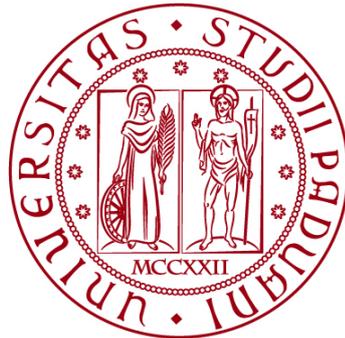


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE DELLA
NATURA



TESI DI LAUREA

**Studio degli apoidei selvatici in bee-hotel nell'area
Vestina della regione Abruzzo**

Study on wild bees in a bee-hotel in the Vestina area, Abruzzo

Relatore:

Prof. Lucio Bonato

Dipartimento di Biologia

Correlatore:

Dott. Osvaldo Locasciulli

Riserva Regionale Lago Di Penne

Laureando:

Alessandro Di Marco

Matricola 1243137

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Sommario

1. Introduzione	1
2. Contesto geografico-ambientale.....	2
3. Apoidei: biologia, ecologia e conservazione.....	4
1. Cosa sono gli apoidei?.....	4
2. Biologia e ecologia	6
Abitudini trofiche	6
Ciclo vitale e socialità	7
Organizzazione e costruzione dei nidi	11
3. Interazioni tra api e altri organismi.....	16
Piante: coevoluzione e importanza agronomica.....	16
Predazione	17
Parassitismo.....	18
Cleptoparassitismo e parassitismo sociale	20
Cleptoparassitismo in altri artropodi	21
4. La diversità degli Apoidei	22
Andrenidae	22
Apidae	23
Colletidae	24
Halictidae	25
Megachilidae	26
Melittidae	27
5. Conservazione e minacce	28
Minacce	30
6. Metodi di monitoraggio e campionamento per gli Apoidei	34
7. I bee hotel	39
4. Materiali e metodi	42
5. Risultati	44
Dati ottenuti e analisi.....	44
Elenco specifico	52
Osservazioni sulle specie nidificanti	55
Osservazioni su parassiti e insetti ospiti.....	61
6. Discussione.....	69
7. Conclusioni.....	73

8. Bibliografia.....	74
1. Sitografia	88

1. Introduzione

Gli insetti impollinatori hanno un ruolo essenziale nel mantenimento degli ecosistemi, basti pensare che l'87% delle circa 350000 specie di angiosperme dipende proprio dagli animali per la propria riproduzione (Ollerton et al., 2011). I gruppi di animali che svolgono impollinazione sono in gran parte insetti e tra questi gli apoidei sono di certo tra i più efficaci. Questi imenotteri hanno condiviso la loro storia evolutiva con le piante angiosperme tanto da costituire uno dei casi più famosi di coevoluzione, instaurando con esse una vera e propria interazione mutualistica che ha influenzato morfologia, fisiologia e attività da ambo le parti. Come è noto per tutte le componenti biologiche, anche la biodiversità degli apoidei è in serio pericolo per diversi fattori legati in modo diretto o indiretto con l'azione antropica, come ad esempio il riscaldamento globale e la perdita di habitat. La tutela di questi insetti, oltre a quella di tutti gli altri impollinatori, è cruciale per gli ecosistemi e per gli agroecosistemi, considerando anche che gran parte della produzione agricola fa affidamento sull'impollinazione entomofila. Uno dei problemi principali legati alla tutela degli impollinatori è la mancanza di dati approfonditi sull'ecologia e sullo stato di conservazione delle specie selvatiche, per cui, nonostante lo sforzo sia enorme, acquisire più conoscenze possibili su questo gruppo di insetti così diversificato permetterà anche di adottare misure di conservazione più accurate ed efficaci.

È stato svolto uno studio della comunità di apoidei nidificanti in bee hotel nell'area Vestina della regione Abruzzo. Lo studio, oltre agli apoidei, ha preso in considerazione le biocenosi ad essi associate. Da marzo ad ottobre 2022 sono stati ispezionati i nidi delle specie che hanno nidificato nei tubi di un bee hotel nei pressi di Montebello di Bertona e sono state osservate le specie presenti all'interno dei nidi, compresi eventuali ospiti e parassiti. Sono stati misurati alcuni parametri, come diametro del tubo, numero di celle vive e morte, in modo da stimare i tassi di mortalità e di parassitismo. Il tirocinio svolto ha come scopo principale l'acquisizione dei dati relativi alle specie che frequentano il bee hotel, al fine di fornire informazioni utili per la conoscenza della biodiversità del territorio vestino, finora poco studiata per molti gruppi faunistici invertebrati. Altro scopo del lavoro è l'apprendimento e la conoscenza, attraverso l'applicazione pratica, di tecniche specifiche di monitoraggio e campionamento degli apoidei, in questo caso delle nest trap (Staab et al., 2018; Tschardt et al., 1998).

2. Contesto geografico-ambientale

Il territorio dove è stato svolto lo studio è situato nei pressi di Montebello di Bertona, nell'area Vestina, localizzata nell'entroterra della provincia di Pescara in Abruzzo. È stato preso in esame un bee hotel costruito nel Bee-o-Diversity Park, parco dedicato alla divulgazione e all'educazione ambientale soprattutto sulla tematica dell'apicoltura e degli impollinatori. Il parco è stato costruito in località Fonte Marianna, ad 886 m.s.l.m., poco prima del Monte Bertona (1220 m), a breve distanza dagli ultimi rilievi del gruppo meridionale della catena montuosa Gran Sasso (fig. 2.1). Il sito è molto vicino ai confini del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga e della Riserva Regionale "Lago di Penne", le due più importanti realtà a livello di conservazione e tutela dell'ambiente nell'area Vestina. Nelle immediate vicinanze del sito il paesaggio è composto da un mosaico di habitat con terreni agricoli, prati adibiti a pascoli (fig. 2.2) e boschi meso-termofili, sia naturali misti con diverse specie arboree tipiche della fascia submontana (*Acer*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Corylus* etc.), sia artificiali, originati dai rimboschimenti effettuati all'inizio del secolo scorso con il pino nero (*Pinus nigra*).

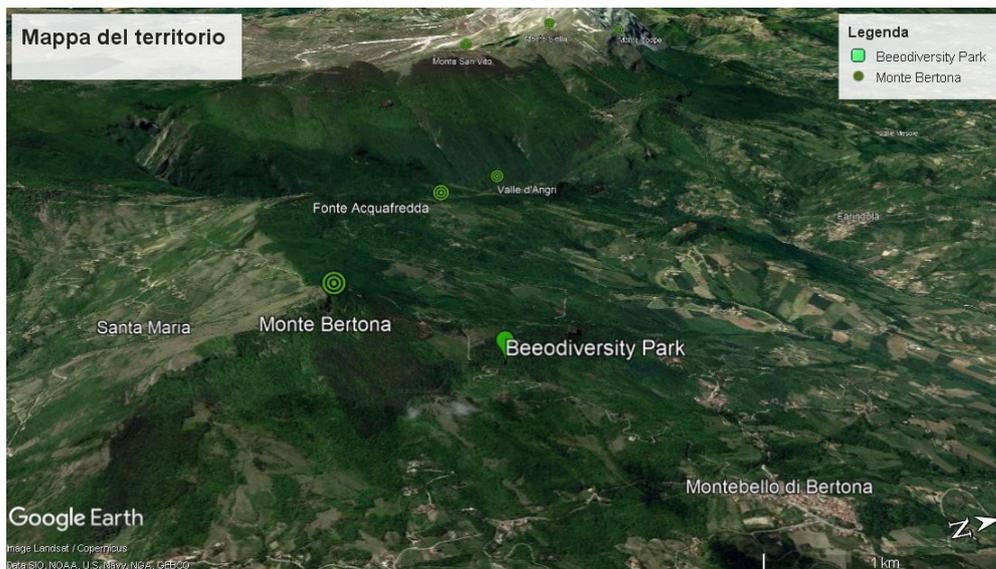


Figura 2.1: Visuale del territorio e localizzazione del Beeodiversity Park, dove è stato condotto lo studio sul bee hotel con alcuni punti di riferimento della zona, come Fonte Acquafrredda e Valle d'Angri.



Figura 2.2: Alcuni degli ambienti immediatamente vicini al Beeodiversity Park: a sinistra, un pascolo sottostante il bosco che circonda il monte Bertona (sullo sfondo); a destra, variazione da prato a bosco misto (28/09/2022).

Il bee hotel in questione è composto da moduli esagonali dove sono stati posizionati diversi substrati dove gli apoidei possono nidificare, come mattoni, tronchi forati e canne, ed un modulo provvisto di pigne e foglie secche per dare riparo a varie specie di insetti. Sono inoltre presenti due modelli di nest trap, uno con listelli di legno scanalati e l'altro con tavolette in legno pressato. Sulla destra (fig. 2.3) sono stati installati dei pannelli didattico-divulgativi che illustrano le specie principali che possono frequentare il bee hotel.



Figura 2.3: Il bee hotel nel Beodiversity Park di Montebello di Bertona.

3. Apoidei: biologia, ecologia e conservazione

Questa sezione dell'elaborato ha lo scopo di fornire un quadro generale sulla biologia, l'ecologia e la diversità degli apoidei, con la descrizione delle caratteristiche delle famiglie presenti in Europa e in Italia. Sono presenti inoltre dei paragrafi dedicati alle relazioni biotiche tra apoidei e altri organismi, le problematiche legate alle minacce e alla conservazione delle api, i metodi di monitoraggio e campionamento per gli apoidei e un paragrafo sui bee hotel.

1. Cosa sono gli apoidei?

Negli ultimi anni l'attenzione verso la tutela della biodiversità e degli impollinatori è aumentata e si parla spesso di azioni per salvaguardare le api. Quando queste vengono chiamate in causa, il senso comune fa molto spesso riferimento all'ape da miele (*Apis mellifera*), conosciuta e allevata da millenni. Tuttavia, ciò che non viene considerato è che l'ape da miele è solo una delle oltre 20000 specie di api presenti in tutto il mondo. A questo grande gruppo di specie, molto ricco in termini di diversità biologica, ci si riferisce con la locuzione di apoidei o api selvatiche che possono essere solitarie, sociali e anche parassite, ed hanno un ruolo cardine nel mantenimento degli ecosistemi in quanto impollinatori. Anche se da un punto di vista meramente sistematico può essere considerato improprio, in questo elaborato per semplificare verranno utilizzati il termine api selvatiche, con l'accezione esposta sopra, ed il termine apoidei per indicare le specie appartenenti agli Anthophila: per capire a cosa è riferito quest'ultimo concetto, è opportuno illustrare brevemente la sistematica degli imenotteri.

Gli apoidei sono compresi nell'ordine Hymenoptera, uno dei più grandi in termini di diversità biologica, con ben 150000 specie descritte e oltre 300000 stimate (Michez et al., 2019). È un gruppo monofiletico, con numerose autapomorfie a sostegno (Sharkey, 2007) ed al suo interno vengono tradizionalmente riconosciuti due sottordini, gli Apocrita, gruppo monofiletico di imenotteri parassitoidi e predatori provvisti di un'accentuata strozzatura tra mesosoma e metasoma, e i Symphyta, gruppo parafiletico (Song et al., 2016) i cui rappresentanti sono fitofagi e non presentano il tipico restringimento. Gli Apocrita vengono suddivisi in Aculeata e Parasitica; gli Aculeata sono un gruppo monofiletico, in cui il principale carattere distintivo e comune è la presenza del pungiglione nelle femmine, ovvero un ovopositore modificato per la difesa dai predatori o per l'attacco delle prede (Kumpanenko et al., 2019), mentre i Parasitica comprendono un vasto insieme eterogeneo di imenotteri parassitoidi, la cui natura parafiletica è accertata ma non è stata tuttavia studiata a fondo perché molto complessa (Michez et al., 2019). All'interno degli Aculeata sono collocati gli Apoidea, una superfamiglia di 30000 specie che comprende le api selvatiche e alcune famiglie di vespe, tra cui Sphecidae e Crabronidae (Sann et al., 2018). Negli ultimi decenni la sistematica degli Apoidea è andata incontro ad una revisione radicale, per cui alcune famiglie sono state scomposte in ulteriori gruppi (Sann et al., 2021). Il gruppo più stabile della superfamiglia è quello degli Anthophila, specie adattate alla pollinivoria che racchiude le famiglie di api selvatiche esistenti (vedi Par.2 "Diversità degli

Apoidei”) (Danforth et al., 2019; Sann et al., 2018). Tradizionalmente le caratteristiche diagnostiche degli Apoidea sono il lobo del pronoto poco accentuato, separato dalle tegule, e la porzione centrale del propodeo (il primo segmento addominale fuso al torace) ben sviluppato (Michez et al., 2019). Michener (2007) riporta altri caratteri morfologici tipici degli apoidei aventi un riscontro biologico-ecologico, come ad esempio il basitarso allargato sulle zampe posteriori, la glossa più lunga rispetto alle vespe e la presenza di peli piumosi o ramificati su tutta la superficie del corpo: queste caratteristiche, assieme alla presenza di strutture per la raccolta di polline, nettare e olii floreali, sono distintive degli apoidei.

Gli studi attualmente esistenti concordano sul fatto che il gruppo degli Anthophila si è evoluto a partire da vespe predatrici sfeciformi (Michez et al., 2019) ma per molto tempo non è stato chiaro quale fosse la famiglia che abbia dato origine agli apoidei antofili. La prima ipotesi, non priva di presupposizioni errate (si veda Danforth et al., 2019), proposta da Malyshev (1968), indicava i Pemphredonidae, ovvero vespe predatrici di afidi, come progenitori degli apoidei sulla base di abitudini trofiche e sulla costruzione dei nidi. Nonostante altri studi l'avessero ritenuta non valida, pur trovando una relazione tra apoidei e crabronidi ((Michener, 2007; Radchenko and Pesenko, 1994), gli studi più recenti (Sann et al., 2021, 2018) confermano l'origine degli apoidei all'interno dei Pemphredonidae. Oltre a studi di carattere molecolare, sono presenti altre evidenze che supportano l'ipotesi di Malyshev, come *Melittosphex burmense*, specie fossile risalente a 100 milioni di anni fa con tratti morfologici intermedi tra api e vespe (Poinar e Danforth, 2006), molto simili peraltro a quelli dei Pemphredonidae rinvenuti nello stesso sito (Danforth et al., 2019). Questo ed altri fossili, come *Discoscapa apicula*, rappresentano i più antichi reperti delle prime linee evolutive di apoidei derivate da vespe simili ai Crabronidi (Poinar, 2020). Sono note anche alcune tracce fossili lasciate dagli apoidei: è il caso del ritrovamento di *Cellicalichnus krausei*, un icnofossile proveniente dal Cretaceo Superiore della Patagonia, che altro non è che un nido di Halictidae, famiglia di apoidei attualmente esistente (Danforth et al., 2019) riconoscibile per la struttura a galleria con le celle sessili tipica del gruppo (Genise et al., 2020).

2. Biologia e ecologia

Abitudini trofiche

Fatta eccezione per rari casi di saprofagia e predazione, riguardanti alcune specie neotropicali (Mateus e Noll, 2004; Camargo e Roubik, 1991; Roubik, 1982), gli apoidei si nutrono di nettare e polline. Questo trofismo, noto anche per altri gruppi di imenotteri (Danforth et al., 2019), ha prodotto negli apoidei una serie di adattamenti specifici per raccogliere e trasportare queste risorse vegetali. Le api posseggono un apparato boccale definito lambente-succhiatore (Chinery, 2010) per potersi nutrire di nettare. L'apparato lambente-succhiatore è una derivazione dell'apparato masticatore primitivo degli insetti. Solo gli Euglossini (Apidae), le cosiddette api delle orchidee, posseggono un apparato boccale di tipo succhiatore, che è di fatto un vero e proprio tubo per aspirare il nettare dei fiori (Danforth et al., 2019). Michener (2007) fa notare che la morfologia dell'apparato boccale veniva considerata un aspetto focale nella sistematica già a partire dai primi sistemi di classificazione proposti da Kirby (1802) e Latreille (1802). La distinzione, di natura oramai solo funzionale, viene fatta tra api dalla lingua lunga e dalla lingua corta. Generalmente, le api dalla lingua lunga hanno una glossa allungata e la galea estesa oltre lo stipite. Il palpo mascellare ed i primi due segmenti dei palpi labiali sono molto più lunghi degli ultimi due (Michez et al., 2019): i palpi labiali e la galea formano quindi una sorta di canale dove scorre la glossa (Michener, 2007). Le api dalla lingua corta possiedono invece una glossa di dimensioni contenute, la galea che non supera in lunghezza i palpi mascellari ed i segmenti dei palpi labiali che sono più o meno tutti uguali (Michez et al., 2019). Vengono inclusi tra le api a lingua lunga gli Apidae e i Megachilidae, mentre tra le api a lingua corta vi sono Colletidae, Melittidae, Stenotritidae, Halictidae e Andrenidae (Danforth, 2019).

Il polline è una risorsa fondamentale per gli apoidei in quanto fonte proteica per le femmine riproduttive e per lo sviluppo delle larve (Danforth et al., 2019): per questo motivo le api hanno evoluto diversi caratteri morfologici per poterlo raccogliere, la più importante tra questi è la scopa, ovvero un insieme di setole che permettono di trasportare le masse di polline al nido (Michez et al., 2019). Le scope possono essere posizionate sul lato ventrale del metasoma, come nei Megachilidae e in alcuni Halictidae, oppure, nella maggioranza delle specie, sulle zampe posteriori, a livello di trocantere, femore, tibia e basitarso. Alcune specie non sono provviste di vere e proprie scope, per cui raccolgono il polline con le mandibole, come accade per esempio nel genere *Xylocopa*. Nelle specie cleptoparassite le scope non sono presenti perché non necessitano di raccogliere polline (Danforth et al., 2019). Una derivazione della scopa è la corbicula, un vero e proprio cestello sulla tibia formato da frange lunghe che permettono di caricare grosse quantità di polline. La corbicula è un carattere fortemente diagnostico perché appare unicamente nelle api corbicolate (Apidae) (Michener, 2007; Michez et al., 2019; Smith-Pardo, 2011). Le setole possono anche essere ramificate o piumose e ciò ha delle implicazioni sul trasporto del polline e sulle relazioni ape-pianta, come osservato in alcune specie di *Perdita* e *Dasygoda* (Portman e Tepedino, 2017; Michener, 2007).

Durante il foraggiamento le api selvatiche possono visitare una moltitudine di specie vegetali ma anche avere preferenze verso determinate famiglie o generi, al punto che talvolta si instaurano delle relazioni specie-specifiche tra ape e pianta. Una prima suddivisione (Robertson, 1925), tuttora in uso, che tiene conto di queste preferenze specifiche raggruppa le api in specie monolettiche, oligolettiche e poliletliche. Gli studi più recenti (Cane, 2021; Dötterl e Vereecken, 2010) hanno implementato questo sistema di classificazione, aggiungendo nuove categorie più accurate per spiegare al meglio alcuni comportamenti. Le specie monolettiche si nutrono soltanto su una sola specie ben precisa di pianta (Danforth et al., 2019; Robertson, 1925). Al fine di evitare problemi di definizione a causa della tassonomia delle piante, secondo alcuni autori sarebbe più opportuno chiamare monolettici gli apoidei specializzati su un singolo genere di angiosperme (Cane, 2021). Le specie oligolettiche si nutrono solo su un gruppo di piante, spesso ristretto a tribù o famiglia (Dötterl e Vereecken, 2010), mentre le specie poliletliche sono generaliste e visitano un'ampia varietà di famiglie di piante. Per quanto possano essere utili nella divulgazione, è importante sottolineare che il confine tra i diversi termini individuati è labile perché esiste una moltitudine di casi intermedi o particolari, per esempio *Colletes hederæ* (Dötterl e Vereecken, 2010), in cui è difficile stabilire l'appartenenza di un'ape all'uno o all'altro gruppo. È più appropriato parlare dunque di un continuum tra oligolettica e poliletta. L'argomento è stato analizzato in Danforth et al. (2019) e Dötterl e Vereecken (2010), ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti.

Ciclo vitale e socialità

Le api sono insetti olometaboli, dunque in almeno uno stadio vitale subiscono una metamorfosi. Le fasi alle quali l'organismo va incontro sono larva, pupa e adulto (Chinery, 2010). Il ciclo vitale inizia da un uovo dalla forma allungata e leggermente curva. La maggioranza delle api solitarie depone un singolo uovo per cella, mentre le api cleptoparassite possono produrre e deporre molteplici uova di piccole dimensioni per riuscire ad occupare più rapidamente il nido degli ospiti (Danforth et al., 2019). Durante la costruzione del nido, le femmine raccolgono polline e nettare per fornire nutrimento alla larva quando questa uscirà dall'uovo. In molte specie le provviste di polline sono più abbondanti nelle celle destinate alle femmine, inoltre la disposizione delle uova spesso viene effettuata in base al sesso della progenie. Nel genere *Osmia* (Splitt et al., 2022) ad esempio le uova che origineranno le femmine vengono deposte per prime e più in profondità nel nido, mentre le uova che origineranno i maschi sono deposte nelle celle più vicine all'uscita, così da permettere agli individui maschi di uscire in anticipo rispetto alle femmine (Michez et al., 2019). Il sesso della progenie, oltre ad essere influenzato da fattori abiotici come il diametro del nido (Seidelmann et al., 2016), è determinato in gran parte dall'aplodiploidia, fenomeno coinvolto nello sviluppo dell'eusocialità (Gardner e Ross, 2013), per cui le uova fecondate diploidi daranno origine ad esemplari femmine, mentre uova non fecondate, con corredo genetico aploide, daranno origine a esemplari maschi. Le larve di maschi diploidi, che da adulte avranno vita breve, un basso potenziale riproduttivo e l'incapacità di produrre una progenie fertile, nelle specie eusociali, soprattutto nel genere *Apis*, vengono invece

soppresse (Michener, 2007). A proposito della determinazione del sesso, nonostante gran parte degli apoidei abbia un dimorfismo sessuale evidente (tab. 2.1), talvolta possono verificarsi casi inusuali dove l'adulto ha caratteristiche intermedie tra i due sessi. Questo fenomeno è chiamato ginandromorfismo ed è definito come un'anomalia dello sviluppo dove gli individui sono chimere con tessuti e strutture sia maschili che femminili (Aamidor et al., 2018). Questo accade quando la differenziazione sessuale non avviene ad un livello sistemico e porta a una distribuzione dei tessuti simmetrica oppure a mosaico. Con la sola eccezione degli Stenotritidae, casi di ginandromorfismo sono noti in tutte le famiglie di Apoidei, in particolare tra i Megachilidae, ma anche in altri animali, quali uccelli, chelicerati e crostacei decapodi (Sommaggio et al., 2021). Le ipotesi che spiegano il fenomeno sono la polispermia, l'eliminazione cromosomica e la fecondazione embrionica (Michez et al., 2009) ma non è esclusa una possibile origine epigenetica del fenomeno (Sommaggio et al., 2021).

Carattere	Femmine	Maschi
Segmenti antennali	12	13
Tergiti visibili	6	7
Genitali	Presenza di pungiglione	Assenza di pungiglione
Strutture per raccolta polline	Presenti su tibie, sterniti (assenti in specie cleptoparassite)	Assenti

Tabella 3.1: Dimorfismo sessuale negli apoidei: caratteri principali (modificato da Michener, 2007; Michez et al., 2019) Da notare che la presenza di pungiglione non è un carattere valido per i Meliponini (Apidae) in quanto le femmine ne sono prive.

