as drivers of riparian plant invasion. Diversity and Distributions, 20, 1084–1096. http://dx.doi.org/10.1111/ddi.12225
- Chiesura Lorenzoni F., Giorato M., Conti T., Romanato G., Zanini S. T., Tietto C. (2000). Fenologia di specie spontanee in funzione di una possibile previsione del comportamento delle colture. Messina, 28-30 settembre 2000, Atti 95° Congresso della Società Botanica Italiana: p. 70.
- Dwyer, J. M., R. J. Hobbs, and M. M. Mayfield. 2014. Specific leaf area responses to environmental gradients through space and time. Ecology 95:399-410
- E-Vojtkó A, de Bello F, Durka W, Kühn I, Götzenberger L. The neglected importance of floral traits in trait-based plant community assembly. *J Veg Sci*. 2020; 31: 529–539. **https://doi.org/10.1111/jvs.12877**
- Fitter, A. H. and H. J. Peat 1994. The Ecological Flora Database. Journal of Ecology 82:415-425.
- Gachet S, Errol Véla, Thierry Tatoni, 2005, BASECO: a floristic and ecological database of Mediterranean French flora. Biodiversity and Conservation 14(4):1023-1034
- Garnier, E., S. Lavorel, P. Ansquer, H. Castro, P. Cruz, J. Dolezal, O. Eriksson, C. Fortunel, H. Freitas, C. Golodets, K. Grigulis, C. Jouany, E. Kazakou, J. Kigel, M. Kleyer, V. Lehsten, J. Leps, T. Meier, R. Pakeman, M. Papadimitriou, V. P. Papanastasis, H. Quested, F. Quetier, M. Robson, C. Roumet, G. Rusch, C. Skarpe, M. Sternberg, J.-P. Theau, A. Thebault, D. Vile, and M. P. Zarovali. 2007. Assessing the effects of land-use change on plant traits, communities and ecosystem functioning in grasslands: A standardized methodology and lessons from an application to 11 European sites. Annals of Botany 99:967-985.
- Haggerty Brian P. e Mazer Susan J (2008). The Phenology Handbook, A guide to phenological monitoring for students, teachers, families, and nature enthusiasts. University of California, Santa Barbara

- HILL, M.O., PRESTON, C.D. & ROY, D.B. (2004) PLANTATT - attributes of British and Irish Plants: status, size, life history, geography and habitats. Huntingdon: Centre for Ecology and Hydrology.
- IPBES. (2016). The Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production.
- IPBES. (2019). Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Brondízio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. (eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany, ISBN: 978-3-947851-20-1
- ISPRA. (2020). Il declino delle api e degli impollinatori. Le risposte alle domande più frequenti. Quaderni Natura e Biodiversità n.12/2020. ISBN 978-88-448-1000-9, 43 p.
- IUCN. (2015). International Union for Conservation of Nature- European Red List of Bees. Disponibile al sito http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/redlist/downloads/European_be es.pdf
- Kattge, J, Boenisch, G, Diaz, S, et al. TRY plant trait database - enhanced coverage and open access. Glob Change Biol. 2020; 26: 119-188. https://doi.org/10.1111/gcb.14904
- Kleyer, M., R. M. Bekker, I. C. Knevel, J. P. Bakker, K. Thompson, M. Sonnenschein, P. Poschlod, J. M. van Groenendael, L. Klimes, J. Klimesova, S. Klotz, G. M. Rusch, Hermy, M. , D. Adriaens, G. Boedeltje, B. Bossuyt, A. Dannemann, P. Endels, L. Götzenberger, J. G. Hodgson, A.-K. Jackel, I. Kühn, D. Kunzmann, W. A. Ozinga, C. Römermann, M. Stadler, J. Schlegelmilch, H. J. Steendam, O. Tackenberg, B. Wilmann, J. H. C. Cornelissen, O. Eriksson, E. Garnier, and B. Peco. 2008. The LEDA Traitbase: a database of life-history traits of the Northwest European flora. Journal of Ecology 96:1266-1274.
- Klotz, S., Kühn, I. and Durka, W. (2002) BIOLFLOR – Eine Datenbank zu biologisch-ökologischen Merkmalen der Flora von Deutschland. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Kluser, S., Peduzzi, P. (2007). “Global Pollinator Decline: A Literature Review”, UNEP/GRID-Europe. © UNEP 2007
- Mandrioli P. (1993). Una rete di giardini fenologici in Italia: finalità e criteri. In Malossini, A. (Ed.). Procedure per il rilevamento fenologico nei Giardini Italiani. Gruppo di Lavoro Nazionale per i Giardini fenologici, Assessorato Agricoltura, R.E.R. 65 pp.
- Michelot-Antalik, A., Langlois, A., de Bello, F., Desaegher, J., Genty, L., Goulnik, J., Grosjean, J., Jacquemart, A.-L., Kergunteuil, A., Junker, R. R., Jeannerod, L., Odoux, J.-F., Proffit, M., Schatz, B., Vanderplanck, M., E-Vojtkó, A., & Baude, M. (2025). Handbook of protocols for standardized measurements of floral traits for pollinators in temperate communities. *Methods in Ecology and Evolution*, 16, 988–1001. https://doi.org/10.1111/2041-210X.70031