Lo stadio larvale è una fase importante nel ciclo vitale degli apoidei, infatti molte specie trascorrono buona parte della propria esistenza sotto questa forma. Le larve sono apode e presentano una capsula cefalica con un paio di mandibole, mascelle e un labium posteriore (Danforth et al., 2019). Il tegumento della larva è liscio ma in talune specie può presentare tubercoli, peluria o delle spicole, mentre gli spiracoli, usati per la respirazione, possono essere disposti in serie. Nelle specie che non filano il bozzolo, il labium e le mascelle sono in parte fuse (Michener, 2007). Nella maggioranza dei casi lo stadio larvale è articolato in cinque fasi scandite dalle mute (Michez et al., 2019): la prima muta avviene ancora all'interno dell'uovo, mentre la seconda, in cui si perdono le strutture residue dell'uovo (Torchio e Burdick, 1988), sancisce l'inizio della nutrizione della larva che consuma quindi la provvista di polline all'interno della propria cella. Un aspetto interessante è che le parti dell'intestino non sono del tutto collegate tra loro, essendo presumibilmente un retaggio evolutivo degli Aculeata ancestrali con habitus parassitoide (Michener, 2007), pertanto la larva non riesce ad espellere le proprie deiezioni. Durante la terza e la quarta muta la larva continua a nutrirsi delle provviste disponibili ma soltanto alla quinta muta inizia a defecare. In questo ultimo stadio larvale, detto di prepupa, possono verificarsi due differenti condizioni: in alcune specie l'organismo sverna per completare il proprio sviluppo dopo la stagione fredda, in altre invece la larva costruisce un bozzolo dove continuerà la propria metamorfosi (Danforth et al., 2019). I bozzoli sono composti da fibre sericee e possono avere, a seconda della generazione, uno o due strati di materiale che garantiscono protezione alla larva

mentre diventa pupa (Michener, 2007). La fase pupale è la più delicata ed ha una durata variabile a seconda della biologia delle specie: alcune, giunte a questo stadio, vanno in diapausa per svernare, mentre altre completano lo sviluppo e svernano come adulti ancora all'interno del nido (Michez et al., 2019). Quest'ultimo caso riguarda spesso i *cavity renters*, specie che nidificano in cavità preesistenti (vedi par. 4, "Organizzazione e costruzione dei nidi"), come ad esempio il genere *Osmia*. La pupa degli apoidei è exarata, per cui le appendici non sono fissate al corpo (Chinery, 2010). Una volta terminata anche la fase di pupa, all'adulto non resta che uscire dal proprio nido per nutrirsi, riprodursi e costruire un nido in un nuovo sito oppure, come accade nelle specie filopatriche, tornare a nidificare nel luogo in cui è nato. Il voltinismo negli apoidei può avere varie modalità: sono frequenti le specie univoltine, con vari adattamenti per affrontare l'inverno, ma non mancano casi di specie parzialmente bivoltine, con diapausa in fase di prepupa, e specie del tutto bivoltine (Danforth et al., 2019).

Un adattamento etologico connesso in modo diretto al ciclo vitale è la socialità: la larva infatti può essere accudita e nutrita nelle specie sociali, mentre nelle specie non sociali si nutre in autonomia delle provviste raccolte in precedenza dalla femmina genitrice (Michener, 2007). Molto spesso la socialità delle api viene data per scontata, ma in realtà questo comportamento, presente anche in altri imenotteri, è più un'eccezione che un'abitudine. Si stima infatti che solo il 9,4% delle specie conosciute sia eusociale, mentre il 77,4% è solitario (fig. 2.3, Danforth et al., 2019).

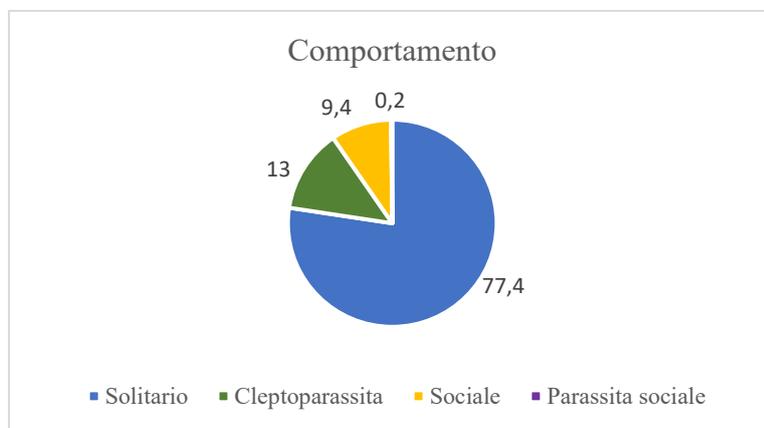


Figura 3.1: Percentuale dei comportamenti sociali nelle specie conosciute di apoidei (da Danforth et al., 2019).

La socialità è un comportamento complesso ed eterogeneo che si è evoluto più volte nel corso del tempo (Roubik, 2012; Wilson e Holway, 2010). Lo studio delle api eusociali, in particolare *Apis mellifera*, vero e proprio organismo modello per lo studio dell'organizzazione sociale (Scheiner et al., 2013), ha portato alla definizione di tre elementi distintivi per classificare i comportamenti sociali e presociali. Il primo è la separazione dei ruoli degli individui: nella maggioranza dei casi esistono due caste separate, costituite dalle femmine fertili, che fondano la colonia e depongono le uova, e dalle femmine sterili, dette operaie, deputate alla

costruzione del nido, alla cura della progenie e al mantenimento della colonia stessa. La differenziazione delle caste è anche morfologica, ad esempio è noto che nei bombi le regine sono di dimensioni maggiori rispetto alle femmine (Michez et al., 2019); in alcune specie neotropicali esistono anche delle femmine “soldato” che si occupano solo di difendere il nido da cleptoparassiti e predatori (Grüter et al., 2016); il secondo è la coesistenza di più generazioni, con le femmine riproduttive che possono sopravvivere anche per anni (Michez et al., 2019); il terzo è la cooperazione nelle cure parentali, dove le femmine accudiscono la prole comune e non solo la propria (Danforth et al., 2019). Qui viene riportato un elenco delle forme di socialità (Danforth et al., 2019; Michener, 2007), a partire dalle più semplici alle più sviluppate:

- Solitaria: la femmina costruisce il nido, depone le proprie uova e fornisce le provviste alla progenie, provvedendo inoltre alla difesa del nido stesso. Più del 70% delle specie di apoidei antofili è solitario.
- Subsociale: la femmina si comporta come se fosse solitaria ma può prendersi cura della progenie.
- Comunitaria: le femmine condividono la stessa entrata nel nido, ma non vi è cooperazione nell'allevamento della progenie e ognuna costruisce una propria cella dove deporre le proprie uova.
- Quasisociali: le femmine collaborano alla costruzione e all'immagazzinamento delle provviste per le larve ma tutte possono accoppiarsi e deporre uova.
- Semisociali: le femmine della colonia sono della stessa generazione, nonostante vi sia una regina che depone le uova e una o più operaie che svolgono anche il ruolo di bottinatrici.
- Parasociali *sensu* Michener (2007): colonie i cui membri sono della stessa generazione e si comportano come colonie quasisociali, semisociali o comunitarie.
- Eusociali primitive: presenta tutte le caratteristiche delle specie eusociali ma le femmine differiscono solo per le dimensioni. Accade nei bombi e negli Halictini.
- Eusociali avanzate: Regine e operaie hanno una diversa morfologia e le nuove colonie vengono fondate per sciamatura. È un tipo di socialità propria di Meliponini (api senza pungiglione) e Apini (api da miele).
- Polimorfismo sociale: tipico degli Halictidae, nella stessa specie possono coesistere popolazioni eusociali e popolazioni solitarie. La socialità in questo caso sembra essere influenzata dalla latitudine e dall'altitudine, ma anche dalla plasticità del comportamento individuale e dalla componente genetica che può mantenere o eliminare i tratti eusociali nelle specie, come dimostrato in *Lasioglossum albipes* (Kocher et al., 2018).

La maggior parte delle specie sociali è distribuita nelle zone tropicali, mentre le specie solitarie prevalgono nelle zone temperate e nelle zone desertiche (Danforth et al., 2019). Questa ripartizione può essere spiegata attraverso l'analisi di costi e benefici che le due modalità di vita comportano: l'eusocialità permette di generare molti individui ma, finché la colonia non è stabile, non consente di riprendersi in

modo efficace dopo possibili eventi ambientali sfavorevoli, mentre la non-socialità porta alla generazione di pochi individui che possono resistere anche a situazioni ambientali non favorevoli (Fu et al., 2015).

Organizzazione e costruzione dei nidi

Da un punto di vista trofico, gli apoidei antofili sono un gruppo omogeneo dove tutte le specie hanno le stesse abitudini. Questa condizione non vale invece per quanto riguarda la costruzione dei nidi. Fatta eccezione per alcune situazioni intermedie, è possibile riunire le strategie di nidificazione in quattro grandi categorie: la costruzione di nidi sotterranei (da parte dei cosiddetti *soil excavators*), la costruzione di nidi scavati nel legno (*wood excavators*), la nidificazione in cavità preesistenti (*cavity renters*) e la nidificazione al di sopra del suolo (*above-ground builders*) (Fig. 3.2; Danforth et al., 2019). Non rientrano in questi gruppi le api cleptoparassite e parassite sociali in quanto non costruiscono nidi, bensì occupano quelli dei propri ospiti.

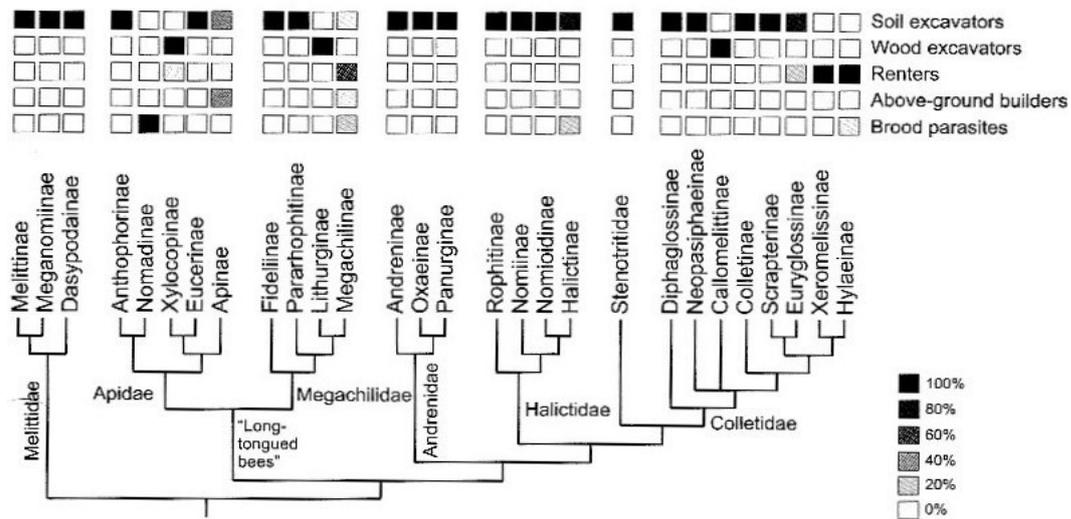


Figura 3.2: Albero filogenetico degli apoidei antofili con le percentuali delle specie con diverse abitudini di nidificazione: scavatori, scavatori del legno, nidificanti in cavità precostruite, nidificanti sopra il livello del suolo e parassiti di covata. Le percentuali sono riportate in basso a destra in modo decrescente. Si noti come nella maggior parte delle famiglie gran parte delle specie è costituita da scavatori nel suolo: in alcuni casi, come gli Andrenidae, vi sono solo specie nidificanti sotto al livello del suolo (da Danforth et al., 2019).

Eccezion fatta per gli apoidei sociali, la cui trattazione esula dall'argomento del lavoro, il nido degli apoidei antofili è di solito costituito da una serie di celle dove vengono deposte le uova e le provviste di polline per la larva che nascerà (Michener, 2007). Le provviste sono costituite da masse composte da una mistura di polline e nettare assemblata dalle femmine adulte, le quali provvederanno a costruire anche il resto del nido (Michez et al., 2019). Le celle sono solitamente separate e

contengono un singolo uovo, ma esistono casi dove non esiste una partizione delle celle per cui le uova sono deposte in un unico spazio con provviste di polline unite o separate, come osservato in alcune specie di Megachilidae (Michener, 2007). Per isolare la prole dal freddo, dall'umidità e dai predatori, molte specie di apoidei rivestono le pareti interne del nido con diversi materiali. Spesso questo strato protettivo viene prodotto a partire da secrezioni della ghiandola di Dufour, come nel caso dei Colletidi, chiamati "*cellophane bees*" nei paesi anglosassoni proprio per il secreto trasparente che usano per i propri nidi. In altre specie è preferito l'utilizzo di materiali esogeni, come foglie, tricomi delle piante, fango, resine e olii floreali (Danforth et al., 2019), così da proteggere la covata da minacce biotiche, come predatori, parassiti e soprattutto batteri e miceti, e abiotiche, come eccessiva umidità o disseccamento. Il rivestimento delle pareti interne del nido è stato un adattamento evolutivo significativo perché ha permesso alle api di colonizzare anche habitat proibitivi: nonostante ciò, vi sono molte specie che rivestono parzialmente o non rivestono l'interno del proprio nido, (Harmon-Threatt, 2020) come nel caso di molti *cavity renters* o *wood excavators* (Danforth et al., 2019).

Soil excavators

La strategia di nidificazione più comune tra gli apoidei è la costruzione di nidi sotterranei, adottata da una percentuale di specie che va dal 64% all'83% (Harmon-Threatt, 2020; Cane e Neff, 2011). Famiglie come Melittidae, Andrenidae e Stenotritidae comprendono soltanto specie scavatrici, così come gran parte di Halictidae e Colletidae, (Danforth et al., 2019). Di solito i nidi sono costituiti da una galleria verticale principale e da una serie di gallerie laterali che portano alle celle di covata: negli Halictidae questo non avviene perché le celle sono direttamente connesse alla galleria principale. Un'altra soluzione è il raggruppamento delle celle in un'unica grande camera connessa alla galleria. Sono frequenti anche vicoli ciechi e tunnel anulari che circondano le celle (fig. 2, Antoine e Forrest, 2021). La lunghezza dei nidi delle api scavatrici è variabile dagli 1 ai 530 cm, con una media di 35 cm (Antoine e Forrest, 2021; Cane e Neff, 2011). Il nido è spesso costruito in suoli con un'alta percentuale di sabbia o sabbia fine mista ad argilla e limo (Danforth et al., 2019), ma esistono anche alcune api specializzate nella costruzione di nidi in substrati particolari come ad esempio le specie psammofile, associate ad ambienti con sabbia sciolta, come *Colletes cunicularius* o *Andrena vaga* (Michez et al., 2019), o altre specie capaci di scavare i propri nidi nell'arenaria, come la specie eurasiatica *Colletes daviesianus* o la specie nordamericana *Anthophora pueblo* (Danforth et al., 2019). Un caso singolare riguarda *Anthophora squammulosa*, specie diffusa in Centro America che riesce a nidificare lungo le pendici di vulcani attivi nonostante la continua esposizione a vapori tossici di anidride solforosa (Erenler et al., 2016). Per riuscire a scavare nel terreno, le api scavatrici hanno evoluto degli specifici adattamenti morfologici, tra cui lo sviluppo delle placche basitibiali sulle tibie posteriori per muoversi più agevolmente nelle gallerie o la placca pigidiale sul sesto tergite adattata per compattare il suolo nella galleria e nelle celle di covata (Danforth et al., 2019).

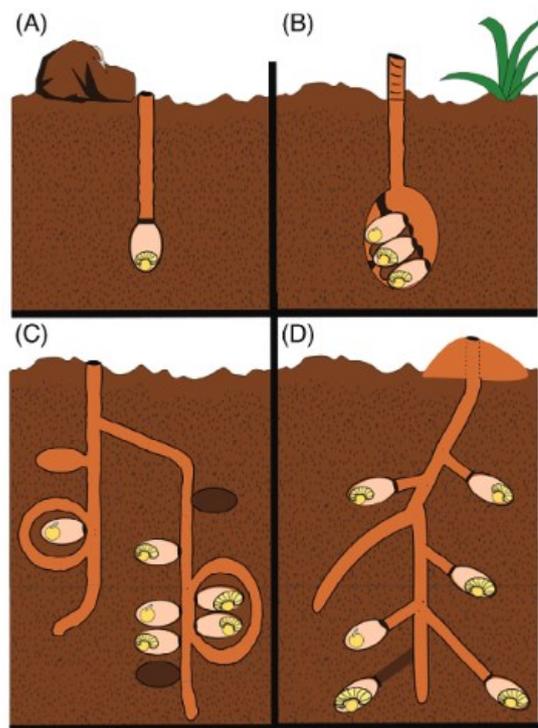


Figura 3.3: Tipologie di nidi sotterranei di apoidei. A) Nido con cella singola; B) Nido avente una struttura subaerea che costituisce l'entrata, con le celle raggruppate in una camera interna; C) Nido con una galleria verticale principale, con le celle direttamente collegate alla galleria principale ed alcuni cunicoli ad anello che le circondano D) Nido con una galleria principale e le celle connesse ad essa con delle gallerie più piccole. Da notare anche la presenza di vicoli ciechi (Da Antoine e Forrest, 2021)

Cavity renters

I *cavity renters* costituiscono il secondo gruppo per numerosità dopo i *soil excavators* (Cane e Neff, 2011). La maggioranza delle specie che adottano questo metodo di nidificazione appartiene alle famiglie dei Megachilidae e dei Colletidae, in particolare tra Osmiini, Megachilini, Anthidiini e Hylaeinae, ma esistono anche generi (come *Centris*, *Tetrapedia* e *Ctenoplectra*) tra gli Apidae e tra i Colletinae e Euryglossinae (Colletidae) con queste abitudini (Danforth et al., 2019). Questo insieme eterogeneo di api nidifica in un gran numero di substrati, come fusti cavi (Fig. 3.4), gallerie scavate nel legno da coleotteri xilofagi, crepe nelle rocce, nidi abbandonati da altri apoidei e vespe solitarie (Danforth et al., 2019). Tra i Colletidi, di cui una frazione di specie nidifica in cavità, esistono casi particolari come *Hylaeus pectoralis* che predilige esclusivamente le galle generate dal dittero cloropide *Lipara lucens* sulle cannuce di palude (*Phragmites australis*) (Bogusch et al., 2015). La famiglia meglio adattata a questo stile di vita è quella dei Megachilidae, che conta al suo interno più di 4000 specie (Danforth et al., 2019) diffuse in tutti i continenti, eccetto l'Antartide, in una gran varietà di habitat, dalle foreste tropicali ai deserti e agli ambienti alpini (Gonzalez et al., 2012). La grande diversificazione e capacità di adattamento di questa famiglia è imputabile proprio all'utilizzo di materiali reperibili nell'ambiente circostante per rivestire l'interno

delle cavità scelte per la nidificazione (Litman et al., 2011). Alcune specie nidificano soltanto in determinati substrati, per esempio nella tribù degli Osmini è frequente la costruzione di nidi all'interno di nicchi vuoti di chiocciole, comportamento che è comparso in modo indipendente in vari generi (Müller, A., 2022; Müller et al., 2020), mentre la specie *Megachile assumptionis* nidifica solo nei nidi abbandonati da un altro apoideo, *Ptilothrix plumata*. Anche i *cavity renters* hanno evoluto degli adattamenti morfologici per costruire in modo più efficiente il nido: il loro corpo è più slanciato in modo da poter utilizzare anche cavità di diametri normalmente non adatti ad un'ape (Danforth et al., 2019).



Figura 3.4: Tipico nido di un *cavity renter* (gen. *Osmia*).

Wood excavators

Un'altra strategia impiegata da alcuni gruppi di api è la costruzione di nidi scavati nel legno. In questo insieme di specie, spesso definito *wood excavators*, figurano sia specie che scavano nel legno secco o in fusti erbacei lignificati che specie nidificanti nel legno marcescente, come accade nei Lithurginae (Megachilidae). I frammenti di legno tritati durante l'escavazione del cunicolo dove verrà costruito il nido sono usati per i setti divisorii delle celle e per chiudere l'entrata del nido (Michez et al., 2019). Lo scavo viene effettuato con le mandibole che presentano di solito degli adattamenti per questo scopo, come accade negli Xylocopini (Apidae), i quali hanno mandibole spesse e con un dente mediano più sviluppato (Danforth et al., 2019).

Above ground nesters

Le specie che costruiscono nidi al di fuori di substrati come il suolo o il legno compongono una percentuale di specie relativamente bassa della diversità globale degli apoidei, limitata agli Euglossini (Apidae), le cosiddette api delle orchidee, e ad alcune sottofamiglie di Megachilinae (Megachilidae) (Danforth et al., 2019). Il nido viene assemblato con una gran varietà di materiali, inclusi fango, resine e tricomi ed è talvolta ancorato a rocce, steli di piante oppure su superfici antropiche, come pareti in cemento (Michez et al., 2019). Negli Anthidiini, oltre a specie che hanno altre strategie di nidificazione, vi sono specie che fabbricano tipologie di nidi inusuali: ad esempio nel genere *Anthidiellum* il nido è singolo, quasi piriforme, ed

è composto interamente da resina, esposto su una superficie come rocce, muri o rami di alberi, mentre nel genere *Dianthidium* il nido ha della ghiaia inclusa nella resina (Michener, 2007). La scelta della resina risiede nel fatto che è un ottimo materiale perché è malleabile, impermeabile, resistente ed ha proprietà antimicrobiche (Danforth et al., 2019). Sempre tra gli Anthidiini esistono generi, come *Afranthidium* e *Serapista*, che ricavano i propri nidi a partire da fibre vegetali e talvolta animali. Questi apoidei posseggono dunque mandibole multidentate per raccogliere e lavorare meglio le fibre, oltre ad un'accentuata tomentosità dei basitarsi che favorisce l'assorbimento dei secreti ghiandolari delle piante, così da poterli mescolare alle fibre per impermeabilizzare e proteggere il nido da predatori e microbi (Gonzalez et al., 2012).

3. Interazioni tra api e altri organismi

Piante: coevoluzione e importanza agronomica

Come già accennato nel paragrafo sulle abitudini trofiche, gli apoidei e le piante hanno un legame ecologico ed evolutivo molto stretto. Questa interazione ha avuto origine quando comparvero sulla terra le angiosperme eucotiledoni, circa 125 milioni di anni fa (Cardinal e Danforth, 2013), avviando una rapida diversificazione di entrambi i gruppi che ha determinato una vera e propria coevoluzione (Danforth et al., 2019). A lungo si è ipotizzato che la pollinivoria sia stato il fattore che ha reso possibile la radiazione adattativa degli apoidei, ma studi recenti (Murray et al., 2018) ritengono che questo particolare trofismo sia una condizione “necessaria ma insufficiente” per spiegare l’ampia diversità specifica degli apoidei, al contrario, l’ampliamento del numero di specie vegetali visitate per nutrirsi potrebbe essere uno dei fattori cardine della coevoluzione e della diversificazione delle api. L’oligolettia viene infatti vista come condizione ancestrale degli apoidei, come osservato nei Melittidae, mentre la poliolettia è un carattere derivato (Michez et al., 2008; Murray et al., 2018). La spinta evolutiva nata dal legame tra api e piante è stata tale da indurre adattamenti morfologici in entrambi i gruppi. Molte specie vegetali, per ottimizzare la resa delle visite degli impollinatori e per limitare l’accesso al proprio nettare e polline, hanno evoluto diversi caratteri, come la simmetria bilaterale della corolla (vedi Westerkamp e Claßen-Bockhoff, 2007), i fiori nototribi con le antere poste in alto, tipici delle Lamiaceae (Harley et al., 2017), le antere poricide che rilasciano il polline solo da un foro oppure da una fessura alla sommità del fiore (Danforth et al., 2019) e la formazione di masse polliniche (Michez et al., 2019). A questi adattamenti delle piante, le api hanno risposto con le adeguate contromisure: per esempio, per ottenere il polline dai fiori nototribi alcune specie di apoidei hanno sul capo delle setole spesse e incurvate, in modo da entrare nella corolla solo con la testa così da usarla per raccogliere il polline (Danforth et al., 2019). I fiori con antere poricide, caratteristica apparsa in almeno 20000 specie di angiosperme, hanno indotto molti generi di api a sviluppare un comportamento particolare, ovvero la cosiddetta “buzz pollination”: gli individui si aggrappano al fiore e, con rapide contrazioni della muscolatura per il volo, scuotono le antere che lasciano cadere il polline sul corpo dell’ape a causa delle vibrazioni (De Luca e Vallejo-Marin, 2022). Non sono rari i casi in cui la “simbiosi” tra api e piante va a favore di una o dell’altra parte: per esempio, in alcuni generi (*Bombus*, *Xylocopa*) gli individui possono perforare la base della corolla dei fiori (come *Aconitum* o *Corydalis*) per prendere il nettare senza toccare gli stami (Michez et al., 2019; Zhang et al., 2014).

Pur non essendo gli unici impollinatori esistenti, gli apoidei sono altamente specializzati ed obbligati nella raccolta del polline, per questo sono fondamentali per il mantenimento degli ecosistemi, come ad esempio negli ambienti a clima mediterraneo (Danforth et al., 2019; Quaranta et al., 2018; Michener, 2007). Oltre all’impollinazione delle piante selvatiche, gli apoidei hanno una rilevanza primaria nell’impollinazione di molte colture, al punto che alcune stime parlano del 70% delle coltivazioni dipendenti da essi (Danforth et al., 2019; Potts et al., 2010), pertanto sostenere e tutelare le comunità di api selvatiche non significa soltanto

mantenere la stabilità degli ecosistemi in cui vivono, ma anche assicurare che la produzione agricola non collassi (Rodriguez et al., 2020). Tra le coltivazioni direttamente dipendenti dall'attività degli apoidei (dunque anche le più minacciate dalla scomparsa degli impollinatori) vi sono mele, albicocche, prugne, mandorle, zucche ma anche caffè e vaniglia (Danforth et al., 2019). Fatta eccezione per *Apis mellifera*, sono poche le specie allevate per l'impollinazione delle coltivazioni. Nei meleti spesso si impiegano le specie del genere *Osmia*, come *Osmia bicornis* e *Osmia cornuta* in Europa o *Osmia cornifrons* in Giappone, perché poliletiche ed emergono all'inizio della primavera quando gli alberi cominciano a fiorire (Branstetter et al., 2021). La produzione di erba medica, specialmente negli Stati Uniti, è fortemente legata all'impollinazione entomofila: le due specie più utilizzate sono *Nomia melanderi* (Halictidae), gestita su enormi distese di terreno (Danforth et al., 2019), e *Megachile rotundata* (Megachilidae), che ha pian piano soppiantato *Nomia melanderi* perché più facile da gestire e maggiormente compatibile con il ciclo vitale dell'erba medica, permettendo inoltre di triplicare le rese dei terreni per la produzione dei semi (Pitts-Singer e Cane, 2011).