- O'Reilly‐Nugent, A, Wandrag, EM, Catford, JA, Gruber, B, Driscoll, D, Duncan, RP. Measuring competitive impact: Joint‐species modelling of invaded plant communities. J Ecol. 2019; 00: 1– 11. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13280
- Peco B., de Pablos I., Traba J. , & Levassor C. (2005) The effect of grazing abandonment on species composition and functional traits: the case of dehesa Basic and Applied Ecology, 6(2): 175-183
- Pignatti, S. (2017-2019) "Flora d'Italia"
- Potts, S. G., Biesmeijer J. C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. Trends in Ecology & Evolution. Vol. 25. Number 6, pp. 345-354.
- Puppi Branzi G. (1989). Rilevamenti fenologici su piante della flora spontanea. In Schirone (a cura di) (1989). Metodi di rilievo e di rappresentazione degli stadi fenologici. IPRA Quaderni metodologici n.12, pp.9-36
- Puppi IN Genghini (2008) Monitoraggio della biodiversità selvatica negli agro-ecosistemi intesivi e semi intesivi. Metodologie e casi studio per la verifica della qualità degli ambienti agrari e l'efficacia delle politiche ambientali
- Puppi, G. (2008). Monitoraggio e gestione della diversità vegetale negli ambienti agrari intensivi e semi-intensivi. In Genghini M. (a cura di). Monitoraggio della biodiversità selvatica negli agro-ecosistemi intensivi e semi-intensivi. Metodologie e casi di studio per la verifica della qualità degli ambienti agrari e l'efficacia delle politiche ambientali e agricole. Ist. Naz. Fauna Selv. (ora I.S.P.R.A)., Min. Pol. Agr. Alim. e For., St.e.r.n.a. Ed. Grafiche 3B, Toscanella di Dozza (BO), pp. 256.
- Quaranta, M., Cornalba, M., Biella, P., Comba, M., Battistoni, A., Rondinini, C., Teofili, C. (compilatori). (2018). Lista Rossa IUCN delle api italiane minacciate.
- Ricciardelli D'albore G.; Intoppa F. (2000). Fiori e api in Europa. Edagricole, Bologna.
- Ricciardelli D'albore G.; Persano Oddo L. (1978). Flora apistica italiana. Istituto sperimentale per la Zoologia Agraria.
- Rivas-Martinez S., Penas A., Diaz E.T. (2001). Biogeographic Map of Europe.
- Ruml M., Vulić T. (2005). Importance of phenological observations and predictions in agriculture. Journal of Agricultural Sciences, Belgrade, 50(2), 217-225
- Schweingruber, F.H., Landolt, W.: The Xylem Database. Swiss Federal Research Institute WSL Updated (2005)
- Schirone B. (1989). Metodi di rilievo e di rappresentazione degli stadi fenologici. IPRA-Quaderni metodologici n.12
- Tavsanoglu C. & Pausas J.G. 2018. A functional trait database for Mediterranean Basin plants. Scientific Data 5:180135. http://dx.doi.org/10.1038/sdata.2018.135
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, *116*(5), 882-892.
- Zhao, Y. H., Ren, Z. X., Lázaro, A., Wang, H., Bernhardt, P., Li, H. D., & Li, D. Z. (2016). Floral traits influence pollen vectors' choices in higher elevation communities in the Himalaya-Hengduan Mountains. *BMC ecology*, *16*(1), 26.

Sitografia

- Portale della Flora d'Italia (https://dryades.units.it/floritaly/index.php?procedure=taxon_page&tipo=all&id=4297)
- Acta Plantarum, 2007 in avanti - "*Echium plantagineum* L. - Scheda IPFI, Acta Plantarum ". Disponibile on line (data di consultazione: 14/10/2025): https://www.actaplantarum.org/flora/flora_info.php?id=504297
- CREA, & Università di Bologna. (s.d.). *Beewatching*. https://www.beewatching.it/
- Regione Marche. *SIRMIP online – Sistema Informativo della Rete Meteo Idro Pluviometrica*. https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Console-Servizi-Protezione-Civile/SIRMIP-online
- Progetto Dryades. (s.d.). *Il Cercapiante – Archivio immagini di piante vascolari*. Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze della Vita. https://dryades.units.it/cercapiante/index.phpSeeds&Bees: il mix di semi e fiori per difendere le api del Conero - Fondazione Cariverona