Predazione

In natura esistono diversi predatori che possono attaccare gli apoidei. I predatori invertebrati possono adottare diverse strategie di caccia per catturare le prede. Un metodo è tendere un'imboscata nei posti frequentati dalle api: predatori che cacciano in questo modo sono ad esempio le mantidi (Mantodea), diverse sottofamiglie di Reduviidae (Hemiptera), le formiche (Formicidae) e i ragni granchio (Thomisidae) (Danforth et al., 2019). Un ragno ben adattato a questo stile di caccia è *Misumenia vatia*, comune alle nostre latitudini e rinvenibile sulle piante in fiore. Grazie alla possibilità di cambiare colore in base all'ambiente circostante, questo ragno riesce a mimetizzarsi in modo tale da risultare invisibile agli occhi della preda. Il cambiamento cromatico è però un processo lento e riguarda soltanto le femmine (Bellmann, 2016). A differenza dei precedenti, i predatori attivi cercano la propria preda. Come predatori delle api selvatiche sono noti gli Asilidae (Diptera), cacciatori generalisti che colpiscono in prossimità di aggregazioni, colonie di api sociali e aree ricche di fiori (Danforth et al., 2019). Alcuni di questi (es. *Laphria* spp.) hanno un aspetto simile alle api in colore e pelosità, probabilmente una forma di mimetismo mulleriano per proteggersi dai vertebrati predatori (Brower e Westcott, 1960). Anche i Crabronidae (Apoidea, Hymenoptera), in particolare i Philantinae, contano specie predatrici di api, come nel caso di *Philanthus triangulum* che cattura solo api da miele (Danforth et al., 2019). La predazione degli apoidei può avvenire anche sulle larve e sulle pupe. Nel genere *Trichodes* (Cleridae, Coleoptera) vi sono specie, come *T. apiarius*, in cui gli adulti si nutrono di polline ed altri insetti, mentre le larve crescono all'interno di nidi di vespe e api selvatiche, cibandosi delle larve dell'ospite ed eventualmente anche delle loro riserve di cibo all'interno della cella (Krunić et al., 2005). Si ritiene che l'infestazione scaturisce quando delle larve di *Trichodes* vengono trasportate per via foretica dall'ospite adulto che visita il nido (Danforth et al., 2019).

I predatori vertebrati sono in gran parte uccelli, il cui impatto sulle popolazioni di api selvatiche non è mai stato studiato in modo approfondito (Danforth et al., 2019). In Italia sono presenti diverse specie che cacciano gli apoidei. Il gruccione (*Merops apiaster*) è noto per la sua dieta insettivora composta in buona parte da apoidei, in Europa infatti cattura principalmente bombi (*Bombus* sp.) e api da miele (*Apis* sp.), mentre in Africa cattura anche api senza pungiglione (Meliponini) (Bastian e Bastian, 2022). Anche il falco pecchiaiolo (*Pernis apivorus*) è un predatore di imenotteri specializzato nella predazione sui nidi di vespe e api, al punto da possedere delle penne modificate sulla fronte e nell'area perioculare per proteggersi dalle punture (Ferguson-Lees e Christie, 2001). Oltre a questi, sono frequenti gli attacchi da parte dei picchi (*Dendrocopus* spp.), che possono danneggiare pesantemente i nidi in cerca di larve, ma anche da parte di gazze (*Pica pica* L.) e cince (*Parus major* L.) (Krunić et al., 2005; Splitt et al., 2022).

Parassitismo

Una delle interazioni più comuni tra esseri viventi è il parassitismo, una relazione simbiotica negativa dove una specie trae beneficio dall'associazione stretta e prolungata con un'altra specie ospite che viene danneggiata. (Smith e Smith, 2017). Nel regno animale è stato stimato che almeno la metà delle specie conosciute e parassita (Weinstein and Kuris, 2016). Le modalità di parassitismo sono numerose e possono essere molto diverse tra loro: una prima grande distinzione viene fatta tra parassiti e parassitoidi. I parassiti in senso stretto vivono a spese del proprio ospite, senza ucciderlo, mentre i parassitoidi attaccano l'ospite e lo consumano come fonte di cibo per il proprio sviluppo, causandone la morte (Danforth et al., 2019). I parassitoidi inoltre conducono almeno uno stadio vitale libero che occupa una nicchia ecologica differente da quella dello stadio di sviluppo. Una dicotomia ricorrente, riguardante i soli parassitoidi, è quella tra organismi idiobionti e cenobionti: i primi, appena raggiunta la fase di larva, uccidono l'ospite, i secondi invece attendono che l'ospite arrivi a svilupparsi prima di consumarlo come fonte di cibo (Yeates e Greathead, 2008). Un'ulteriore distinzione viene fatta tra endoparassiti ed ectoparassiti: i primi compiono almeno una fase del proprio ciclo vitale all'interno del corpo dell'ospite, mentre i secondi attaccano l'ospite all'esterno, ad esempio sul tegumento (Smith e Smith, 2017).

Tra gli endoparassiti degli apoidei vi sono gli Stylopidae (Strepsiptera), che riescono ad alterare e controllare attività e comportamenti dell'ospite, soprattutto durante il periodo riproduttivo quando la femmina, parassita, deve segnalare la propria presenza al maschio, a vita libera (Danforth et al., 2019). Questa famiglia fa parte degli Strepsiptera, ordine di insetti endoparassiti che vivono a spese di una moltitudine di ospiti, come Diptera, Mantodea, Orthoptera e altri Hymenoptera (Kathirithamby, 2018).

Gli insetti parassitoidi sono invece numerosi: le femmine spesso sono dotate di ovopositori, organi evoluti a partire dagli ultimi segmenti addominali appositamente per deporre le uova all'interno dell'ospite. (Kumpanenko et al.,

2019; Zhang et al., 2015). Le api selvatiche possono essere colpite sia da adulte che durante le fasi larvali. I parassitoidi più importanti che attaccano gli apoidei adulti sono i Conopidae (Diptera): le femmine si aggrappano all'ape adulta in prossimità di fiori o del proprio nido ed inoculano l'uovo tra i segmenti addominali dell'ospite. Nel giro di circa 12 giorni, la larva ne avrà consumato i tessuti e terminerà il suo sviluppo all'interno del nido dell'ospite (Moure-Oliveira et al., 2019).

Esistono diversi gruppi di parassitoidi che attaccano gli stadi preimmaginali degli apoidei. Tra i coleotteri, i Ripiphoridae e i Meloidae comprendono parassiti degli apoidei che effettuano ipermetamorfosi, condizione per cui le larve hanno due diverse forme: la prima, detta triungulina, è dotata di zampe per poter entrare nel nido dell'ospite per via foretica, mentre la seconda, la larva matura, una volta insediata nel nido, diventa apode. La differenza tra le due famiglie è che le larve di Ripiphoridae consumano solo la larva dell'ospite, mentre le larve dei Meloidae possono consumare anche le riserve di polline oltre alla larva dell'ospite (Danforth et al., 2019). I ditteri parassitoidi che attaccano le larve di apoidei si trovano nelle famiglie Bombyliidae, Anthomyidae e Miltogramminae (Sarcophagidae) (Danforth et al., 2019). Tra questi, i Bombyliidae sono noti per essere parassitoidi e iperparassitoidi di imenotteri, coleotteri, lepidotteri e altri ditteri (Yeates e Greathead, 2008). La particolarità di questi insetti è la frequenza con cui depongono le uova all'interno dei nidi, rilasciandole al volo in modo che vengano attaccati più nidi possibili: alcune specie riescono a deporre oltre mille uova in un solo giorno (Danforth et al., 2019). Le larve sono di solito cenobionti (Yeates e Greathead, 2008) e le pupe, come accade in *Anthrax* spp., possono distruggere intere covate per trovare l'uscita del nido (Krunić et al., 2005).

L'ordine degli Hymenoptera conta un gran numero di specie parassitoidi, le quali costituiscono da sole il 75% di tutti gli insetti parassitoidi conosciuti. La maggioranza di queste ricade nelle superfamiglie Ichneumonoidea e Chalcidoidea (Michez et al., 2019). Diverse famiglie di imenotteri parassitano gli apoidei. I Chrysididae, le cosiddette vespe gioiello, sono parassitoidi di un gran numero di insetti e spesso presentano una relazione specie-specifica tra ospite e parassita. I Chrysidinae attaccano altri imenotteri apocriti, specialmente apoidei e vespe. Le larve di questi imenotteri attendono che l'ospite abbia mangiato le riserve di cibo nella cella prima di cibarsene. Possono comportarsi anche da cleptoparassiti che consumano il cibo immagazzinato nel nido dopo aver ucciso l'ospite (Agnoli e Rosa, 2022). Un importante gruppo di parassitoidi degli apoidei è costituito dai Torymidae, famiglia che conta circa 1100 specie, la cui biologia è ancora in larga parte sconosciuta, ma è possibile individuare dei pattern ricorrenti (Jansta et al., 2017). Eccetto pochi casi di fitofagi, la maggioranza delle specie di Torymidae è parassitoide: il gruppo che più di tutti attacca gli apoidei è quello dei Monodontomerini (Goulet et al., 1993), con alcune specie che parassitano un'ampia gamma di apoidei, come *Monodontomerus obscurus* e *Monodontomerus laticornis* (Zerova e Seyogina, 2002).

Cleptoparassitismo e parassitismo sociale

Tra le forme di parassitismo esistenti, il cleptoparassitismo è di certo una delle più complesse e affascinanti. In generale, una specie viene definita cleptoparassita quando ruba risorse, di solito cibo o materiale per il nido, ad un'altra (Dehon et al., 2017). Spesso il parassita uccide la progenie dell'ospite (Litman et al., 2013) e consuma le provviste all'interno del nido (Danforth et al., 2019). Questa strategia è comune tra mammiferi, pesci ossei, uccelli, ragni e molti gruppi di insetti (Dehon et al., 2017), apoidei compresi. Tra questi ultimi è un fenomeno molto diffuso, infatti intere sottofamiglie, come i *Nomadinae* (Michez et al., 2019), hanno sviluppato tali abitudini e si stima che almeno il 13% di tutte le specie di apoidei sia parassita (Danforth et al., 2019). In base alla relazione parassita-ospite vengono distinte diverse forme di cleptoparassitismo: cleptoparassitismo, parassitismo sociale e cleptobiosi (Danforth et al., 2019; Michez et al., 2019).

Le api cleptoparassite eliminano la progenie ospite affinché possa crescere la propria e sfruttano il nido e le provviste delle specie ospiti (Danforth et al., 2019) pertanto non hanno bisogno di raccogliere polline e nemmeno di costruire un proprio nido. Ciò ha delle grosse conseguenze sulla morfologia delle specie che testimoniano il perfetto adattamento al parassitismo: oltre ad essere prive di peluria e strutture per il trasporto del polline (Michez et al., 2019), le femmine parassite sono fornite di molteplici ovaroli oppure di oociti maturi di piccole dimensioni così da aumentare la quantità di uova disponibili per la deposizione (Rozen, 2003). I parassiti hanno evoluto diversi sistemi per poter attaccare i nidi dei propri ospiti. In alcuni generi (*Exaerete*, Apidae, Euglossini; *Hoplostelis*, Megachilidae, Anthiidini) le femmine parassite entrano nel nido ospite dopo che questo è stato chiuso e distruggono la progenie ospite, per poi deporre il proprio uovo, richiudere la cella e fuggire. In altre tribù (es. Dioxyini, Megachilidae; Melectini, Apidae) le femmine parassite depongono l'uovo nel nido già completato dall'ospite: sarà poi la larva parassita ad uccidere la larva ospite e a consumare le risorse nella cella. Molte altre tribù, tra cui Nomadini, Ammobatini, Epeolini e Biastini, preferiscono invece deporre le proprie uova mentre la femmina ospite sta ancora costruendo il nido (Litman, 2019). Come difesa dalle femmine ospiti che sorvegliano i propri nidi, le specie parassite hanno evoluto una cuticola più spessa, speroni, lamelle e carene per proteggere le parti più vulnerabili, inoltre possono infliggere punture più dolorose rispetto alle specie non parassite (Michener, 2007) e ricorrere anche al mimetismo chimico per poter entrare nei nidi indisturbate. Il parassita può produrre molecole simili all'odore dell'ospite o acquisire l'odore della specie attaccata durante l'invasione del nido così da essere identificato come conspecifico e dunque innocuo (Polidori et al., 2020). Questo fenomeno è stato studiato in *Nomada* (Apidae) (Tengö e Bergström, 1977), *Psithyrus* (Apidae) e *Sphecodes* (Halictidae) (Polidori et al., 2020). Un metodo peculiare per nascondere le uova alle femmine ospiti è il loro occultamento sulle provviste della cella o nelle pareti del nido (Litman, 2019).

I parassiti sociali, una volta infiltrati nel nido ospite e dopo aver deposto le uova, uccidono la regina cosicché le operaie ospiti accudiscano la prole parassita. Queste specie sono eusociali ma sono talmente specializzate nel condurre questo stile di

vita da aver perso sia le strutture per raccogliere il polline che la capacità di produrre una casta di operaie. Un esempio tipico di parassitismo sociale è quello che avviene tra *Bombus* e *Psithyrus* (Michez et al., 2019).

La cleptobiosi, fenomeno abbastanza raro nelle api selvatiche (Danforth et al., 2019), prevede il furto delle riserve di cibo. Le specie cleptobiotiche possono rubare approfittando dell'assenza della propria vittima oppure attaccando il nido (Breed et al., 2012). Negli apoidei è stato osservato questo comportamento in *Lestrimelitta* a livello interspecifico (Grüter et al., 2016), in *Xylocopa* (Lucia et al., 2017) e *Apis mellifera* (Breed et al., 2012) a livello intraspecifico.

Gli apoidei parassiti talvolta seguono la regola di Emery, secondo la quale il parassita attacca una specie filogeneticamente vicina: questo accade molto di frequente nelle formiche (Emery, 1909), mentre nelle api accade per esempio tra *Sphecodes* ed *Halictus* (Halictini, Halictidae), tra *Bombus* e *Psithyrus* (Bombini, Apidae) (Michez et al., 2019), tra *Exaerete* e *Eufriesea* (Euglossini, Apidae) (Bossert et al., 2019).

L'evoluzione del cleptoparassitismo è ancora in fase di studio. È noto che questo comportamento è comparso nella storia evolutiva degli apoidei per ben 18 volte (Litman, 2019) e le prime linee parassite risalgono almeno a 100 milioni di anni fa (Lim et al., 2022), inoltre non esistono casi in cui specie parassite siano tornate alla vita libera (Sless et al., 2022). Data l'abbondanza specifica di alcuni gruppi parassiti, sono stati studiati due modelli, entrambi validi, che cercano di spiegare la diversificazione delle api cleptoparassite: il primo sostiene che le specie parassite si siano evolute più volte e in tempi recenti dagli stessi cladi dei propri ospiti, il secondo sostiene invece che le specie parassite siano derivate da alcune specie antiche che hanno attaccato ospiti non imparentati con esse (Danforth et al., 2019). Sembrerebbe inoltre che vi siano fattori determinanti nella speciazione degli apoidei parassiti come la modalità di attacco del nido (Litman et al., 2013) e l'utilizzo degli olii floreali (Policarová et al., 2019).

Cleptoparassitismo in altri artropodi

Le api selvatiche possono subire fenomeni di cleptoparassitismo anche da altri insetti e artropodi.

- I parassiti di covata consumano le riserve di cibo al posto della larva ospite. Le larve di questi parassiti possono uccidere l'uovo dell'ospite per evitare che nasca la larva. Specie con questi comportamenti sono note per le famiglie dei Sapygidae (Hymenoptera, Symphyta) e dei Phoridae (Diptera), ma anche per *Grotea*, un genere di Ichneumonidae (Danforth et al., 2019).
- I *nest depredators* consumano le riserve di cibo destinate alla larva senza causarne la morte diretta (Danforth et al., 2019). Un tipico esempio è il dittero *Cacoxenus indagator*, tra i principali parassiti dei nidi di *Osmia cornuta* e *Osmia bicornis* (Splitt et al., 2022). Anche i Chaetodactylidae (Acarina, Mesostigmata) possono comportarsi da *nest depredators* (Danforth et al., 2019).

4. La diversità degli Apoidei

Nella superfamiglia degli apoidei sono compresi, allo stato attuale, 7 famiglie, 529 generi e oltre 20000 specie descritte. Con l'eccezione degli Stenotritidae, la più piccola famiglia tra gli apoidei, con sole 21 specie endemiche dell'Australia (Danforth et al., 2019), in Europa sono presenti 6 famiglie con ben 2051 specie (Rasmont et al., 2017). In Italia, l'ultimo censimento ufficiale (Pagliano, 1994) conta 944 specie, così come riportato dalla Checklist della Fauna d'Italia (Ruffo e Stoch, 2005), ma sarebbe necessario aggiornare il conteggio visto il progresso delle conoscenze sulla distribuzione e sulla tassonomia delle api europee (Quaranta et al., 2018), infatti la stima più recente ed aggiornata per la fauna italiana è di 1178 specie (Comba, 2019). In questo paragrafo verranno espone le caratteristiche principali delle famiglie di apoidei presenti in Europa. Per ogni famiglia verranno riportati il numero di specie presenti in Europa (Michez et al., 2019; Rasmont et al., 2017), i tratti distintivi, l'ecologia e le sottofamiglie europee.

Andrenidae

(Europa: 489 spp.)

La famiglia degli Andrenidae include circa 3000 specie a livello mondiale (Danforth et al., 2019) ed è presente in Europa con 489 specie, divise in due sottofamiglie, Andreninae e Panurginae (Michez et al., 2019). Pur essendo distribuiti in tutto il mondo, eccetto l'Australia, la diversità biologica degli Andrenidae aumenta negli ambienti xerici e temperati (Bossert et al., 2021; Michener, 2007). Da un punto di vista morfologico, le suture subantennali parallele tra toruli e clipeo contraddistinguono gli Andrenidae dalle altre famiglie (Michener, 2007), inoltre possiedono una glossa corta e appuntita (Michez et al., 2019). Tutte le specie nidificano nel terreno e sono solitarie o al limite comunitarie (Bossert et al., 2021). Le abitudini trofiche degli Andrenidae sono abbastanza omogenee in quanto sono quasi tutti oligolettici: gli Andreninae prediligono piante come Asteraceae, Rosaceae, Fabaceae, Ericaceae e Brassicaceae, mentre i Panurginae, spesso specializzati su singole specie vegetali, visitano un'ampia varietà di piante, tra cui Papaveraceae, Fabaceae, Asteraceae e Solanaceae. Non sono note ad ora specie di Andrenidae cleptoparassite (Danforth et al., 2019).

Gli Andreninae europei sono rappresentati dal genere *Andrena*, il secondo più abbondante in specie a livello globale (Pisanty et al., 2020) con ben 1607 specie descritte (Ascher e Pickering, 2020), mentre in Europa se ne contano 446. I caratteri tipici del genere sono la glossa corta, tre celle submarginali nell'ala anteriore, la vena basale dritta, le suture subantennali parallele e, nelle femmine, le fovee ampie. Le specie di *Andrena* sono sia poliletiche che oligolettiche, gli adulti tendono a visitare fiori con la corolla non troppo lunga o con i nettari accessibili, come per esempio i capolini delle asteracee (Michez et al., 2019). I Panurginae, ben più consistenti in Nord America con le oltre 600 specie del genere *Perdita* (Bossert et al., 2021), in Europa sono presenti con *Melitturga*, ape solitaria di medie dimensioni, oligolettica sulle Fabacee, e con la tribù dei Panurgini, gruppo di sei

generi di apoidei solitari, nidificanti al suolo, adattati a visitare fiori dalla morfologia poco complessa (Michez et al., 2019), come osservato in *Panurgus* (Wood et al., 2022).

Apidae

(Europa: 578 spp.)

È la famiglia più grande all'interno degli apoidei antofili, con oltre 6000 specie e 5 sottofamiglie (Danforth et al., 2019). Oltre ad avere una ampia gamma di abitudini trofiche e di nidificazione (Michener, 2007), questa è l'unica famiglia, oltre agli Halictidae, dove è comparsa l'eusocialità (Michez et al., 2019). Gli Apidae possiedono una notevole variabilità anche nei caratteri diagnostici, pur essendo tutte api dalla lingua lunga. Il solo aspetto riscontrabile in tutte le sottofamiglie è il numero di ovaroli per ovario nelle femmine e per tubulo seminale nelle gonadi maschili (Michener, 2007). La sistematica degli Apidae è stata oggetto di molti studi, in particolare per le linee evolutive con specie eusociali, ma presenta ancora aspetti da chiarire (Bossert et al., 2019). Per la classificazione tradizionale le sottofamiglie degli Apidae sono tre (Michener, 2007), mentre, alla luce delle ricerche più recenti (Bossert et al., 2019), vengono riconosciute cinque sottofamiglie, tutte presenti in Europa: Anthophorinae, Apinae, Eucerinae, Nomadinae e Xylocopinae.

Negli Anthophorinae vengono incluse specie solitarie nidificanti nel terreno (Danforth et al., 2019). Questi apoidei sono xerofili e abbondanti nelle aree a clima mediterraneo (Brooks, 1988). Le larve mature non filano i bozzoli, per cui svernano come prepupe oppure come adulti (Michener, 2007). Sono in gran parte specie poliletiche, con una predilezione per Lamiaceae, Boraginaceae e Fabaceae (Michez et al., 2019). In Europa sono presenti i generi *Anthophora*, *Amegilla* e *Habropoda*: sono facilmente distinguibili dagli altri apoidei con la lingua lunga per via delle scope presenti sulle tibie e sul primo segmento tarsale delle zampe anteriori, oltre che per il volo frenetico e rumoroso (Michez et al., 2019). La distinzione tra i generi viene fatta su caratteri morfologici come la presenza degli arolia¹, presenti in *Anthophora* e *Habropoda* e assenti in *Amegilla* (Michez et al., 2019), ma anche su aspetti ecologici, come il periodo di attività (Brooks, 1988).

I Nomadinae sono il gruppo di apoidei cleptoparassiti più importante ed antico (Dehon et al., 2017; Sless et al., 2022), con quasi 1600 specie (Danforth et al., 2019), e possiedono tutte le caratteristiche delle specie cleptoparassite, come la mancanza di strutture per la raccolta del polline, cuticola spessa e una pelosità ridotta (Michez et al., 2019). Gli ospiti dei Nomadinae sono svariati, ed includono Andrenidae, altri Apidae, Halictidae, Colletidae e Melittidae. Non sono noti casi di parassitismo da parte di Nomadinae ai danni di Megachilidae e Stenotritidae. A prescindere dalla strategia d'attacco (vedi par. "Cleptoparassitismo"), in questa

¹ Arolium (pl. arolia): lobo presente tra le unghie dell'ultimo segmento tarsale (Michez et al., 2019).

sottofamiglia sono le larve parassite ad uccidere le larve dei propri ospiti (Sless et al., 2022).

Gli Apinae contano più di 1200 specie distribuite in tutto il mondo, e comprendono quasi tutte le specie eusociali conosciute (Danforth et al., 2019). Le classificazioni più recenti individuano negli Apinae un clade monofiletico comprendente le api corbicolate (vedi par. "Abitudini trofiche") ed il genere *Centris* come sister group (Danforth et al., 2019). Ad eccezione della corbicula, non è possibile determinare dei tratti diagnostici per questa sottofamiglia (Michener, 2007). In Europa sono presenti solo due tribù, quella dei Bombini, con i generi *Bombus* e *Psithyrus* (Michez et al., 2019), e quella degli Apini, con la specie *Apis mellifera* e le sue sottospecie, tra cui la ssp. *ligustica* e la ssp. *carniolica* (Fontana et al., 2018).

Gli Eucerinae sono una sottofamiglia con 780 specie distribuite in tutto il mondo, eccetto Antartide e Australia, con la massima diversità nel Neotropico (Freitas et al., 2020). In Europa sono presenti solo 3 dei 57 generi esistenti (Michez et al., 2019). Alcuni studi affermano che i tre generi siano in realtà parte di *Eucera* (Dorchin et al., 2018), genere presente in Europa con un'elevata diversità nel bacino mediterraneo (Catania et al., 2021). Il tratto distintivo di *Eucera* sono le antenne molto lunghe dei maschi che arrivano anche oltre il secondo tergite (Michez et al., 2019). Le specie del genere *Eucera* sono tutte solitarie o comunitarie e nidificano nel suolo. Pur essendovi specie oligolettiche, in maggioranza sono poliletliche con una spiccata preferenza per Fabaceae, Lamiaceae e Boraginaceae (Michez et al., 2019)

Gli Xylocopinae, ritenuto gruppo basale degli Apidae (Michez et al., 2019), sono conosciuti per la costruzione dei propri nidi scavati nel legno (Danforth et al., 2019). Sono specie poliletliche (Terzo et al., 2007) e possono avere comportamenti sociali ed in alcuni casi limitati possono essere cleptoparassite (Danforth et al., 2019). Delle quattro tribù esistenti, Manueliini, Allodapini, Xylocopini e Ceratinini, solo le ultime due sono presenti in Europa con due generi, rispettivamente *Xylocopa* e *Ceratina*. Il primo comprende specie di grandi dimensioni, distinguibili per la colorazione scura della cuticola in entrambi i sessi, per i due dentelli sulle tibie posteriori delle femmine e per le tre celle submarginali, di cui la seconda si estende al di sotto della prima (Michez et al., 2019). Il secondo genere raggruppa specie termofile di dimensioni più contenute, con una peluria molto rada, la cuticola metallica (Terzo et al., 2007), un clipeo prominente e le ali aventi tre celle submarginali (Michez et al., 2019). Tra le specie di *Ceratina* sono conosciuti comportamenti sociali temporanei, con colonie di piccole dimensioni (Mikát et al., 2022).

Colletidae

(Europa: 146 spp.)

La famiglia dei Colletidae conta a livello mondiale un buon numero di specie, circa 2500, con una maggior concentrazione nell'emisfero australe. Delle otto

sottofamiglie esistenti, in Europa se ne trovano due, i Colletinae e gli Hylaeinae. (Michez et al., 2019). Il tratto distintivo di questa famiglia è la glossa breve e bifida (Michez et al., 2019; Michener, 2007), ritenuto un adattamento per l'applicazione del rivestimento delle celle di covata (Danforth et al., 2019). I Colletidi infatti sono le uniche api a rivestire le proprie celle di covata con un secreto prodotto dalle ghiandole di Dufour (Almeida, 2008) che indurisce subito ed è impermeabile, insolubile e inattaccabile da sostanze acide e alcaline: questo potrebbe avere delle implicazioni nel ciclo vitale, consentendo ad alcune specie di non consumare del tutto le proprie provviste prima dell'inverno e di visitare anche i fiori con un'antesi tardiva, come osservato in *Colletes hederæ* (Müller e Weibel, 2020). Riguardo alla nidificazione, i Colletinae nidificano nel terreno, in substrati sabbiosi o argillosi, mentre gli Hylaeinae prediligono steli cavi di rovo o altri arbusti ma talvolta alcune specie possono usare nidi abbandonati nel terreno (Michez et al., 2019). Gli Hylaeinae sono in prevalenza specie poliletliche, mentre sono più frequenti specie oligolettiche nei Colletinae, spesso legati a un singolo genere di piante, come *Reseda*, *Salix* o *Odontites* (Müller e Weibel, 2020; Michez et al., 2019). In Europa, Colletinae e Hylaeinae sono rappresentati da due singoli generi, rispettivamente *Colletes* e *Hylaeus*: i primi sono di dimensioni più grandi (7-15 mm), hanno una maggiore pelosità e la seconda vena ricorrente è a forma di S, mentre i secondi hanno dimensioni più contenute (4-9mm), tendono ad essere glabri con la cuticola nera con segni gialli o bianchi ed hanno solo due celle submarginali, di cui la seconda più grande della prima (Michez et al., 2019).

Halictidae

(Europa: 344 spp.)

Gli Halictidae sono la seconda famiglia di apoidei più numerosa al mondo, con circa 4500 specie descritte (Danforth et al., 2019). In Europa sono presenti tutte le sottofamiglie, ovvero Rophitinae, Nomiinae, Nomioidinae e Halictinae (Michez et al., 2019). I caratteri diagnostici per la famiglia sono la vena basale angolata e la morfologia dell'apparato boccale, con una lingua corta e appuntita (Michener, 2007; Pesenko et al., 2000). Anche se una buona parte delle specie conduce vita solitaria o talvolta comunitaria (Danforth et al., 2019), gli Halictidae hanno sviluppato comportamenti eusociali. L'evoluzione della socialità in questa famiglia è avvenuta in modo indipendente almeno tre volte, in periodi in cui il clima era più caldo (Brady et al., 2006). La sola specie eusociale con colonie perenni è *Lasioglossum marginatum* (Barletti et al., 2021), mentre in altre specie è stato osservato polimorfismo sociale, dove le popolazioni possono essere solitarie o sociali a seconda delle condizioni ambientali (Kocher et al., 2018). Il cleptoparassitismo è ben rappresentato nella famiglia dal genere *Sphcodes*, parassita di molte specie nidificanti nel suolo, tra cui anche altri Halictidae (Polidori et al., 2020). I nidi degli Halictidae sono scavati nel terreno, talvolta nel legno marcescente (Danforth et al., 2019) ma sono noti anche casi, come in *Halictus rubicundus*, di nidi costruiti in entrambi i substrati (Pesenko et al., 2000). Alcune specie sono oligolettiche, con adattamenti specifici per la raccolta del polline: le

specie del genere *Rophites* ad esempio sono provviste di peli uncinati per raccogliere il polline dai fiori delle Lamiaceae (Michez et al., 2019).

I Rophitinae sono api poco comuni, oligolettiche strette e talvolta monolettiche (Patiny et al., 2008), caratterizzate dall'inserzione delle antenne molto bassa sul capo (Michez et al., 2019). Nomiinae e Nomioidinae sono molto rari in Europa (Pesenko et al., 2000): i primi, rappresentati da *Nomiapis*, sono distinguibili per le tegule prominenti e allungate verso la parte posteriore del mesosoma, mentre i secondi, di piccole dimensioni, sono riconoscibili per la colorazione gialla e nera (Michez et al., 2019). La sottofamiglia più importante, in termini di abbondanza e di diversità, è quella degli Halictinae, con ben 3000 specie in tutto il mondo (Danforth et al., 2019) e circa 300 in Europa (Michez et al., 2019): i generi più importanti sono *Halictus* e *Lasioglossum*, le cui femmine sono facilmente riconoscibili per la presenza della rima sull'ultimo tergite (Pesenko et al., 2000). Negli Halictinae è compreso il genere *Sphecodes*, i soli parassiti tra gli Halictidae europei.

Megachilidae

(Europa: 456 spp.)

Con ben 4210 specie (USGS, 2022), i Megachilidae sono la terza famiglia più ricca in specie tra gli Apoidei (Danforth et al., 2019). Le caratteristiche diagnostiche più semplici da osservare nei Megachilidae sono la scopa ventrale posta sugli sterniti del metasoma nelle femmine (Michez et al., 2019), due sole celle submarginali nelle ali anteriori ed il labrum più lungo che largo (Michener, 2007). Molto dell'ecologia dei Megachilidae è stato studiato per l'impollinazione delle coltivazioni (Sheffield et al., 2011), per cui si ha una buona conoscenza dei modi di vita di questa famiglia: alcune specie costruiscono nidi liberi, fuori da alcun substrato; altre specie scavano gallerie nel legno morto, mentre la maggioranza dei Megachilidae nidifica in cavità preesistenti (Danforth et al., 2019). La possibilità di sfruttare le cavità presenti nell'ambiente circostante, unita all'abitudine di rivestire le celle dei nidi con materiali esogeni, come foglie, fango, sabbia o detriti legnosi, ha permesso ai Megachilidae di colonizzare ambienti ostili come deserti e habitat xerici (Litman et al., 2011). In Europa sono presenti due sottofamiglie di Megachilidae: i Lithurginae e i Megachilinae (Michez et al., 2019). I Lithurginae europei sono rappresentati dalla tribù dei Lithurgini, apoidei scavatori del legno morto (Danforth et al., 2019): possiedono mandibole allungate e dentellate, inoltre la base del clipeo nelle femmine è ampia e spessa (Michez et al., 2019) proprio per scavare più agevolmente. Prevalgono le specie oligolettiche, con una netta predilezione per cardi e centauree (Asteraceae, Cardueae) ma anche per Malvaceae e Cactaceae (Danforth et al., 2019; Jr e Wyman, 2014). I Megachilinae europei includono ben cinque tribù con abitudini ecologiche diverse. Gli Osmiini sono circa 1200 specie, diffuse in tutto il mondo eccetto l'Antartide (Danforth et al., 2019). Si distinguono dagli Anthidiini perché privi di cuticola con chiazze gialle, dai Lithurgini per l'assenza della placca pigidiale, dai Megachilini per gli aroli tra le unghie delle

zampe (Michez et al., 2019). Molte specie usano cavità preesistenti per la nidificazione, come fusti cavi, fessure nelle rocce e fori negli alberi lasciati da insetti xilofagi. Esistono anche alcuni casi (es. *Hoplitis* (Michez et al., 2019)) in cui i nidi sono costruiti sul suolo o su superfici rocciose. Tra gli Osmiini, diversi sottogeneri sono famosi per la nidificazione nei nicchi vuoti di chioccioline. Molti Osmiini sono oligolettici, con una preferenza per Asteraceae, Fabaceae e Dipsacaceae (Müller, A., 2022); gli Anthidiini, con 932 specie (USGS, 2022), hanno spesso una colorazione striata di giallo e nero ed hanno una venatura alare peculiare. I maschi sono forniti di spine sull'apice del metasoma per difendere il proprio territorio (Michez et al., 2019). Questo gruppo monofiletico (Combey et al., 2010) include specie nidificanti in cavità con l'utilizzo di fibre vegetali, altre nei gusci vuoti delle chioccioline ed altre ancora su pareti rocciose o steli d'erba con fango o resina (Michez et al., 2019); i Megachilini, con ben 2048 specie, sono una tribù molto diversificata e compongono quasi la metà dei Megachilidi conosciuti (USGS, 2022; Michez et al., 2019). I Megachilini europei sono facilmente riconoscibili per l'assenza degli aroli tra le unghie (Michez et al., 2019). Nei Megachilini è incluso il genere *Megachile*, le cui specie sono conosciute anche con il nome di api tagliafoglie. L'unicità di queste specie è l'impiego di foglie per foderare l'interno dei propri nidi: tale comportamento è stato osservato solo in questo genere ed ha innescato l'evoluzione di mandibole atte al taglio delle foglie (Gonzalez e Gustafson, 2019; Michener, 2007). Tra i Megachilini non mancano i cleptoparassiti come *Coelioxys*, genere che attacca proprio altri Megachilini (Lu et al., 2021); i Dioxyini sono invece un piccolo gruppo di circa 36 specie di apoidei cleptoparassiti (Gonzalez e Gustafson, 2019).

Melittidae

(Europa: 39 spp.)

La famiglia dei Melittidae è distribuita nell'emisfero boreale e in Africa (Danforth et al., 2019), con un hotspot di diversità nell'Africa meridionale con ben 60 specie, mentre è assente in Australia e Sud America (Melin et al., 2019). È la più piccola delle famiglie presenti in Europa, con soli 3 generi: *Melitta*, *Macropis* e *Dasygaster* (Michez et al., 2019). Sono api a lingua corta e, pur non essendovi caratteri univoci comuni a tutte le sottofamiglie, secondo Michener (2007) i Melittidae si distinguono dalle altre famiglie per alcune caratteristiche dell'apparato boccale, tra cui la glossa corta e appuntita, e la coxa mediana allungata e ben visibile. Nel caso dei generi *Dasygaster* e *Macropis* sono evidenti le scopae sulle zampe posteriori nelle femmine. I Melittidae nidificano tutti in gallerie costruite nel terreno e, tra le specie europee (Michez et al., 2019). Sono in prevalenza specie oligolettiche con preferenze ben definite, ad esempio le specie del genere *Dasygaster* prediligono fiori attinomorfi tra Asteraceae, Cistaceae, Dipsacaceae e Malvaceae (Michez et al., 2004), mentre nel genere *Melitta* sono compresi molti specialisti di Fabaceae e piante meno comuni, come *Lythrum* o *Campanula* (Michez et al., 2019).



Figura 3.5: Famiglie di apoidei presenti in Europa; a) *Andrena bicolor* (Andrenidae); b) *Xylocopa violacea* (Apidae); c) *Colletes hederiae* (Colletidae); d) *Halictus* sp. (Halictidae); e) *Osmia bicornis* (Megachilidae); f) *Dasypoda hirtipes* (Melittidae); (b,d,e- originali; a,c,f- fonte: beewatching.it)

5. Conservazione e minacce

Le api selvatiche e le api da miele sono tra i maggiori impollinatori esistenti sul pianeta e la loro azione è essenziale per la stabilità degli ecosistemi. Michez (2019) individua tre motivi per cui gli apoidei hanno un valore inestimabile: innanzitutto la loro grande diversità, con oltre 20000 specie descritte; poi il loro ruolo ecologico, connesso alla riproduzione delle angiosperme, alla loro sopravvivenza e, indirettamente, a tutte le specie associate alle piante (quindi animali granivori, fitofagi, frugivori); infine l'impollinazione di gran parte delle specie di piante coltivate. Gli apoidei, e più in generale gli insetti impollinatori, stanno affrontando tuttavia un grave declino in termini di biomassa e biodiversità, seppur con ritmi diversi a seconda dell'area del pianeta considerata (in Vereecken et al., 2021 è ben spiegato questo concetto). Le evidenze di questo fenomeno che potrebbe provocare enormi danni agli ecosistemi sono state documentate in Europa Centrale e Gran Bretagna, Sud America, Sud Africa, Asia e Nord America (Ollerton, 2017). Le prime avvisaglie di questo declino sono state riscontrate sull'ape da miele (*Apis mellifera*), in quanto è l'insetto impollinatore di cui si hanno più dati a disposizione (Vereecken et al., 2021), e risalgono già ai primi anni del 2000, quando, a causa della cosiddetta CCD (Colony Collapse Disorder), vi furono ingenti perdite di individui, soprattutto api operaie, negli alveari (Danforth et al., 2019), infatti in Europa e in Nord America furono registrati tassi di mortalità degli alveari del 25% e del 59% (Goulson et al., 2015). L'ape da miele è minacciata da molti fattori che agiscono in sinergia ed esacerbano la mortalità della CCD, quali l'esposizione ad agenti chimici, patogeni e parassiti e risorse alimentari limitate (Goulson et al., 2015); l'ape da miele, soprattutto nel suo areale d'origine (ovvero gran parte di

Europa, Africa e Medio Oriente, parte della Penisola Arabica e dell'Asia Centrale), subisce inoltre una progressiva erosione genetica legata al rimescolamento di sottospecie diverse e alla diffusione di ibridi "commerciali", senza contare gli effetti sulle popolazioni selvatiche di *A. mellifera* (Fontana et al., 2018). All'infuori dell'ape da miele, tra gli impollinatori meglio studiati vi sono i bombi, importanti soprattutto in ambienti montani e steppici (Goulson et al., 2015), minacciati anch'essi con il 45% delle specie in declino (Nieto et al., 2014). Secondo una stima sul lungo termine, calcolata su oltre un milione di record di bombi in tutta Europa e per due lunghi periodi, fino al 2050 e fino al 2100, il tasso di specie altamente minacciate potrebbe salire al 36% e al 41% il tasso di specie minacciate, con perdite di areale tra il 50 e l'80% (Rasmont et al., 2015). Per le restanti specie di apoidei, il quadro conoscitivo sullo stato della conservazione è molto meno chiaro perché, pur essendovi studi su singole specie o comunità, non sono disponibili molti studi sul lungo periodo e su larga scala che abbiano controllato l'andamento delle popolazioni. Mancano inoltre dei sistemi standardizzati per monitorare gli apoidei al fine di avere dati precisi ed utilizzabili per adottare misure di conservazione efficaci (Vereecken et al., 2021). In questo senso, L'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN) ha valutato lo stato di conservazione delle specie di apoidei minacciate attraverso le Liste Rosse, pubblicando la Lista Rossa degli apoidei europei dove vengono elencati i taxa minacciati, gli andamenti dello stato di conservazione, le minacce e le possibili contromisure per prevenire il peggioramento della situazione (Nieto et al., 2014). A livello europeo, secondo le categorie IUCN (IUCN, 2022), su 1965 specie di apoidei selvatici vi sono 7 specie in pericolo critico, 46 specie in pericolo, 24 vulnerabili, 663 a rischio minimo ma ben 1101, quasi il 60% del totale, con dati insufficienti per poter determinare la classe di rischio. Più preoccupante è il tasso di specie (79%) di cui non si conosce la tendenza delle popolazioni (Nieto et al., 2014). A livello regionale, molti paesi europei hanno prodotto delle liste rosse ma ne mancano ancora per la Francia, il Portogallo, l'Austria e per i paesi Balcanici (Kratschmer et al., 2021). In Italia la Lista Rossa è stata redatta nel 2018 (Quaranta et al., 2018) ed ha conteggiato come specie a rischio di estinzione, o prossime ad esso, 34 specie, di cui 4 endemiche del nostro paese. La situazione sulla mancanza di dati è analoga a quella europea, con il 55% delle specie non valutabili. Per la totalità delle specie in Italia non sono disponibili dati quantitativi che permettano di stimare le tendenze demografiche dell'insieme delle popolazioni italiane (Quaranta et al., 2018). È interessante notare che se il quadro conoscitivo sulle popolazioni è incompleto per l'Europa e il Nord America, dove sono stati condotti la maggior parte degli studi sulla life history degli apoidei e dove esistono collezioni museali che permettono di ricostruire gli andamenti di popolazioni sul lungo termine (Danforth et al., 2019; Orr et al., 2022), in altre parti del mondo questi dati sono tuttora sconosciuti (Teichroew et al., 2017). Per ovviare all'incompletezza dei dati finora disponibili, sono nati diversi progetti e iniziative per analizzare lo stato delle popolazioni di apoidei sul lungo periodo come il BWARS (Bee, Wasps and Ant Recording Scheme) nel Regno Unito (bwars.com) e diversi progetti europei, come il concluso STEP project (Status and Trends in European Pollinators) e i più recenti SPRING (Strengthening Pollinator Recovery through Indicators and monitoring) e EUPoMS (European Union

Pollinator Monitoring Scheme), i quali hanno l'obiettivo di potenziare le conoscenze tassonomiche sugli impollinatori, anche attraverso la citizen science, monitorare le specie a rischio e definire uno schema unico per studiare lo stato delle specie impollinatrici (Commissione Europea, 2022).

Minacce

Il declino delle api selvatiche e delle api da miele è associato a molteplici cause legate, in modo diretto o indiretto, all'attività antropica (Michez et al., 2019). Allo stato attuale delle conoscenze, gli elementi principali che più incidono sullo stato delle comunità di apoidei sono l'uso del suolo e l'integrità degli habitat, l'utilizzo di agrofarmaci, il cambiamento climatico, patogeni e parassiti, l'azione di specie invasive vegetali e animali (Harmon-Threatt, 2020); Danforth et al., 2019; Goulson et al., 2015), Il ruolo e l'importanza dei singoli fattori può variare a seconda della regione di mondo considerata: ad esempio, l'uso del suolo ha una forte influenza sulle comunità di apoidei in Europa e Nord America, mentre in Africa, sia per ragioni socio-economiche che per ragioni scientifiche, ha minore rilevanza; al contrario l'impiego di agrofarmaci e sostanze simili ha un peso maggiore sugli ecosistemi e sugli apoidei più in Africa che in Europa (Dicks et al., 2020).

La perdita e la frammentazione degli habitat è il fenomeno che incide più di tutti sugli apoidei, perché ha ridotto gli spazi e le risorse dove le api possono nidificare o nutrirsi (Michez et al., 2019). Le risposte degli apoidei alla perdita di habitat non sono uguali per tutti per via della diversità ecologica e biologica delle specie (Danforth et al., 2019). I fenomeni più rilevanti che contribuiscono a modificare gli habitat sono senza dubbio l'urbanizzazione e l'agricoltura.

L'urbanizzazione è uno degli aspetti più critici riguardanti il consumo di suolo e di habitat. Una delle cause principali che innescano lo sviluppo delle superfici urbane è la crescita esponenziale della popolazione mondiale. Il 15 novembre 2022 la popolazione globale è giunta a 8 miliardi di persone e nel 2050 è previsto che il 68% delle persone sul pianeta abiterà in città (Nazioni Unite, 2018; 2022). È inevitabile che questa crescita, con il conseguente flusso migratorio dalle campagne alle città, porterà all'estensione degli agglomerati urbani, ma da sola la crescita demografica non è determinante nell'espansione delle superfici artificiali perché sono anche le infrastrutture destinate allo spostamento di persone e merci a consumare altro suolo (Camerini, 2018). A riprova di questo fatto, fenomeni come l'*urban sprawl*² sono in aumento anche in aree dove vi è un forte calo demografico, come avviene in Europa (EEA, 2016). Il consumo di suolo dovuto all'urbanizzazione non si arresta, bensì diventa sempre più pervasivo e si rafforza, basti pensare che in Italia la copertura artificiale di suolo è arrivata al 7,13%, con altri 69 km² di suolo impermeabilizzato nell'ultimo anno, con un netto incremento negli ultimi 15 anni (Munafò et al., 2022). Il danno arrecato dall'urbanizzazione agli apoidei è relativo soprattutto all'indisponibilità di habitat per la nidificazione e per il rifornimento di cibo, soprattutto per le specie nidificanti al suolo (Harmon-

² L'*urban sprawl* è inteso come allargamento del tessuto urbano che interessa le aree limitrofe delle città, con porzioni di suolo edificate in una matrice di terreni incolti o agricoli (EEA, 2016).

Threatt, 2020). Riguardo la biodiversità la questione è ben più complessa perché vi sono delle effettive variazioni in relazione al contesto. Solitamente le specie favorite dall'urbanizzazione sono comuni e generaliste, spesso anche alloctone (Danforth et al., 2019). In uno studio di Polidori e Ferrari (2022), che ha considerato le caratteristiche delle città e gli aspetti ecologici delle api, è stato evidenziato che le grandi città ospitano alcune specie parassite e specie oligolettiche, soprattutto gli *above ground nesters*, mentre in città con aree verdi molto frammentate sono molto più frequenti specie sociali e di grandi dimensioni a scapito delle le specie oligolettiche. Molte specie che nidificano in cavità, come *Osmia bicornis* (Zajdel et al., 2021) o la invasiva *Megachile sculpturalis*, hanno un'ottima capacità di adattamento e in contesti urbani possono trovare una maggior disponibilità di siti per la nidificazione (Danforth et al., 2019). Le specie che più soffrono l'urbanizzazione sono gli specialisti, i quali riescono a sopravvivere quando permangono le piante ospiti in giardini o aree limitrofe alle zone urbane (Danforth et al., 2019). Oltre alle limitazioni di risorse trofiche e alla scarsità di siti per nidificare, nei contesti urbani le api devono confrontarsi anche con agenti altrettanto pericolosi per la loro sopravvivenza, come la contaminazione da metalli pesanti, le isole di calore e la presenza di pesticidi (Wenzel et al., 2022; Harmon-Threatt, 2020).

L'agricoltura è un settore che dipende dalla presenza degli impollinatori. In molte colture l'impollinazione delle piante coltivate è mediata dagli apoidei e l'impoverimento della loro diversità e della loro abbondanza incide molto sulla produzione, come osservato nelle coltivazioni di mele e caffè (Ollerton, 2017). L'impatto dell'agricoltura si registra maggiormente in termini di diversità biologica perché il terreno agricolo costituisce un ambiente disturbato affinché si possano instaurare comunità di apoidei complesse (Danforth et al., 2019). In generale gli agroecosistemi sono molto più semplificati rispetto agli ecosistemi naturali (Sommaggio e Paoletti, 2018) pertanto l'apidofauna attesa non sarà molto diversificata (Kleijn et al., 2015) e verranno favorite specie con determinate caratteristiche ecologiche. Per esempio nelle coltivazioni annuali, la lavorazione continua del terreno influisce negativamente sulla presenza di specie di api nidificanti nel terreno più superficiale, mentre la rotazione delle colture può favorire alcuni apoidei a discapito di altri, a seconda della specie vegetale che viene coltivata. Anche l'effetto margine³ incide sull'abbondanza e la diversità delle api selvatiche (Danforth et al., 2019). Le coltivazioni perenni, come nel caso dei frutteti, in linea teorica sono adatte per sostenere un'ampia diversità biologica ma in realtà dipende dalla coltura: nel caso del mandorlo (Saunders e Luck, 2013; Mandelik e Roll, 2009) data la fioritura precoce, sono poche le specie di apoidei selvatici a visitare i fiori, a differenza dell'ape da miele che viene gestita e quindi può foraggiare sui mandorli. Un problema enorme dei frutteti è associato alla loro gestione, per via dell'uso smodato di pesticidi per tenere sotto controllo sia i parassiti delle colture che eventuali erbe spontanee che crescono nei dintorni.

³ Effetto margine: fenomeno per cui la diversità biologica è elevata nelle zone contigue tra due aree con comunità vegetali diverse (Smith e Smith, 2017).

Un possibile modo per incrementare la diversità degli apoidei in un contesto agricolo è l'insediamento di siepi e *flower strips*, specialmente in terreni a vocazione monocolturale, così da fornire alle api più risorse vegetali, portando benefici alla resa della coltivazione, alla ricchezza di specie e alla loro longevità (Kati et al., 2021). Tuttavia, siepi e incolti a confine con monoculture o altre coltivazioni pesantemente trattate con agrofarmaci e derivati, come emerge da alcuni studi (Ward et al., 2022; Long e Krupke, 2016), possono costituire una trappola per le specie presenti nell'area. Ovviamente non è la siepe o la fascia di terreno incolto in sé a minacciare le api, bensì l'impiego intensivo di agrofarmaci e prodotti associati. Questi composti sono direttamente coinvolti nel declino delle popolazioni e costituiscono un pericolo da non sottovalutare per gli apoidei. Anche in questo caso gli studi ecotossicologici sugli effetti dei pesticidi hanno principalmente preso in considerazione *Apis mellifera* come bioindicatore, perché risponde ad una serie di esigenze sperimentali e permette di verificare in modo efficace l'esposizione a pesticidi o metalli pesanti, sia direttamente che attraverso le analisi melissopalinoologiche (Sommaggio e Paoletti, 2018). Sono invece molto meno comuni gli studi ecotossicologici sugli apoidei selvatici solitari. Gli effetti letali delle sostanze utilizzate sono ben conosciuti e studiati per l'ape da miele (non a caso le LD50⁴ sono calcolate su di esse (Danforth et al., 2019)), mentre gli apoidei selvatici hanno risposte differenti agli stessi principi attivi letali per le api da miele, evidenziando la mancanza di conoscenze delle interazioni tra pesticidi e apoidei selvatici (Arena and Sgolastra, 2014). Sembrerebbe inoltre che anche la tipologia di prodotto determina l'intensità dell'interazione negativa, come dimostrato con un confronto tra fungicidi e insetticidi (Park et al., 2015). Per gli apoidei selvatici, gli effetti subletali, ovvero alteranti la fitness, l'aspettativa di vita, la fisiologia e il comportamento dell'ape, sono conosciuti ad esempio per i neonicotinoidi (Kumar et al., 2022; Jin et al., 2015) ai quali è inoltre associata una forte deviazione della sex ratio in situazioni sperimentali (vedi Strobl et al., 2019) e per i derivati degli acidi tetramici (Sgolastra et al., 2015). Agrofarmaci ed altri prodotti usati in agricoltura sono dannosi sia in contesti prettamente agricoli ma anche in contesti urbani e periurbani (Wenzel et al., 2022; Danforth et al., 2019).

Anche l'introduzione di specie di api alloctone può essere una seria minaccia per gli apoidei perché, in caso diventassero invasive, entrerebbero in competizione con essi, grazie ad elevati tassi riproduttivi e ottime capacità di adattamento che si traducono in una rapida espansione del proprio areale (Polidori e Sánchez-Fernández, 2020). Molte specie sono state importate accidentalmente e sono quasi tutte appartenenti alla famiglia dei Megachilidae e degli Apidae, come *Osmia cornifrons*, *Megachile rotundata*, *Apis mellifera* e *Bombus terrestris* (Russo, 2016). La conflittualità tra specie invasive e native avviene a livello di risorse trofiche e a livello di siti di nidificazione. Nella prima situazione, se le piante ospiti sono le stesse, è probabile che le specie di api native vengano danneggiate dall'attività delle specie invasive: in questo senso, molti studi, soprattutto su suolo statunitense, si sono concentrati su *Apis mellifera*, notando che questa specie, introdotta per scopi

⁴ LD50: dose letale minima per la quale, in condizioni sperimentali, gli individui di una popolazione campione muoiono (Danforth et al., 2019).

produttivi e commerciali, ha un impatto negativo sugli apoidei locali ma, come fatto notare da Paine *et al.*, (2005), molti di questi studi non hanno svolto abbastanza repliche dell'esperimento per individuare una vera significatività dell'impatto. Si ipotizza quindi che vi possa essere una ripartizione delle risorse trofiche tra *A. mellifera* e le specie native (vedi Danforth *et al.*, 2019). Nel caso della competizione per i siti di nidificazione, si sa ancora troppo poco. La specie alloctona invasiva più studiata in questo ambito è *Megachile sculpturalis*, specie nativa dell'Asia, ormai frequente in molte aree del Nord America e d'Europa (Polidori e Sánchez-Fernández, 2020) e presente anche in Italia (Quaranta *et al.*, 2014). Questa grossa ape nidifica in cavità ed è particolarmente aggressiva nei confronti di altre api che nidificano negli stessi siti (Parys *et al.*, 2015). Desto preoccupazione perché è fortemente competitiva e soprattutto riesce a diffondersi molto rapidamente (Polidori e Sánchez-Fernández, 2020), provocando con buona probabilità un impatto a lungo termine sulle specie native (Danforth *et al.*, 2019). I danni derivati dalla competizione tra specie autoctone ed alloctone invasive possono essere pesanti soprattutto nelle isole ricche di endemiti stretti, come studiato nelle Hawaii (Plentovich *et al.*, 2021). L'introduzione di specie alloctone è spesso associata alla diffusione di patogeni tra gli apoidei selvatici. Batteri, virus e funghi possono causare gravi perdite alle popolazioni, ma gli studi a riguardo non sono molti. Prendendo come modello gli apoidei selvatici, si hanno molte più conoscenze sui miceti rispetto a virus e batteri, più studiati sulle api da miele e sui bombi (Harmon-Threatt, 2020). Lo spillover⁵ di patogeni è un aspetto da non sottovalutare nella conservazione degli apoidei perché può causare seri danni. Spesso sono coinvolte specie sociali, ad esempio nel caso del SBV (Sac- Brood Virus), trasmesso da *Apis mellifera* a *Megachile sculpturalis*, o nel caso di *Varroa destructor* o *Nosema ceranae*, che da *Apis cerana* si sono trasferiti su *Apis mellifera* (Cilia *et al.*, 2022; Danforth *et al.*, 2019) ma lo spillover può interessare anche specie solitarie, come nel caso di *Osmia cornifrons* e *Osmia lignaria* negli Stati Uniti (vedi Hedtke *et al.*, 2015). L'ape da miele, suo malgrado, è diventata una specie reservoir e negli ultimi anni i casi di spillover a spese di altre specie di api e artropodi sono cresciuti, a causa soprattutto dell'azione umana e della globalizzazione. Per approfondire si rimanda alla revisione di Nanetti *et al.* (2021).

Nonostante vi siano pochi casi in cui le piante alloctone invasive costituiscono una risorsa per alcuni specialisti in contesti urbani particolarmente disturbati, la maggior parte delle volte vi è competizione tra le specie invasive e le specie autoctone, arrecando un potenziale danno agli apoidei oligolettici o specialisti associati alle specie native (Michez *et al.*, 2019). I vegetali alloctoni inoltre possono usufruire dell'impollinazione da parte di specie di apoidei alloctone (Danforth *et al.*, 2019).

Il fattore più pericoloso per la biodiversità degli apoidei e dei viventi tutti è il cambiamento climatico perché agisce a livello globale e può accentuare l'impatto dei fattori descritti in precedenza, basti pensare alle possibili interazioni tra ondate di calore e zone urbane. Lo stato attuale delle conoscenze degli effetti diretti del

⁵ Con spillover si intende la trasmissione interspecifica di un patogeno da un organismo ospite, definito "reservoir", ad un ospite casuale (Nanetti *et al.*, 2021)

cambiamento climatico è abbastanza limitato (Harmon-Threatt, 2020; Danforth et al., 2019), ma sono stati confermati sui bombi (Rasmont et al., 2015) che subiscono la rarefazione dei propri habitat e la contrazione significativa dei propri areali di distribuzione, oltre ad un declino numerico delle popolazioni a causa delle ondate di calore e delle temperature estreme (Martinet et al., 2021). Un aspetto preoccupante, ma ancora poco studiato (Danforth et al., 2019), è l'interferenza tra attività degli apoidei e fioritura delle piante ospiti, che potrebbe alterare i rapporti tra piante e api ma anche tra api e parassitoidi (Kehrberger, 2021). Le possibili conseguenze del cambiamento climatico sulla nidificazione sono state studiate su specie nidificanti in cavità, con un aumento significativo della mortalità ed alterazioni in termini di dimensioni a causa di temperature più alte nel periodo di svernamento, così come in apoidei nidificanti a terra allevati in laboratorio: questi ultimi, seppur ritenuti più resistenti a situazioni estreme, in condizioni naturali potrebbero soffrire a causa dell'aumento generale delle temperature e del periodo di copertura del suolo da parte delle nevi (Harmon-Threatt, 2020).

6. Metodi di monitoraggio e campionamento per gli Apoidei

A differenza di altri taxa utilizzati come bioindicatori, per gli apoidei non è possibile individuare una tecnica univoca impiegata nel campionamento, infatti i dati, se raccolti con tecniche differenti, rendono i risultati degli studi non direttamente confrontabili tra loro (Sommaggio & Paoletti, 2018). Per questa ragione è necessario adottare più tecniche che possano compensare a vicenda i propri limiti, considerando anche aspetti più pratici come la facilità di installazione, la manutenzione e l'applicabilità di metodi standard (Hudson et al., 2020). A seconda degli scopi prefissati, per il campionamento e per il monitoraggio degli apoidei possono essere adoperate tecniche attive, che prevedono la ricerca degli esemplari da parte dell'operatore, o passive, dove è lo strumento installato sul campo a svolgere il campionamento e non necessita della presenza fisica dell'operatore. Tra le tecniche attive vi sono la ricerca con il retino entomologico e aspiratore (Michez et al., 2019), mentre tra le principali tecniche passive vengono incluse la trappola Malaise, le trappole a emergenza e le pan trap (Packer e Darla-West, 2021; Sommaggio e Paoletti, 2018) (tab. 3.2). Per lo studio dell'organizzazione e costruzione dei nidi, nonché della bionomia e della socialità degli apoidei, vengono utilizzati dei nidi artificiali che permettono l'osservazione e il controllo delle loro attività. Se l'intenzione è quella di studiare apoidei che nidificano sotto il livello del suolo, la costruzione di un nido artificiale è più difficoltosa ma di solito è possibile assemblare scatole chiuse riempite con un substrato adatto all'escavazione, di solito terra o argilla, che possano fungere da sito per la nidificazione (Leonard e Harmon-Threatt, 2019), mentre per studiare l'ecologia di altri apoidei non nidificanti al suolo, specialmente per quanto riguarda i cosiddetti *cavity renters*, possono essere usate le *nest traps*: questo metodo di monitoraggio degli apoidei, già impiegato da molto tempo per indagini di tipo ecologico (vedi Tschardt et al., 1998), permette di osservare in modo agevole sia le specie nidificanti in una data zona, sia le

biocenosi ad esse associate (Staab et al., 2018). Nel lavoro svolto durante il tirocinio, le cannuce del bee hotel sono state impiegate come *nest traps* dove gli apoidei hanno potuto costruire il proprio nido.

Metodi di monitoraggio e campionamento

L'osservazione diretta è il metodo più semplice per lo studio degli imenotteri e può essere applicata su transetti o su aree definite. Nelle osservazioni su transetti, l'operatore ispeziona periodicamente un percorso definito dove provvederà a raccogliere ed osservare tutte le specie presenti lungo il tracciato; nell'osservazione in aree definite invece l'operatore svolge il rilevamento rimanendo per un certo lasso di tempo a censire tutti gli apoidei all'interno della zona, la quale ha dimensioni prestabilite (Sommaggio e Paoletti, 2018). Nelle osservazioni dirette non si usano trappole, ma una serie di strumenti che aiutano nella raccolta dei campioni e dei dati. Tra i più utilizzati vi sono il retino entomologico, il retino da sfalcio e l'aspiratore, quest'ultimo molto utile per raccogliere gli insetti più piccoli e per organismi che vivono su substrati poco accessibili o tra le foglie (Zangheri, 2001). Nel caso degli imenotteri, l'aspiratore si rivela fondamentale per poter catturare le specie più minute sulle piante o all'interno del retino entomologico. L'aspiratore può avere diversi aspetti, ma il principio di funzionamento è sempre uguale. Questo strumento è spesso costituito da un contenitore il cui coperchio è forato e attraversato da due tubi, di cui uno, quello dal quale l'operatore aspira, ha l'estremità interna al contenitore coperta da una reticella fine per evitare che l'organismo catturato possa risalire il tubo aspirante. L'aspiratore può essere utilizzato anche in abbinamento con un ombrello entomologico (Michez et al., 2019). I vantaggi delle osservazioni dirette sono connessi al basso costo e alla facilità di applicazione (Sommaggio e Paoletti, 2018), anche se vi sono diversi fattori che possono incidere sull'efficacia del metodo, come il momento della giornata in cui si svolge il campionamento, la velocità di volo delle specie (i volatori più rapidi vengono sottostimati perché sfuggono più facilmente), lo sforzo di campionamento e l'esperienza stessa degli operatori, fino alla vegetazione, che in alcuni casi, in presenza di rovi o di cespugli molto fitti, rende difficoltoso l'uso del retino che può impigliarsi o addirittura rompersi (Packer e Darla-West, 2021).

Le pan trap vengono impiegate spesso nello studio degli insetti impollinatori: sono molto semplici da realizzare perché non sono altro che contenitori colorati dove varie specie di insetti andranno a precipitare perché attratti dai colori simili a quelli dei fiori (Sommaggio e Paoletti, 2018). All'interno di queste trappole viene messa della colla o acqua con sapone, per rompere la tensione superficiale, e possono essere posizionate a diverse altezze, ad esempio a livello del suolo o della vegetazione erbacea (Michez et al., 2019) L'efficacia della trappola aumenta in ambienti aperti, come prati e radure, mentre non è particolarmente adatto posizionare i contenitori sotto la copertura arborea (Prado et al., 2017). Tra tutti i parametri che possono modificare l'efficienza della pan trap, come forma, profondità, diametro, presenza di sostanze conservanti, il colore è il fattore che più di tutti può influenzare l'efficacia della stessa perché gli insetti hanno una diversa percezione cromatica, pertanto possono essere intercettati da differenti lunghezze

d'onda e questo può essere determinante nella stima della diversità specifica nell'area: ad esempio, bombi e api da miele hanno una vista tricromatica, con recettori per l'ultravioletto, il blu e le tonalità tra verde e giallo (Dyer et al., 2011), per cui risulteranno sensibili in particolare a trappole di questi colori; sembrerebbe che vi siano delle differenze nella percezione cromatica tra maschi e femmine di specie oligolettiche, legate verosimilmente alle diverse strategie di raccolta del cibo (Heneberg e Bogusch, 2014). Il giallo è considerato il miglior colore attrattivo per gli insetti in generale (Buffington et al., 2021) e per molti imenotteri aculeati (Heneberg e Bogusch, 2014), mentre, per gli altri colori impiegati di solito, i dati sulle preferenze delle varie famiglie sono contrastanti: per esempio il bianco, altro colore molto comune per questo tipo di trappola, ha una buona capacità attrattiva per molte specie di ditteri (Sommaggio e Paoletti, 2018) ma per gli imenotteri aculeati ha degli effetti diversi: nello studio di Sircom et al. (2018) in alcuni ambienti, come nelle radure forestali, è stato osservato come le trappole bianche tendono ad attrarre soprattutto api eusociali, come *Bombus* spp. e *Apis* spp., e meno le api solitarie, mentre in letteratura viene riportato il blu come colore prediletto dai bombi. Il blu tende ad essere attrattivo anche per gli Halictidae (Sircom et al., 2018). I colori meno utilizzati sono il rosso, l'arancione e il rosa (Heneberg and Bogusch, 2014), nonostante vi siano casi in cui l'uso di questi colori ha portato alla cattura di alcune specie particolari perché legate a fiori dello stesso colore (Packer e Darla-West, 2021). La fluorescenza della vernice con cui vengono trattate le pan trap può avere un ruolo importante nell'attrazione degli insetti target, in uno studio recente condotto in Australia (Shrestha et al., 2019) è stata riscontrata una maggior frequenza di cattura di coleotteri e lepidotteri in trappole con vernici fluorescenti, mentre gli imenotteri non sembrano essere influenzati dalla diversa tipologia di vernice, sebbene sia stata osservata una maggiore frequenza di catture su trappole bianche e blu fluorescenti di bombi e Halictidae (Sircom et al., 2018). I vantaggi delle pan trap sono la facilità d'installazione e il basso costo di manutenzione, quindi è possibile ottenere un'elevata replicabilità in siti diversi (Sommaggio e Paoletti, 2018), inoltre avere una gamma ampia di colori può incrementare lo sforzo di campionamento ai fini di avere una stima della diversità biologica il più completa possibile (Shrestha et al., 2019) ed è per questo che vengono applicate trappole gialle, bianche e blu. Le pan trap permettono di campionare anche specie difficilmente contattabili, come le specie cleptoparassite (Michez et al., 2019). Gli svantaggi principali di questa metodologia sono la possibilità di attrarre insetti molto mobili alla ricerca di cibo provenienti da siti estranei all'area di studio (Sommaggio e Paoletti, 2018) e la selettività delle trappole che può deviare i dati ottenibili causando sovrastime di alcune specie rispetto ad altre: in particolare si nota una sovrabbondanza di specie di piccole dimensioni a discapito di specie più grandi, come *Bombus*, *Apis*, *Megachile*, (Prado et al., 2017), come confermato da alcuni studi condotti su comunità di apoidei (Hudson et al., 2020; Toler et al., 2005).

La trappola Malaise è uno dei principali metodi con cui vengono campionati in generale gli imenotteri e sfrutta la tendenza di molti insetti volatori a muoversi verso l'alto una volta intercettato un ostacolo (Sommaggio e Paoletti, 2018). La trappola è costituita da una struttura simile ad una tenda con i lati aperti e un telo centrale.

Gli insetti che entrano all'interno si muovono sul telo centrale e si dirigono verso un punto elevato, ed è proprio per questo motivo alla sommità della trappola viene posizionato un barattolo dove verranno raccolti gli insetti (Sommaggio e Paoletti, 2018). Al suo interno possono essere contenuti agenti conservanti sia secchi, come naftalene o strisce con insetticida, che liquidi, come alcool etilico o glicole propilenico (Skvarla et al., 2020). Questo metodo viene spesso utilizzato sia per monitorare la diversità specifica degli imenotteri in generale ma anche per studiare dei taxa specifici, come Braconidae, Ichneumonidae e Vespidae (Skvarla et al., 2020). Il grande vantaggio dato dalle trappole Malaise è quello di raccogliere un gran numero di esemplari, quindi di fornire una mole importante di dati analizzabili, inoltre non ha bisogno di molte operazioni di manutenzione una volta installata, pertanto è possibile usarla in una grande varietà di habitat, specialmente dove la vegetazione è molto fitta o in luoghi poco accessibili (Packer and Darla-West, 2021). Gli svantaggi associati a questo metodo sono legati soprattutto ai costi in termini di tempo e fondi: la trappola ha infatti un costo più elevato perché è uno strumento abbastanza complesso, inoltre le grandi quantità di materiale raccolto necessitano di molto tempo per lo smistamento e la preparazione, per cui mantenere attive molte trappole, come sarebbe auspicabile in un campionamento per ottenere una buona copertura sulle specie presenti nell'area, avrebbe un costo non indifferente e porterebbe soprattutto ad un'enorme quantità di campioni da analizzare (Packer e Darla-West, 2021). A questo aspetto negativo si aggiunge il fatto che la posizione della trappola, a partire dall'orientamento nello spazio fino all'altezza alla quale viene montata, può influire pesantemente sull'efficacia del metodo. Ciononostante, alle nostre latitudini la trappola Malaise rimane senza ombra di dubbio uno degli strumenti più validi allo stato attuale per il campionamento di artropodi volatori. Per studi in aree localizzate, quando bisogna ottenere invece informazioni dettagliate di una zona limitata, è più agevole impiegare le trappole ad emergenza, le quali sono più piccole e coprono un'area più ridotta e circoscritta rispetto alle trappole Malaise (Sommaggio e Paoletti, 2018). Questa tipologia di trappola ricorda una tenda conica, costruita in rete a maglia fine, che viene fissata al terreno e permette di raccogliere tutti gli insetti dell'area che, volando dall'area coperta, finiscono in un contenitore posto in cima alla trappola. Anche in questo caso vale lo stesso discorso delle trappole Malaise: se da un lato questo metodo permette di avere delle ottime stime assolute, dall'altro è abbastanza costoso e comporta un notevole investimento in termini di tempo per ottenere un numero di repliche sufficiente (Arpaia, 2013).

Metodo	Selettività	Costo	Gestione e manutenzione	Smistamento
Osservazione con retino	Sì	Basso	Elevato	Basso
Trappola Malaise	No	Elevato	Basso	Elevato
Nest Trap	Sì	Basso	Medio	Medio
Emergency trap	No	Elevato	Medio	Medio
Pan trap	Sì	Basso	Medio	Medio

Tabella 3.2: Tabella riassuntiva con un confronto tra i vari metodi di monitoraggio applicabili per lo studio degli apoidei impollinatori (adattata da Sommaggio e Paoletti, 2018).

Le nest traps sono dei nidi artificiali, posti nelle prossimità dei siti prescelti, contenenti una serie di tubicini di vari diametri dove le specie di api e vespe presenti nella zona andranno a costruire i propri nidi. La trappola viene lasciata attiva per tutta la stagione, indicativamente da aprile ad ottobre, dopodiché i nidi appena costruiti vengono portati in laboratorio per le osservazioni e, una volta sistemati e mantenuti ad una temperatura costante di circa 4°C, vengono fatti sfarfallare (Sommaggio e Paoletti, 2018). Le cavità adatte alla nidificazione vengono ricavate molto spesso a partire da materiali vegetali cavi o con l'interno morbido, come gli steli di bambù, di *Reynoutria japonica* (MacIvor, 2017) cannuccia di palude, sambuco o rovo, ma anche tubi in cartone (Packer e Darla-West, 2021), pannelli di legno (Eeraerts et al., 2022) o tronchi veri e propri che vengono forati. Molto più raramente vengono adoperati tubi in vetro, molto fragili ma che permettono di osservare l'interno del nido senza dover rompere o tagliare il tubo, oppure in plastica, che hanno però una scarsa traspirabilità con conseguenti tassi di mortalità elevati (MacIvor, 2017). Un aspetto molto importante e non trascurabile nella costruzione delle nest trap è il diametro dei tubi: è noto infatti che le api selezionano cavità per la nidificazione secondo la compatibilità tra dimensioni corporee e diametro in modo che le celle di covata siano il più possibile adese alla superficie interna della cavità, per impedire l'ingresso di parassiti al suo interno (MacIvor, 2017), inoltre il diametro ha una notevole influenza sulla sex ratio nelle specie con uno spiccato dimorfismo sessuale: le femmine infatti tendono a deporre le nidiate di maschi in cavità più strette (Seidelmann et al., 2016). Il fattore diametro può essere però sfruttato sia per selezionare un particolare gruppo di specie di una certa dimensione, costruendo le trappole "su misura" (Prendergast et al., 2020), ma anche per modificare la sex ratio, pratica che avviene in contesti agricoli per favorire l'impollinazione entomofila (Seidelmann et al., 2016). Le nest traps vengono integrate nei cosiddetti *bee hotel*, di cui si tratterà più approfonditamente nel prossimo paragrafo. I vantaggi legati all'impiego di queste trappole sono numerosi: in primo luogo, non è una tecnica costosa (Sommaggio e Paoletti, 2018), può campionare per lunghi periodi di tempo (Prendergast et al., 2020) e permette di studiare le comunità di apoidei a diverse scale, fino al livello di paesaggio, e di osservare in modo diretto interazioni trofiche multiple, come ad esempio le relazioni tra ospiti e parassiti (Staab et al., 2018), i tassi di natalità, mortalità e parassitismo delle popolazioni, nonché i comportamenti delle femmine che costruiscono il nido. È altresì possibile conoscere quali piante sono state frequentate dalle api analizzando le masse polliniche all'interno delle celle di covata (Packer e Darla-West, 2021). Il più grande svantaggio delle nest traps è il limite "ecologico" di specie che possono essere campionate, perché ospitano solo specie nidificanti in cavità e vengono pertanto escluse tutte le specie che nidificano al suolo, le quali costituiscono una frazione importante del popolamento di apoidei in molte regioni (Sommaggio e Paoletti, 2018). Un altro svantaggio delle nest traps è che richiedono un buon quantitativo di tempo per costruire e monitorare le trappole (Prendergast et al., 2020) Un altro problema che potrebbe insorgere con l'uso di nest traps è la presenza eventuale di specie alloctone che nidificano nella trappola, che però può essere sfruttato per studiare proprio queste specie, come è stato fatto ad esempio in Francia con l'ape alloctona *Megachile sculpturalis* (Geslin et al., 2020).

7. I bee hotel

I bee hotel, conosciuti anche con il nome di bug hotel o insect hotel, non sono altro che delle strutture ospitanti diversi substrati per la nidificazione degli apoidei, in particolare le specie che nidificano in cavità preesistenti, ma anche insetti differenti dagli apoidei, tra cui molte vespe solitarie. Da un punto di vista metodico, un bee hotel può essere considerato analogo delle nest trap, ma può anche essere utilizzato in campo didattico per sensibilizzare i bambini e i ragazzi sulla tematica della tutela della biodiversità e degli impollinatori (Monterastelli, 2015). La configurazione di un bee hotel può variare a seconda degli scopi per cui viene costruito (MacIvor, 2017), infatti vengono adoperate molte tipologie di materiali, sia naturali che artificiali. Per produrre i nidi vengono utilizzati di frequente steli di bambù, cannuccia di palude (*Phragmites australis*) o canna dolce (*Arundo donax*) perché sono materiali economici e facilmente reperibili (Staab et al., 2018). Come nelle nest traps, i bee hotel possono avere anche pannelli di legno scanalati (Eeraerts et al., 2022) o tronchi forati (fig. 3.6). Per fornire riparo anche ad altri insetti non imenotteri, vengono inclusi anche settori con mattoni forati, pigne e foglie (González-Zamora et al., 2021). È bene applicare all'esterno una reticella metallica per proteggere i nidi da eventuali predatori come uccelli o roditori (Staab et al., 2018). Tra i fattori che influenzano l'efficacia del bee hotel, oltre a quelli citati in precedenza per le nest traps, il diametro, l'altezza da terra e la lunghezza dei nidi artificiali sono determinanti (Staab et al., 2018). In generale i tubi, siano canne o in tronchi forati, devono essere lunghi almeno 15-20 cm, non devono essere trattati con vernici o collanti ed i fori devono essere lisci, privi di schegge per evitare danni agli adulti che transitano nei nidi. Il diametro dei nidi deve essere il più vario possibile, con un intervallo tra gli 0,2-0,4 cm e i 2 cm, così da consentire la nidificazione a specie di dimensioni diverse. Il bee hotel deve inoltre presentare fessure o scanalature che permettano la fuoriuscita dell'acqua piovana per evitare ristagni che favorirebbero l'insorgenza di muffe, quasi sempre letali per le covate. La struttura dev'essere rivolta verso sud-sudest per garantire una buona insolazione (Ferrazzi et al., 2022; Staab et al., 2018). È indicato anche non posizionare troppi bee hotel vicini per non indurre la predazione da parte di uccelli e per evitare concentrazioni eccessive di esemplari. È necessario fare attenzione a questi aspetti, specie quando si tratta di bee hotel venduti a scopi didattici o per giardini privati perché molti dei bee hotel messi in commercio non sono adatti alla nidificazione oppure, vista l'organizzazione non eccellente, possono fungere da ricettacolo per la diffusione di malattie virali, batteriche o micotiche, oltre a diventare dei veri e propri "allevamenti" di parassiti e parassitoidi che approfittano della grande concentrazione di specie ospiti per poter proliferare (Ferrazzi et al., 2022). Oltre a tutto questo, un problema correlato ai bee hotel è quello di favorire specie alloctone a discapito delle specie native. In uno studio (MacIvor e Packer, 2015) sono stati installati 200 bee hotel nei dintorni di Toronto, Canada, ed è stato osservato che le specie di apoidei alloctoni rappresentavano il 47,1% degli apoidei raccolti durante i campionamenti. Altri studi hanno impiegato proprio i bee hotel come strumenti per tenere sotto controllo le dinamiche di popolazione di alcune specie alloctone, come avvenuto con *Megachile sculpturalis* (Geslin et al., 2020; Quaranta et al.,

2014). Se da un lato i bee hotel possono essere visti come potenzialmente dannosi per la biodiversità e per l'equilibrio degli ecosistemi, dall'altro possono essere molto utili nel fornire un rifugio e dei siti di nidificazione per gli apoidei (Michez et al., 2019), oltre ad essere degli strumenti affidabili per lo studio di molteplici aspetti ecologici e bionomici di apoidei e faune associate (Orr et al., 2022). I bee hotel sono infatti impiegati da tempo per studi biologici ed ecologici. I primi esempi sono datati agli anni '50 in ambito agrario e tuttora sono impiegati per aumentare il tasso di impollinazione negli agroecosistemi (MacIvor, 2017). Negli ultimi anni sono sempre più usati anche nel giardinaggio urbano e nell'educazione ambientale (MacIvor e Packer, 2015). Studi sulla diversità specifica e sulle popolazioni naturali vengono spesso effettuati proprio con i bee hotel, con annesse analisi sulle preferenze dei materiali e delle piante visitate (González-Zamora et al., 2021; Tschardt et al., 1998). I bee hotel vengono di frequente utilizzati per lo studio delle relazioni trofiche tra specie nidificanti e parassitoidi, sia a livello di biocenosi (Krunić et al., 2005; Tschardt et al., 1998) che a livello di singole specie di parassiti (Felicoli et al., 2017; Zajdel et al., 2016). Altra branca degli studi svolti con questa tecnica è la valutazione dei fattori impattanti sulle popolazioni di api solitarie, come gli effetti dei cambiamenti a scala di habitat e di paesaggio, così come l'impatto della frammentazione degli habitat (MacIvor, 2017). Altro modo di impiegare i bee hotel per studi scientifici è quello di ottenere esemplari per studi sperimentali, specialmente per analisi tossicologiche (Alston et al., 2007), studi sulla fisiologia e sullo sviluppo, come l'orientamento delle larve e l'effetto della temperatura sulla progenie (Ostap-Chec et al., 2021; Kierat et al., 2017). Per approfondire la varietà delle applicazioni dei bee hotel in campo ecologico si rimanda a Orr et al., 2022, Staab et al., 2018, MacIvor, 2017.



Figura 3.6: Alcuni dei moduli nel bee hotel del Beediversity Park di Montebello di Bertona. I materiali all'interno sono di vario genere: vi sono mattoni, tronchi forati e canne tagliate. Nella foto a) sono presenti sulla sinistra un modello di nest

trap con listelli di legno pressato e sulla destra un altro modello con listelli di legno scanalato; nella foto b) sulla destra è visibile il modulo con le pigne e le foglie secche per ospitare altri insetti.

4. Materiali e metodi

Nel lavoro svolto, le cannuce del bee hotel sono state impiegate come fossero delle *nest traps* (Staab et al., 2018; Tschardt et al., 1998). Considerate le abitudini di nidificazione di alcuni gruppi di apoidei, sono state preparate delle cannuce a partire dai fusti di canna (*Arundo donax* L.) nelle quali apoidei e altri insetti hanno costruito il proprio nido. I fusti sono stati tagliati con un seghetto e gli internodi sono stati forati per consentire agli insetti di transitare tra le varie sezioni del fusto (Fig. 4.1a). L'entrata delle cannuce è stata limata perché eventuali schegge potrebbero rovinare le ali membranose delle api, sia agli adulti che costruiscono il nido che alla nuova generazione di api che uscirà dai bozzoli (Staab et al., 2018). Le cannuce ottenute hanno una lunghezza compresa tra i 35 e i 38 cm ed hanno un diametro variabile, tra gli 0,4 e i 1,6 cm, per consentire a specie di dimensioni diverse di trovare una cavità dove nidificare. Le cannuce sono state quindi poste all'interno di tubi in PVC da 120 mm di diametro per proteggerle dalle intemperie (Fig. 4.1b), leggermente in pendenza per evitare ristagni d'acqua che potrebbero favorire l'insorgenza di muffe. Con l'ausilio di un coltello, le cannuce colonizzate sono state aperte per osservarne il contenuto, quindi lo stadio di sviluppo, la vitalità della covata, la presenza di parassiti o altre specie inquiline. Sono stati misurati i diametri dei tubi e sono state contate le celle con bozzoli vitali, parassitati e morti. Con questi dati sono stati ricavati il tasso di mortalità dei nidi ed il tasso di parassitismo.

Il bee hotel oggetto di studio si trova in località Fonte Marianna, Montebello di Bertona (PE), Abruzzo (Alt. 886 m.l.s.m.; Lat. 42°24'26.58"N; Long. 13°51'30.77"E (Google Earth, 2022)). A partire da marzo 2022, il bee hotel è stato ispezionato settimanalmente per osservare la presenza di nuovi nidi di api, di parassiti adulti nei dintorni e di specie ospiti, oltre a verificare la vitalità dei nidi nelle cannuce già aperte. Quando possibile, la presenza di individui attivi nel bee hotel e nei nidi costruiti è stata documentata con macchina fotografica digitale (Canon EOS 80D, teleobiettivo macro Canon 100mm, flash anulare). Esvie ed esemplari morti sono stati raccolti per le identificazioni.

Nella fase finale del lavoro, sono state identificate le specie di apoidei presenti nel bee hotel. Sono stati prelevati dei bozzoli per ogni tubo colonizzato, inseriti in tubetti di cartone forati per garantire una buona traspirazione, portati a basse temperature per interrompere la diapausa (Staab et al., 2018) e riportati nuovamente alle temperature tipiche del periodo affinché gli adulti potessero completare del tutto il proprio sviluppo. I bozzoli sono stati poi aperti per osservare ed identificare il contenuto. Sono stati svolti i calcoli sui tassi di mortalità e parassitismo, nonché test statistici sulle relazioni diametro-specie e sull'efficacia dei parassiti. Quest'ultima parte è stata svolta in ambiente R, con il programma RStudio (Posit Software, 2022, <https://posit.co/>).

Per l'identificazione dei campioni raccolti sono state utilizzate diverse risorse: per gli imenotteri parassitoidi, a livello di famiglia e sottofamiglia, sono state usate le chiavi di Goulet e Huber (1993) e la chiave per le specie di *Monodontomerus* di Zerova e Seyogina (2002). Per gli apoidei sono state usate le chiavi generiche

contenute in Michez et al., (2019), mentre per il genere *Osmia* sono state usate le chiavi dicotomiche di Pagliano (1994) per le specie italiane. Per l'identificazione delle formiche sono state usate le chiavi presenti in Scupola (2018) e Karaman (2008). Per identificare le specie di Ptiniidae sono state usate le chiavi dicotomiche online di Lompe (<http://coleonet.de/>, 2022). Gli eterotteri sono stati identificati consultando i volumi di Pericart (1998) e la collezione del sottoscritto. I riferimenti per la validità tassonomica dei nomi scientifici usati sono Catalogue Of Life (<https://www.catalogueoflife.org/>, 2022) e Global Biodiversity Information Facility (<https://www.gbif.org/>, 2022). Quando non diversamente specificato, le foto sono state scattate dall'autore durante l'attività di tirocinio.



Figura 4.1: Costruzione e piazzamento dei nidi artificiali per lo studio. a) Preparazione dei nidi b) I primi nidi posizionati nel bee hotel del Bee-O-Diversity Park di Montebello Di Bertona (PE);

5. Risultati

Dati ottenuti e analisi

Per questo studio sono state posizionate 80 nuove cannuce nel bee hotel tra marzo e aprile, periodo in cui gli apoidei selvatici cercano nuovi siti dove nidificare. L'intervallo dei diametri delle cannuce vuote è compreso tra 0,4 e 1,6 cm (fig.5.1). Solo il 32,5% delle cannuce è stato colonizzato (tab. 5.1). Sono stati rinvenuti anche nidi di altri imenotteri, costituenti il 2,5% del totale.

Nella tabella 5.2 vengono riassunti i dati relativi ai singoli tubi dove le specie hanno costruito il proprio nido. Nella tabella 5.3 vengono riportati tutti i dati raccolti durante il lavoro: sono descritte le specie nidificanti e parassite, vengono quantificati il numero di bozzoli vivi, bozzoli parassitati e bozzoli morti per cause naturali e viene infine riportato il diametro dei nidi.

Cannucce preparate	80
Cannucce colonizzate da apoidei	24
Cannucce colonizzate da vespe	3
Percentuale di colonizzazione apoidei	30%
Percentuale di colonizzazione vespe	2,5%
Totale nidi	26
Percentuale di colonizzazione	32,5%

Tabella 5.1: Tabella riassuntiva dei tassi di colonizzazione.

Totale celle	233
Celle di vespe (<i>Auplopus</i>)	27
Celle di apoidei (<i>Osmia</i> spp.)	206
Celle di covata morte (<i>Osmia</i> spp.)	115
Celle vive (<i>Osmia</i> spp.)	101
Celle parassitate (<i>Osmia</i> spp.)	17

Tabella 5.2: Riepilogo del numero di celle osservate nei nidi. Il totale delle celle tiene conto di tutte le specie osservate, mentre le celle di covata vive, morte e parassitate considerano solo le specie di *Osmia* presenti.

Tubo	Specie	Parassita	Celle vive	Celle morte	Celle parassitate	Totale celle	Diametro [cm]
1	<i>O. bicornis</i>	<i>Monodontomerus obscurus</i> , <i>Chaetodactylus</i> sp.	21	0	3	24	1,3
2	<i>O. cornuta</i>	<i>Nest destroyer</i>	0	10	0	10	0,92
3	<i>O. cornuta</i>		8	2	0	10	1,1
4	<i>Osmia</i> sp.		0	2	0	2	1
5	<i>Osmia</i> sp.	<i>Monodontomerus obscurus</i>	2	13	11	26	1,25
6	<i>O. bicornis</i>		0	4	0	4	0,67
7-a	<i>O. bicornis</i>	<i>Cacoxenus indagator</i>	0	7	4	11	1,1
7-b ⁶	<i>Auoplopus</i>		14	0	0	14	1,1
8	<i>O. bicornis</i>		0	6	0	6	1,1
9	<i>O. bicornis</i>		0	9	1	10	0,93
10	<i>Osmia</i> sp.	<i>Cacoxenus indagator</i>	0	0	2	2	0,77
11	<i>Osmia</i> sp.	<i>Cacoxenus indagator</i>	3	6	1	10	1,13
12	<i>O. bicornis</i>		0	10	0	10	1,19
13	<i>Osmia</i> sp.	<i>Monodontomerus obscurus</i>	2	0	1	3	1,2
14	<i>Osmia</i> sp.		0	12	0	12	1,11
15	<i>Osmia</i> sp.		0	10	0	10	0,84
16	<i>Megachile</i> sp. ⁷		0	0	0	0	1,2
17	<i>Osmia</i> sp.		2	0	0	2	0,82
18	<i>Osmia</i> sp.		3	2	0	5	0,67
19	<i>Osmia</i> sp.		0	20	0	20	1,28
20	<i>Osmia</i> sp.		2	1	0	3	1,07
21	<i>Osmia</i> sp.		1	6	0	7	0,98
22	<i>Osmia</i> sp.		11	3	0	14	1
23	<i>O. bicornis</i>		1	2	0	3	1,16
24	<i>O. bicornis</i>	<i>Cacoxenus indagator</i>	1	0	1	2	1,02
25	<i>Auoplopus</i>		10	0	0	10	1
26	<i>Auoplopus</i>		3	0	0	3	0,88
Totale <i>Osmia</i>			57	125	24	206	
TOTALE			84	125	24	233	

Tabella 5.3: Dati raccolti durante l'attività di tirocinio (periodo: marzo 2022-ottobre 2022).

⁶ La dicitura 7-a e 7-b viene adottata in quanto i nidi di *Osmia* e di *Auoplopus* sono stati costruiti nella stessa cannuccia ma su lati opposti, divisi dall'internodo del fusto ancora integro.

⁷ I dati nulli si riferiscono al fatto che la conta delle celle non è stata possibile perché non distinguibili le une dalle altre, come visibile in fig. 5.11.

Frequenza di nidificazione e diametro

Sono state analizzate le relazioni tra la frequenza di nidificazione ed il diametro dei nidi. Prima di effettuare qualsiasi test statistico, è stata verificata la normalità delle distribuzioni dei diametri dei nidi vuoti ed occupati (tab.5.4) tramite il test di Shapiro-Wilk. L'ipotesi nulla (H_0) presuppone la normalità per $p > 0,05$. Nel caso dei diametri dei tubi vuoti (fig. 5.1), il valore di W è molto vicino a 1 ($W=0,967$) suggerisce la normalità della distribuzione, ma non si può accettare H_0 perché $p=0,037$, mentre per la distribuzione dei diametri dei tubi occupati (fig. 5.2), pur avendo $W=0,947$, il p -value permette di accettare l'ipotesi ($p=0,235$). Non cambia di molto la situazione se si considerano solo i nidi costruiti dalle osmie (fig. 5.3; $W=0,957$; $p=0,319$): la distribuzione è comunque normale.

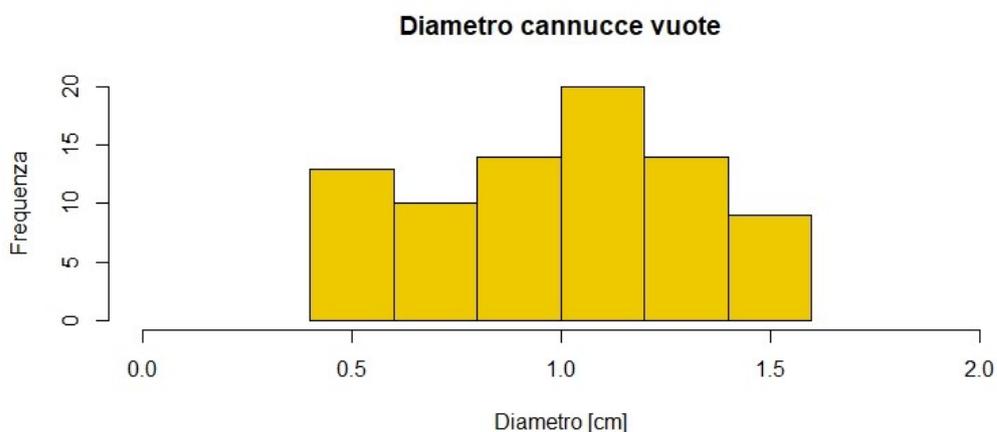


Figura 5.1: Distribuzione del diametro dei nidi vuoti installati per lo studio (N=80).

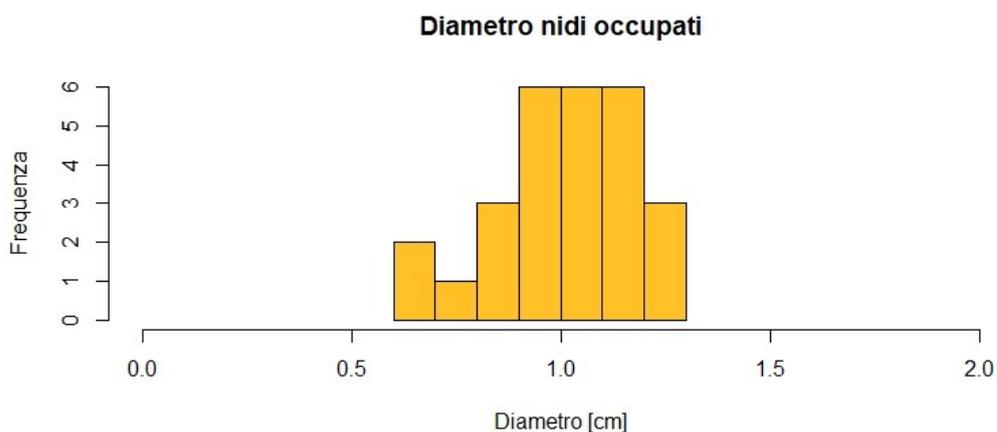


Figura 5.2: Istogramma con i diametri dei nidi occupati da tutte le specie rilevate (N=27).

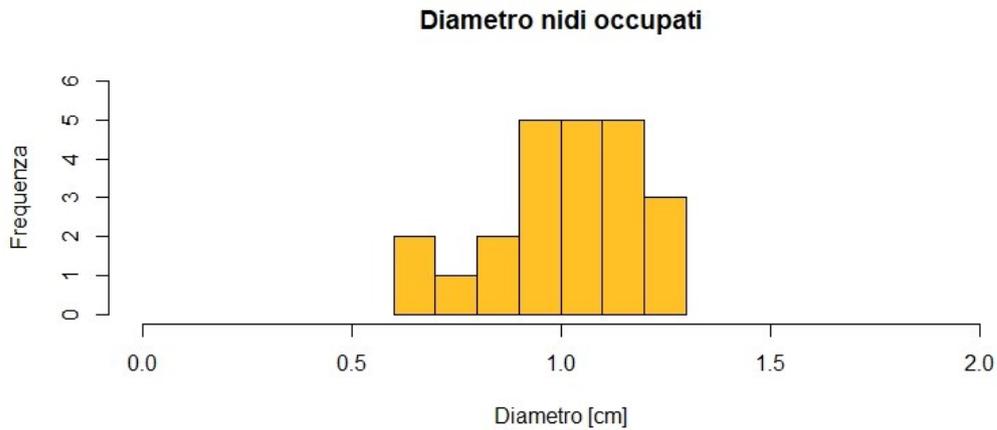


Figura 5.3: Istogramma con la distribuzione dei diametri dei nidi colonizzati da parte di *Osmia cornuta* e *Osmia bicornis* (N=23).

	Grandezza campione	W	p-value
Nidi vuoti	80	0,967	0,037
Nidi occupati	27	0,947	0,235
Nidi di Osmia	23	0,957	0,319

Tabella 5.4: Risultati dei test di normalità per le distribuzioni dei diametri dei nidi vuoti, dei nidi occupati da tutte le specie e dalle sole osmie.

Nel grafico 5.4 sono rappresentate le distribuzioni dei diametri dei nidi scelti dalle specie. Per *Megachile* la distribuzione è praticamente puntuale, perché occupante un solo nido, mentre *Auplopus* ha nidificato in tubi compresi tra 0,88 e 1,1 cm. Discorso a parte meritano le distribuzioni di nidi delle osmie. A livello generico (Ossp), l'intervallo dei diametri è ampio (0,67-1,25 cm) e la distribuzione è asimmetrica, con la maggior parte dei dati nel secondo quartile. I nidi di *Osmia bicornis* (Obic) hanno dei diametri abbastanza grandi (1-1,3 cm), mentre quelli di *Osmia cornuta* (Ocor) hanno una distribuzione più ampia (0,82-1,1 cm).

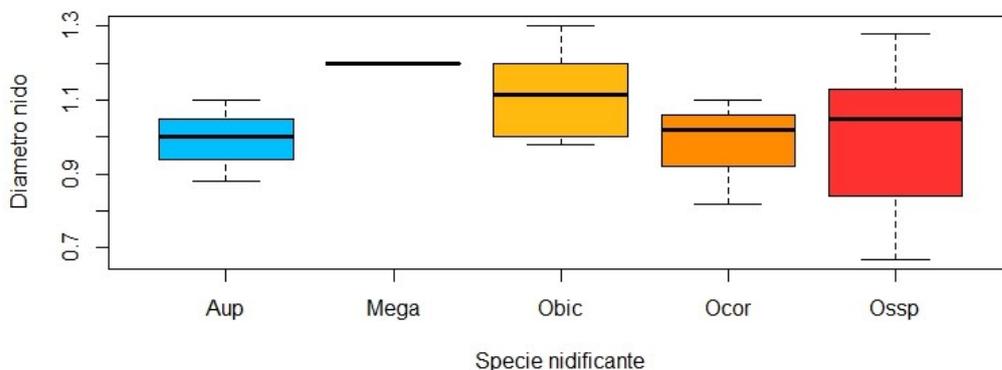


Figura 5.4: Boxplot con le distribuzioni dei diametri per le specie rinvenute nel bee hotel. Di seguito le sigle: Aup=*Auplopus* sp.; Mega=*Megachile* sp.; Obic=*Osmia bicornis*; Ocor=*Osmia cornuta*; Ossp=*Osmia* sp.

Prima di effettuare altri test statistici, viene applicato il metodo di Holm-Bonferroni (Kirk, 2013) perché i test vengono ripetuti sul medesimo gruppo di dati, secondo la formula $\alpha=1-(1-P)^n$, dove α equivale al p-value standard (0,05), n al numero di test effettuati sul dataset e P è il p-value corretto. Per i test statistici a venire verrà quindi considerato $p=0,010$.

Per verificare la differenza tra le distribuzioni dei diametri dei nidi delle osmie, è stato applicato il test di Wilcoxon per dati appaiati, confrontando a coppie le varianze delle distribuzioni di *Osmia cornuta*, *O.bicornis* e *Osmia* sp. I risultati ottenuti non evidenziano differenze significative. Come controprova, è stato anche applicato il test di Fligner-Killeen ed anche in questo caso ($p=0,266$) non è stata trovata alcuna differenza significativa (tab. 5.5).

	Obic	Ocor
Ocor	0.76	-
Ossp	0.74	0.76
Risultato test Fligner	p=0,266	

Tabella 5.5: Risultati ottenuti con i test di Wilcoxon per dati appaiati e con il test di Fligner-Killeen

Relazione tra diametro e celle costruite

Riguardo il numero di celle costruite dalle osmie, la sua distribuzione è fortemente asimmetrica e, come confermato dal test di Shapiro-Wilk, esula dalle condizioni di normalità (fig.5.5). In media le osmie hanno costruito 9 celle in ogni nido, con un minimo di 2 fino ad un massimo di 26. Dai dati raccolti sul campo è stata ipotizzata una correlazione tra diametro e numero di celle costruite dalle osmie. Per verificare tale possibilità, con i dati ottenuti è stato impostato un grafico (fig.5.6) che mette in relazione diametro e numero totale di celle. La significatività della relazione tra diametro e numero di celle è stata testata con il calcolo dei coefficienti di correlazione e con la correlazione di Pearson (tab.5.6). Il coefficiente di correlazione ha evidenziato una correlazione non troppo forte tra le due grandezze ($c=0,561$), confermata dal p-value ($p=0,0083$) minore di $\alpha=0,010$.

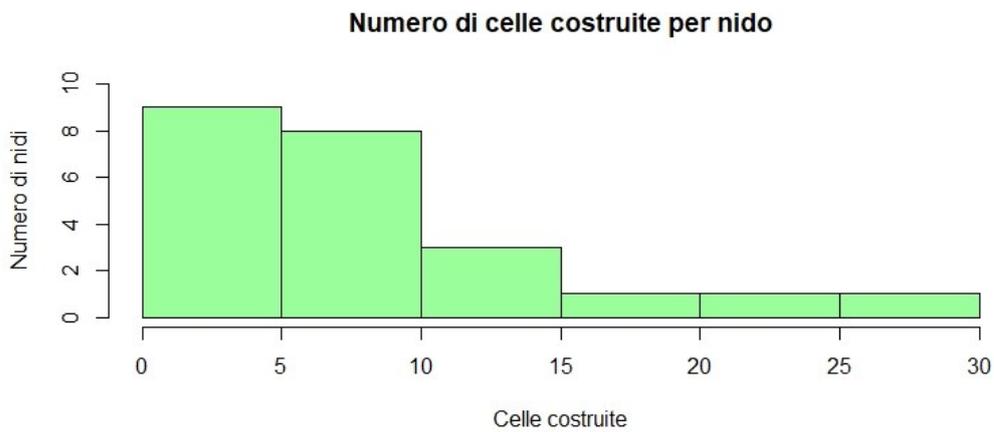


Figura 5.5: Istogramma con la distribuzione del numero di celle costruiti per ogni nido.

	Diametro- numero di celle
Coefficiente di correlazione	0,561
P-value del test di correlazione	0,0083

Tabella 5.6: Risultati ottenuti dal confronto tra diametro dei nidi e numero di celle costruite.

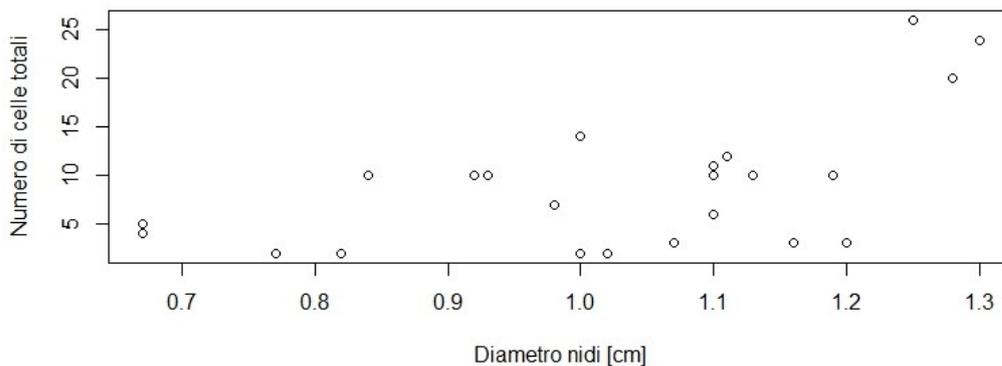


Figura 5.6: Grafico di correlazione tra numero di celle costruite dalle osmie e diametro dei nidi.

Tassi di mortalità e parassitismo

Vengono di seguito presentati i tassi di mortalità e di parassitismo (tab.5.7). Il tasso di mortalità assoluto è stato calcolato tenendo conto sia dei bozzoli parassitati che di quelli morti per cause naturali, mentre per il tasso di parassitismo sono state considerate le celle dove le tracce o la presenza stessa dei parassiti è stata accertata. Sono stati applicati dei test statistici per verificare l'efficacia della parassitizzazione da parte dei parassiti più frequenti nei nidi, ovvero *Cacoxenus indagator* e *Monodontomerus obscurus*.

Tasso di mortalità assoluto	72,33%
Tasso di mortalità relativo	60,67%
Tasso di parassitismo globale	11,65%
Tasso di parassitismo (<i>C. indagator</i>)	4,36%
Tasso di parassitismo (<i>M. obscurus</i>)	7,28%

Tabella 5.7: Tassi di mortalità e parassitismo nei nidi colonizzati.

Nel grafico in fig.5.6 è raffigurata la relazione tra diametro dei nidi e specie di parassita. Una prima analisi delle due distribuzioni suggerisce una possibile differenza nelle preferenze dei diametri: si nota infatti che la distribuzione relativa a *Cacoxenus indagator* (CInd) ha un intervallo più ampio (0,77-1,13 cm) rispetto alla distribuzione di *Monodontomerus obscurus* (1,20-1,30 cm). Per questa ragione è stato applicato il test di Wilcoxon per verificare se le due distribuzioni sono paragonabili: il risultato ottenuto ($p=0,036$) conferma la significatività della differenza tra le due distribuzioni per cui esiste una ripartizione dei due parassiti in base al diametro dei nidi. È stato applicato nuovamente il test di Wilcoxon per verificare se vi è una diversa efficacia nella parassitizzazione dei nidi da parte delle due specie. Dal calcolo svolto è stato osservato che, con i dati in possesso, la differenza tra i due gruppi non è significativa ($p=0,427$) (tab.5.8).

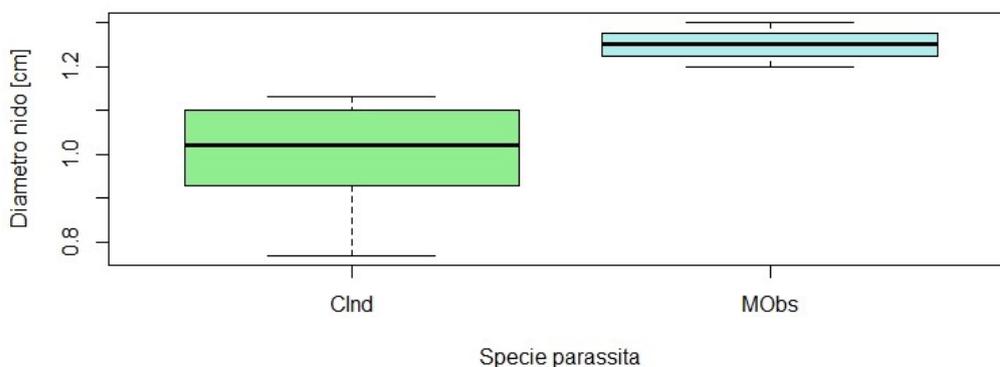


Figura 5.6: Boxplot delle distribuzioni dei nidi infestati da *Cacoxenus indagator* (CInd) e *Monodontomerus obscurus* (MObs) sulla base del diametro.

	p-value
Test efficacia parassitismo	0,42
Test diametro-parassita	0,036

Tabella 5.8: riepilogo dei dati ottenuti con i test di Wilcoxon.

Stima del successo riproduttivo

Un'ultima analisi riguarda la stima del successo riproduttivo delle osmie. Si tratta di certo di una stima preliminare in quanto una misura più accurata si potrà ricavare soltanto contando gli individui sfarfallati in primavera. A partire dalle formule contenute in Zajdel et al., 2014, sono stati messi a punto alcuni modelli che potrebbero prevedere il successo riproduttivo, quindi gli individui che nasceranno nella prossima stagione.

Il primo modello prevede la sommatoria del rapporto tra il numero di celle vive nel singolo nido e il numero totale di celle osservate. Il fattore p è il tasso di parassitismo globale riportato in tab. 5.7 e viene considerato nel modello perché influisce sulla fitness della popolazione. Qui di seguito l'equazione

$$p \sum_{i=1}^{24} \frac{n_i}{n_{tot}}$$

Dove n_i = numero di celle vive nel singolo nido; n_{tot} = numero totale di celle osservate; p = tasso di parassitismo calcolato come $\frac{\text{totale celle parassitate}}{\text{totale celle osservate}}$

Il secondo modello è simile al primo ma costituisce una somma di due prodotti: la sommatoria usata anche nel modello precedente viene moltiplicata separatamente per il fattore c_{ind} e m_{obs} che misurano, rispettivamente il tasso di parassitismo da parte di *Cacoxenus indagator* e di *Monodontomerus obscurus* (tab. 5.7). La scelta di separare i due tassi deriva dal fatto che i due parassiti hanno un peso diverso nella mortalità delle covate. L'equazione è quindi

$$c_{ind} \sum_{i=1}^{24} \frac{n_i}{n_{tot}} + m_{obs} \sum_{i=1}^{24} \frac{n_i}{n_{tot}}$$

Dove n_i = numero di celle vive nel singolo nido; n_{tot} = numero totale di celle osservate; c_{ind} = tasso di parassitismo di *C.indagator*; m_{obs} = tasso di parassitismo di *M.obscurus*.

Il terzo ed ultimo modello, il meno complesso, considera il rapporto tra il totale delle celle vive ed il totale delle celle morte moltiplicato per il fattore p , il tasso di parassitismo. L'equazione è quindi

$$p \frac{n_{vive}}{n_{tot}}$$

Con n_i = numero di celle vive nel singolo nido; n_{tot} = numero totale di celle osservate; p = tasso di parassitismo.

Nella tabella 5.8 vengono riassunti i risultati ottenuti applicando i modelli precedentemente esposti. Si tratta di modelli speculativi poiché la base di dati sui quali sono stati costruiti è carente in fatto di grandezza campionaria. Le stime si attestano in tutti e tre i casi sul 3%, un successo molto basso per la popolazione che ha colonizzato i nidi. Questi modelli potranno essere modificati per avere una stima più accurata quando si registrerà il numero effettivo di esemplari emersi nella prossima stagione.

	Modello 1	Modello 2	Modello 3
Stima ottenuta	0,030	0,032	0,036
Stima percentuale	3,0%	3,2%	3,6%

Tabella 5.8: Stime ottenute con i modelli per prevedere il successo riproduttivo.

Elenco specifico

Ogni specie rinvenuta durante le ispezioni settimanali previste per il lavoro di tirocinio è stata riportata nell'elenco seguente. La lista prevede la suddivisione in tre categorie: specie nidificanti, che hanno costruito il proprio nido nei tubi installati, parassiti, senza distinguerne la tipologia, ed insetti ospiti, i quali utilizzano il bee hotel come rifugio per svernare o per altri scopi.

Sono state registrate ben 23 specie, appartenenti a 8 ordini diversi (Fig.5.7) e a 17 famiglie diverse. L'ordine più rappresentato è quello degli Hymenoptera, con 7 specie, a seguire Hemiptera, con 5 specie, Coleoptera, con 4 specie, Diptera e Dermaptera, con 2 specie ciascuno, poi Sarcoptiformes (Arachnida), Psocoptera e Lepidoptera con una sola specie per ordine.

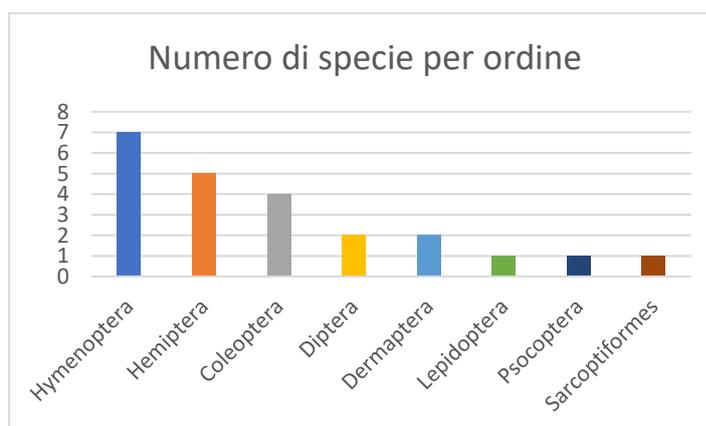


Figura 5.7: Ordini di artropodi raggruppati per numero di specie rinvenute nel bee hotel

Specie nidificanti

Hymenoptera

Apoidea, Megachilidae

Osmia (Panzer, 1806)

Osmia bicornis (Linnaeus, 1758)

Osmia cornuta (Latreille, 1805)

Megachile (Latreille, 1802)

Megachile sp.

Vespoidea, Pompilidae

Auplopus (Spinola, 1841)

Auplopus sp.

Parassiti associati

Arachnida

Sarcoptiformes

Chaetodactylidae

Chaetodactylus Rondani, 1866

Chaetodactylus osmiae (Dufour, 1839)

Insecta

Diptera

Drosophilidae

Cacoxenus (Loew, 1858)

Cacoxenus indagator Loew, 1858

Bombyliidae

Anthrax Scopoli, 1763

Anthrax cfr. *anthrax*: esuvia di larva

Hymenoptera

Torymidae

Monodontomerus Westwood, 1833

Monodontomerus obscurus Westwood, 1833

Insetti ospiti

Dermaptera

Forficulidae

Forficula Linnaeus, 1758

Forficula auricularia Linnaeus, 1758

Pseudochelidura Verhoeff, 1902

Pseudochelidura orsinii (Gené, 1833)

Hemiptera

Lygaeidae

Melanocoryphus Stal, 1872

Melanocoryphus albomaculatus (Goese, 1778)

Rhyparochromidae

Rhyparochromus Hahn, 1826

Rhyparochromus vulgaris (Schilling, 1829),

Raglius Stal, 1872

Raglius albomaculatus (Goeze, 1778)

Coreidae

Centrocoris Kolenati, 1845

Centrocoris variegatus Kolenati, 1845

Leptoglossus Guérin-Méneville, 1831

Leptoglossus occidentalis Heidemann, 1910

Psocoptera

Liposcelididae

Liposcelis Motschulsky, 1852

Liposcelis sp.

Coleoptera

Bostrichoidea

Ptinidae

Ptinus Linnaeus, 1767

Ptinus raptor Sturm, 1837

Ptinus sexpunctatus Panzer, 1792

Dermestidae

Trogoderma (?): larva

Coccinelloidea

Coccinellidae

Coccinella Linnaeus, 1758

Coccinella septempunctata Linnaeus, 1758

Hymenoptera

Apidae,

Xylocopa Latreille, 1802

Xylocopa cfr. *violacea* Linnaeus, 1758

Formicidae,

Crematogaster Lund, 1831

Crematogaster scutellaris (Oliver, 1792)

Lepidoptera

Erebidae

Amata Fabricius, 1807

Amata phegea (Linnaeus, 1758): larve

Osservazioni sulle specie nidificanti

***Osmia bicornis* (Linnaeus, 1758) e *Osmia cornuta* Latreille, 1805**

Il genere *Osmia* Panzer, 1806 è distinguibile dagli altri Megachilinae perché le axille non sono dentate. Possiedono gli arolii tra le unghie e, come tutti i Megachilidae europei, hanno due celle submarginali nelle ali anteriori. I maschi sono privi degli speroni laterali sul sesto tergite, mentre le femmine presentano mandibole spesse con il margine masticatorio lungo quanto la mandibola (Michez, 2019). Con le chiavi dicotomiche di Pagliano (1994) sono state identificate due specie: *Osmia* (*Osmia*) *cornuta* Latreille, 1805 e *Osmia* (*Osmia*) *bicornis* (Linnaeus, 1758).

Osmia (Osmia) bicornis syn. rufa (Linnaeus, 1758)

Individui esaminati: 8 ♀♀; 4 ♂♂; 26/X/2022; Loc. Fonte Marianna; Montebello di Bertona (PE); leg. Di Marco A.; Det. Di Marco A.

Tratti distintivi: specie con peluria di colore bruno-arancione in entrambi i sessi: con l'avanzare dell'età il colore diventa meno intenso, virando al grigio-giallo, e la peluria si dirada lasciando intravedere il tegumento scuro; le femmine (10-12 mm) possiedono due piccole protuberanze sul clipeo, la scopa ventrale rosso rame, la testa completamente nera e le mandibole ben sviluppate, mentre i maschi (8-10 mm) hanno la testa nera con peluria bianca e le antenne lunghe fino al mesosoma (fig. 5.8 sx) (Pagliano, 1994; Michez et al., 2019).

Distribuzione: specie turanico-europeo-mediterranea (Comba, 2019), frequenta ambienti dalla fascia temperata fino alle zone subtropicali (Splitt et al., 2021).

Biologia: specie poliletica e univoltina, nidifica in cavità preesistenti di varia natura, sia naturali, come fusti cavi o gallerie di insetti xilofagi nei tronchi, sia artificiali, come tubi di vetro o serrature (Müller, A., 2022). I setti divisorii e l'opercolo all'entrata del nido sono costruiti con il fango.

Osmia (Osmia) cornuta Latreille, 1805

Individui esaminati: 1 ♀; 3 ♂♂; 26/X/2022; Loc. Fonte Marianna; Montebello di Bertona (PE); leg. Di Marco A.; Det. Di Marco A.

Tratti distintivi: specie di colore nero con il metasoma provvisto di setole arancio-rosse in entrambi i sessi; femmine di grosse dimensioni (fino a 15 mm), possiedono due piccole corna sul clipeo; maschi più piccoli, fino a 10 mm, con antenne lunghe fino al torace e ciuffi di peli bianchi sul capo (fig.5.8 dx) (Pagliano, 1994, Michez et al., 2019).

Distribuzione: specie turanico-europea-mediterranea (Comba, 2019);

Biologia: specie univoltina e poliletica, nidifica in cavità preesistenti, come fusti cavi, fori nei tronchi, nei muri e nelle rocce; talvolta può nidificare in gusci vuoti di chioccioline (Müller, A., 2022).

Data la somiglianza dal punto di vista biologico, le osservazioni verranno trattate assieme. L'attività degli adulti è durata da fine febbraio a maggio, e sono state osservate in gran parte femmine di entrambe le specie intente a costruire e a chiudere i propri nidi. Nel corso del lavoro di tirocinio è stato possibile osservare le diverse fasi vitali delle due specie (fig.5.9).



Figura 5.8: Specie nidificanti nel bee hotel: sx) Femmina di *Osmia bicornis* che completa l'opercolo del proprio nido; dx) Femmina di *Osmia cornuta* a riposo sul fogliame;



Figura 5.9: Fasi vitali degli apoidei fotografate su *Osmia bicornis* e *Osmia cornuta*. a) Fase di uovo; b) Terza muta: le larve hanno già iniziato a mangiare le provviste accumulate dalla femmina che costruisce anche il nido; c) Quinta muta: la larva ha defecato ed è pronta ad impuparsi; d) La larva alla quinta muta inizia a filare il proprio bozzolo, estromettendo gli escrementi che rimarranno sul fondo o a lato della cella; e) Nel bozzolo la larva andrà incontro a metamorfosi, diventando una pupa ed infine un adulto. Nelle specie in questione, l'adulto neoformato rimarrà all'interno del bozzolo per tutto l'inverno ed uscirà in primavera; f) l'adulto (qui una femmina di *Osmia cornuta*) esce dal nido in primavera.

È stata riscontrata un'elevata mortalità dei nidi in entrambe le specie. La morte della covata è sopraggiunta ancora prima di terminare lo sviluppo larvale, per cui il nido si presentava intatto, completo di setti divisori e di provviste polliniche non consumate (fig.5.10d-e). Talvolta le covate sono state perse dopo il secondo stadio larvale, poiché le masse di polline erano state parzialmente mangiate dalle larve. I tubi n.2 (fig.5.10f) e n.15 presentano due situazioni differenti: nel primo caso erano presenti i resti dei bozzoli aperti e divelti, con organismi detritivori come *Ptinus sepxunctatus* e diversi esemplari di *Liposcelis* sp.; nel secondo caso l'intera covata è stata distrutta prima ancora che le larve potessero filare i propri bozzoli ed i setti erano del tutto frantumati. In entrambi casi le cause di morte non sono note, in quanto non sono state rinvenute tracce di *nest destroyers*, come ad esempio i ditteri del genere *Anthrax*.

L'architettura dei nidi in *O.cornuta* e *O.bicornis* è molto simile: le celle di covata sono situate in fondo alla cavità scelta per nidificare ed ogni cella contiene una massa di polline, più o meno voluminosa, che la larva consumerà prima di impuparsi (fig.5.10c). Solitamente le celle più in profondità ospitano le future femmine della covata, mentre i futuri maschi sono nelle celle più vicine all'entrata: questa particolare disposizione, variabile anche in base a fattori abiotici (Ostap-Chec et al., 2021), è legata al ciclo vitale delle osmie, perché i maschi emergeranno prima delle femmine (Splitt et al., 2022; Seidelmann et al., 2016). Tutti i nidi osservati avevano le celle di covata separate da setti divisori costruiti con il fango, così come l'opercolo all'entrata del nido (fig. 5.10b). Il numero di celle totali contate nei nidi studiati varia dalle 2 alle 26 celle di covata (vedi tab. 5.3). Nei nidi è frequente la presenza del cosiddetto vestibulum, una camera vuota che separa l'entrata dalle celle di covata (fig. 5.10c). Questo espediente avrebbe una funzione protettiva contro condizioni meteorologiche avverse e pericolose per la progenie, oltre a confondere i parassiti che infestano il nido (Madras-Majewska et al., 2022), tuttavia il vestibulum non esclude l'attacco da parte di parassiti e parassitoidi (Zajdel et al., 2014).



Figura 1.10: a) Femmina di *Osmia cornuta* mentre chiude il proprio nido sigillandolo con il fango; b) Opercolo costruito con fango in un nido di *Osmia bicornis*; c) Schema di un nido tipico di *Osmia*: le celle di covata (1) sono poste in fondo alla cavità e sono separate da setti divisorii di fango (2); viene inoltre evidenziato il vestibulum; d-f) Covate morte: d-e) le covate erano già perse all'apertura, si nota infatti che le provviste di polline sono intatte; f) nido n.2 con i bozzoli totalmente distrutti;

***Megachile* sp.**

Tra i Megachilidae vi sono alcuni generi che impiegano foglie per tappezzare e costruire i propri nidi (Michez et al., 2019). Il nido n.16 nel bee hotel è stato occupato e chiuso con un opercolo composto da pezzi di foglie. Le celle invece sono costruite a partire da foglie tagliate a dischetti (fig. 5.11a). Il diametro del tubo è di 1,20 cm, mentre non è stato possibile contare con certezza il numero delle celle perché formavano un continuum (fig. 5.11b-c). La cavità della cannuccia è stata del tutto riempita dalle celle, anche attraverso l'internodo. Un adulto alloggiato all'interno del nido è stato fotografato prima che si involasse (fig. 5.11d), ma dalla foto non è possibile capire con certezza la specie. Al prelievo dei bozzoli a fine stagione, le celle del nido erano tutte vuote per cui non è stato possibile prelevare degli esemplari.

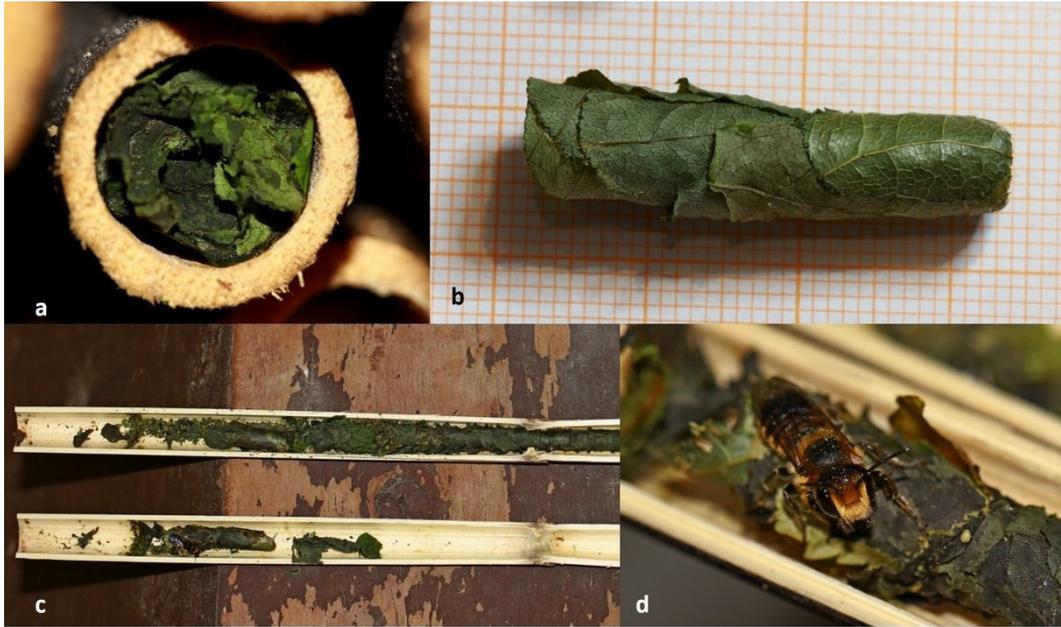


Figura 5.11: a) opercolo di foglie all'entrata del nido; b) serie di celle avvolte dalle foglie tagliate: si noti come non siano distinguibili le singole celle senza aprirle; c) Nido di *Megachile* appena aperto; d) Adulto di *Megachile* pronto ad involarsi;

***Auplopus* sp. (Hymenoptera, Pompilidae)**

Individui esaminati: 2 pupe; 26/X/2022; Loc. Fonte Marianna, Montebello di Bertona (PE);

I bee hotel possono ospitare anche specie di imenotteri diverse dagli apoidei. In questo caso sono stati rinvenuti nidi di *Auplopus*, vespa predatrice di ragni appartenente alla famiglia dei Pompilidae. Le femmine costruiscono delle celle di fango a forma di otricolo, immagazzinando le proprie prede che fungono da provvista di cibo per la progenie (fig. 5.12a) (O'Hanlon e O'Connor, 2021). Alcuni esemplari adulti sono stati avvistati a giugno (fig. 5.12c). Sono stati prelevati due bozzoli dal tubo 25 e dal tubo 7 per verificare quale fosse la specie ma in entrambi i casi l'insetto è ancora nello stadio di pupa (fig. 5.12b), per cui è stato messo in un tubo di vetro in attesa che concluda lo sviluppo. La cella di forma utricolare misura 5 mm in larghezza e 7 in lunghezza. I tubi colonizzati da *Auplopus* hanno un diametro compreso tra 0,88 e 1,1 cm (tab. 5.9). Nel corso dello studio sono state individuate celle costruite da *Auplopus* in un nido di *Osmia bicornis* distrutto e infestato da *Cacoxenus indagator*, ma anche celle costruite in cannuce non colonizzate dagli apoidei. La loro attività si è protratta per molto tempo: nella cannuccia n.7, nel sopralluogo del 28/09, era presente il solo nido di *Osmia bicornis*, mentre nel sopralluogo del 24/10 sono state contate in aggiunta ben 14 celle della vespa, nonostante sia stato ispezionato anche nelle settimane successive al 28/09.

	T 7-b	T 25	T 26
Numero di celle	14	10	3
Diametro nido	1,1	1	0,88

Tabella 5.9: Riepilogo dei dati raccolti sui nidi di *Auplopus* sp.

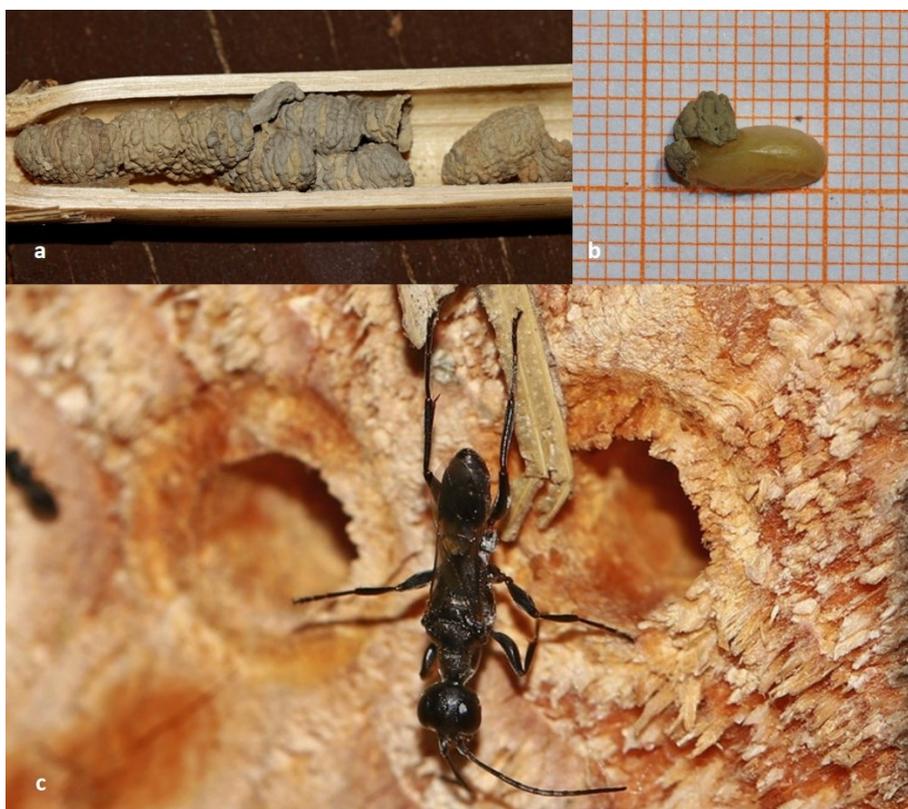


Figura 5.12: a) Nidi di *Auplopus* sp. con le caratteristiche celle utricolari; b) Contenuto della cella: pupa in stadio di prepupa pronta per la metamorfosi avvolta in uno strato di secrezioni sericee; c) Adulto di *Auplopus* che si aggira nel bee hotel;

Osservazioni su parassiti e insetti ospiti

Cacoxenus indagator Loew, 1858 (Diptera, Drosophilidae)

Il genere *Cacoxenus* è tra i pochi Drosophilidae a non essere fitofago o carpofago (Ashburner, 1981). In Europa la specie più comune è *Cacoxenus indagator*. Questa specie viene definita cleptoparassita perché distrugge le provviste di polline depositate dalle femmine di *Osmia cornuta* e *Osmia bicornis* (Krunić et al., 2005). Alcune caratteristiche morfologiche e comportamentali testimoniano il perfetto adattamento di questo dittero ad uno stile di vita insolito per un drosophilide: le larve riescono ad orientarsi nel nido dell'ospite per individuarne l'entrata, in modo da uscire più facilmente una volta concluso lo sviluppo, mentre gli adulti utilizzano lo ptilinum, struttura presente nei ditteri ciclorrafi (Chinery, 2010), per produrre dei piccoli fori sul setto divisorio delle celle per facilitare l'uscita dal nido (Strohm,

2011). Il ciclo vitale di *C.indagator* è più rapido rispetto a quello dei suoi ospiti e lasciano vivere almeno un individuo ospite che, una volta terminato lo sviluppo, uscirà dal proprio nido rompendo l'opercolo all'entrata, lasciando quindi la via libera ai parassiti adulti (Danforth et al., 2019). Nel corso dei sopralluoghi sono stati rinvenuti esemplari adulti femmine e larve intente a nutrirsi delle masse polliniche nelle camere del nido (fig. 5.13 a-d). Le celle infestate sono facilmente riconoscibili per via dei fecal pellets di colore giallo-arancio lasciati dalle larve. Talvolta la larva ospite riesce a svilupparsi nonostante la presenza di *C. indagator*, come osservato in uno dei nidi (Fig. 5.13b). È stato notato un comportamento tipico delle femmine di questa specie (Krunić et al., 2005), le quali attendono che il nido della specie ospite non sia presidiato per introdursi e deporre le uova nella cella di covata. Gli adulti sono stati attivi a partire dall'ultima settimana di aprile fino ai primi giorni di giugno.



Figura 5.13: *Cacoxenus indagator* in alcuni stadi vitali. a) dettaglio delle larve b) gruppo di larve intente a nutrirsi delle provviste di polline; sono ben visibili i caratteristici fecal pellets c) Nido di *Osmia cornuta* attaccato da *Cacoxenus indagator* d) Adulto nei pressi del bee hotel.

***Anthrax* sp. (Diptera, Bombyliidae)**

Individui esaminati: 1 esuvia; 05/IX/2022; 1 pupa, 11/XI/2022; Loc. Fonte Marianna; Montebello di Bertona (PE); leg. Di Marco A.;

Il genere *Anthrax* comprende specie di parassitoidi, tra le quali *Anthrax anthrax* (Schrank, 1781), tra i principali antagonisti di *Osmia bicornis* e *Osmia cornuta* in area mediterranea (Krunić et al., 2005; Splitt et al., 2022). Non sono stati avvistati esemplari adulti ma sono stati raccolti due campioni attribuibili a questo genere: il primo è un'esuvia di una pupa, mentre il secondo è una pupa che non ha completato lo sviluppo ed è deceduta prima di poter fuoriuscire dal nido di *Osmia bicornis* come adulto (fig. 5.14). Un aspetto particolare risiede nella cresta cefalica che le pupe del genere *Anthrax* possiedono: questa struttura serve a rompere i setti divisorii dei nidi di *Osmia* per uscire dal nido prima di sfarfallare. La morfologia della cresta e degli speroni cefalici può essere importante nel riconoscimento della specie (vedi Cunha and Lamas, 2004) e nei due campioni è stato osservato che non è esattamente la stessa. Entrambi i campioni hanno la cresta formata da sei denti con una precisa disposizione, con i due mediani più grandi, mentre i quattro restanti sono progressivamente più piccoli, ma nel primo esemplare (fig. 5.14b) i denti sono più distanziati ed acuminati, mentre nel secondo (fig. 5.14d) i denti appaiono più tozzi e arrotondati. Potrebbero essere entrambi appartenenti alla stessa specie, con il secondo che ha subito un'usura degli speroni, ma sarebbero necessarie osservazioni più approfondite anche su altri caratteri come la chetotassi o i tubercoli anali e cefalici. Il ritrovamento dei due campioni ha mera valenza qualitativa, in quanto certificano la presenza di *Anthrax* sp. ma non permettono di determinare il tasso di parassitismo da parte di questo insetto.



Figura 5.14: a) esuvia di *Anthrax* sp.; b) dettaglio della capsula cefalica e degli speroni; c) pupa di *Anthrax* sp. d) dettaglio della capsula cefalica e degli speroni.

***Monodontomerus obscurus* Westwood, 1833 (Hymenoptera, Torymidae)**

Individui esaminati: 6 ♀♀, 14/07/2022; larve, 26/X/2022; Loc. Fonte Marianna; Montebello di Bertona (PE); leg. Di Marco A.; Det. Di Marco A.

Il genere *Monodontomerus* è noto per la sua attività di parassita sui Megachilidae. Sono imenotteri gregari ed alcune specie (soprattutto *M.obscurus*, *M.laticornis*) hanno una certa predilezione per api del genere *Megachile* e *Osmia*. (Zerova and Seyogina, 2002). Nel corso del lavoro, sono stati rinvenuti molti esemplari adulti, quasi sempre femmine (fig.5.15a), nei pressi del bee hotel. Una volta sfarfallate, queste vespe parassite forano la parete del nido per poter uscire (fig. 5.15b), tuttavia in alcuni tubi, al momento dell'apertura, nelle celle sono stati osservati diversi esemplari adulti morti perché non sono riusciti a oltrepassare lo spessore della cannuccia. I bozzoli parassitati sono riconoscibili perché bucati. Sono stati anche rinvenuti bozzoli di *Osmia* intatti all'esterno ma contenenti un gran numero di larve (fig. 5.15 c-d). Queste sono apode ed acefale, di colore bianco e con una lunghezza tra i 3 e i 5 millimetri. In questo stadio di prepupa, *Monodontomerus obscurus* può svernare per poi impuparsi e sfarfallare in primavera (Krunić et al., 2005).

Durante le fasi finali del lavoro, con lo scopo di ottenere dei campioni per identificare le specie di api presenti nel bee hotel, sono stati raccolti involontariamente cinque bozzoli contenenti larve di *M.obscurus* dal tubo n.5: nei sopralluoghi precedenti già sei bozzoli dello stesso nido erano stati colpiti da *M.obscurus* e molti degli esemplari sfarfallati da essi erano rimasti intrappolati all'interno. È degno di nota il fatto che nel bozzolo n.1 (tab. 5.10) il numero di larve era ridotto ed era presente anche un adulto di apoideo (probabilmente *Osmia bicornis*) morto prima di poter completare lo sviluppo. Le larve verranno allevate per calcolare la sex ratio di ogni bozzolo.

	B1	B2	B3	B4	B5	Totale
Numero larve	4	13	19	22	17	75
Dimensioni [mm]	0,8x1,4	0,8x,14	0,7x1,2	0,8x1,3	0,7x1,2	

Tabella 5.10: tabella riassuntiva con il numero di larve per bozzolo raccolte dal nido n.5 e le dimensioni relative ai bozzoli.



Figura 5.15: a) Femmina di *Monodontomerus obscurus* raccolta in uno dei tubi colonizzati da *Osmia bicornis*; b) Foro di uscita causato da adulti di *Monodontomerus obscurus*; c) Gruppo di larve all'interno del bozzolo di *Osmia bicornis* d) Larve di *Monodontomerus obscurus*.

***Chaetodactylus osmiae* (Acarina, Sarcoptiformes)**

La famiglia dei Chaetodactylidae è ricca di specie associate agli apoidei, con un ampio spettro di ospiti, tra cui *Osmia*, *Lithurgus* e *Xylocopa* (Danforth et al., 2019). *Chaetodactylus osmiae* è un parassita importante in contesti come i bee hotel, dove riesce ad attaccare gran parte della popolazione nidificante portando ad un calo del tasso riproduttivo e ad una diminuzione delle dimensioni della progenie (Krunić et al., 2005). Da un punto di vista ecologico, questo acaro può essere visto sia come cleptoparassita, in quanto consuma le riserve di polline contenute nei nidi, che come predatore perché può attaccare le larve appena formate (Danforth et al., 2019). Una cospicua quantità di esemplari di acari è stata rinvenuta soltanto nel tubo n.1, in una singola cella che conteneva abbondanti residui di polline e esemplari morti di *Monodontomerus obscurus*, provenienti dalle celle adiacenti.

Tracce di predazione

Nel corso dei sopralluoghi sono state osservate tracce di predazione nel bee hotel. La predazione è avvenuta sui nidi già presenti nel bee hotel e nessuna delle cannuce oggetto di studio è stata colpita (fig. 5.16). Con buona probabilità, le tracce sono state lasciate da picchi (*Dendrocopus* spp.) oppure ghiandaie (*Garrulus garrulus*).



Figura 5.16: Tracce di predazione da parte di uccelli sui nidi del bee hotel.

Insetti spazzini

Individui esaminati: *Ptinus sexpunctatus* Panzer, 1792: 2 es., 05/XI/2022; *Ptinus raptor* Sturm, 1837: 1 ♀; 08/IV/2022; Loc. Fonte Marianna, Montebello di Bertona (PE); leg. Di Marco A.; Det. Di Marco A.

Nei nidi artificiali studiati sono state trovate diverse specie di insetti spazzini e detritivori, principalmente coleotteri appartenenti alla famiglia degli Ptinidae e dei Dermestidae. Gli Ptinidae raccolti (fig. 5.16a-b) sono entrambi appartenenti al genere *Ptinus*, di cui un esemplare di *P. raptor* e due esemplari di *P. sexpunctatus*: queste specie si cibano di materia animale e vegetale, agendo come detritivori, e spesso si incontrano in nidi di apoidei selvatici (Bell e Philips, 2012; Majka et al., 2007). I Dermestidae sono coleotteri detritivori che si nutrono principalmente di materia organica, famosi per i danni arrecati alle derrate alimentari (Kiselyova e Mchugh, 2006). Sono state osservate alcune larve (fig. 5.16c) su delle masse di polline in una covata morta di *Osmia*. In alcuni nidi sono stati osservati anche esemplari di *Liposcelis*, insetto appartenente all'ordine degli Psocoptera che consuma detriti organici, specialmente di origine animale (Chinery, 2010).

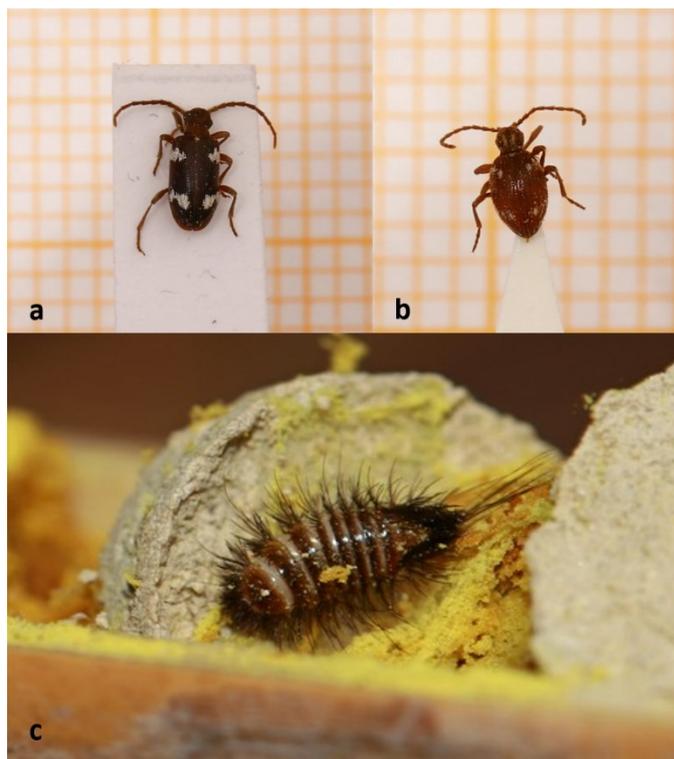


Figura 5.16: Specie spazzine e detritivore. a) *Ptinus sexpunctatus* (05/11/2022); b) *Ptinus raptor* (08/04/2022); c) Larva di dermestide, probabilmente *Trogoderma* (10/09/2022);

Insetti ospiti

***Crematogaster scutellaris* Oliver, 1792 (Hymenoptera, Formicidae)**

Il genere *Crematogaster* Lund, 1831, diffuso in tutto il mondo, è presente in Italia con tre specie (Scupola, 2018). Nell'area mediterranea la specie più comune è *Crematogaster scutellaris*. Nel bee hotel questa specie ha insediato una colonia in uno dei tronchi forati posti in alto. Le operaie hanno perlustrato buona parte delle strutture già presenti, entrando all'interno di vecchi nidi di *Anthidium* e di *Osmia* ma non hanno avuto contatti con i tubi impiegati nello studio. L'attività delle formiche è stata osservata da aprile fino a fine settembre.

Altri insetti ospiti

Tra gli insetti ospiti è stata osservata *Xylocopa* sp. (Hymenoptera, Apidae) che ha frequentato il sito, ispezionando i tubi del bee hotel senza tuttavia nidificare. Gli insetti ospiti del bee hotel sono in prevalenza emitteri eterotteri delle famiglie Rhyparochromidae e Lygaeidae: vanno in diapausa in inverno in edifici, rocce o altri ripari naturali (Burdfield-Steel e Shuker, 2014). Una specie degna di nota è *Leptoglossus occidentalis* Heidemann, 1910, appartenente alla famiglia dei Coreidae: è una specie invasiva di origine nordamericana e si nutre dei semi degli strobili delle Conifere, soprattutto delle Pinaceae. In autunno cerca dei ripari per svernare (Kulijer et al., 2017). La prima segnalazione per l'Abruzzo risale al 2004

(Olivieri, 2004) ed è interessante notare che anche in ambiente appenninico sia rinvenibile a quote abbastanza elevate (886 m). Nel caso di studio, sono stati individuati due esemplari, uno in volo in aprile (fig. 5.17), mentre l'altro in uno dei nidi colonizzati da *Auplopus* (26/10/2022). Altri insetti rinvenuti all'interno dei nidi artificiali sono appartenenti all'ordine dei Dermaptera, principalmente esemplari di *Forficula auricularia*. Interessante è il ritrovamento di un esemplare di *Pseudochelidura orsinii* (Gené, 1833) (leg. Di Marco A., det. Fontana, P.) (fig.5.18). Questo dermattero è un endemita della penisola italiana, diffuso soprattutto lungo la catena appenninica, dalle Alpi Marittime al gruppo del Matese, ma è stato trovato anche sui Monti Lessini. È un animale tipico dei prati montani e alpini ed è caratterizzato dai cerci spessi e sinuati, con un solo dente mediano sul lato interno (Galvagni e Fontana, 1992; Caussanel et al., 1990).



Figura 5.17: Esemplare di *Leptoglossus occidentalis* fotografato su uno dei pannelli didattici affiancati al bee hotel (15/04/2022)



Figura 5.18: *Pseudochelidura orsinii* (Dermaptera, Forficulidae) in uno dei nidi del bee hotel (15/11/2022)

6. Discussione

Le specie di apoidei antofili che hanno colonizzato i tubi installati per lo studio sono tutte appartenenti alla famiglia dei Megachilidae, in particolare due specie del genere *Osmia* (*O. bicornis* e *O. cornuta*) ed una al genere *Megachile*. Sono stati anche rilevati altri imenotteri non apoidei nidificanti in cavità, appartenenti al genere *Auplopus*. Dal confronto con la letteratura esistente (Splitt et al., 2022; Staab et al., 2018; Krunic et al., 2005; Tschardt et al., 1998), il risultato ottenuto corrisponde a quello atteso perché le api selvatiche che più frequentano le cavità per la nidificazione sono proprio i Megachilidae. Per motivi intrinseci al metodo, non sono state registrate nidificazioni da specie nidificanti a terra, *wood excavators* e *above ground nesters*, nonostante possa accadere talvolta che alcune specie con abitudini ecologiche diverse, come le *Xylocopa*, si insedino nei bee hotel: in questo senso, la struttura è stata visitata anche da esemplari di *Xylocopa* ma senza che avvenisse nidificazione. Il numero di specie rilevate è di certo inferiore alla diversità specifica complessiva dell'area perché, come emerge da osservazioni sul campo effettuate precedentemente e durante il lavoro, è noto che per il sito studiato sono presenti anche altre specie come *Anthidium*, *Heriades* ed altri Megachilidi che però non hanno usato i tubi installati per lo studio. Sugli 80 tubi utilizzati, solo il 32,5% sono stati colonizzati. Questa bassa percentuale di colonizzazione potrebbe avere varie cause. La posizione del bee hotel, orientata verso sud-est, assicura una buona insolazione specialmente nelle ore mattutine, per cui tutti i tubi del bee hotel ricevono la stessa quantità di luce al giorno, ma è molto probabile che sia stata l'altezza da terra alla quale sono stati posizionati ad influire sulla temperatura e sull'umidità interna dei nidi. Le api selvatiche sono i principali inquilini dei nidi, con il 30% dei tubi occupati, mentre le vespe, rappresentate soltanto da *Auplopus*, si limitano al 2,5%.

Per quanto concerne la biocenosi associata ad *Osmia cornuta* e *Osmia bicornis*, i parassiti più frequenti sono *Monodontomerus obscurus* e *Cacoxenus indagator* che spesso causano la morte delle covate. La presenza di *Anthrax* sp. è da indagare in modo più approfondito perché, con due soli campioni esaminati, non è possibile risalire con certezza alla specie. È comunque un dato rilevante perché attesta la presenza di questi parassitoidi nel sito. È stato possibile osservare anche *Chaetodactylus osmiae* in un solo tubo colonizzato da *Osmia bicornis*. Questo dato conferma la presenza dell'acaro nel sito e potrebbe essere indice di un'infestazione più generalizzata e non limitata al solo nido impiegato nello studio. È probabile che il bee hotel possa poi favorire la proliferazione della popolazione del parassita, pertanto andrebbero ispezionati tutti i nidi del bee hotel, prima dell'arrivo della primavera, per quantificare la diffusione dell'acaro e prendere eventualmente dei provvedimenti.

Nei nidi con celle abbandonate o parassitate sono stati osservati diversi insetti tipicamente detritivori, sia come larve che come adulti. La grande quantità di materia organica, principalmente polline ed individui morti, favorisce la loro sopravvivenza. Diverso è il caso di *Ptinus raptor*, perché talvolta viene accreditato come predatore ma anche come detritivoro. L'abbondanza di materia organica

permette l'instaurazione di una biocenosi abbastanza diversificata parallela a quella dei parassiti. Riguardo le specie ospiti invece, la maggioranza è costituita da Heteroptera, per i quali è ben noto che sfruttano i nidi artificiali per svernare. Si attesta inoltre la presenza di *Leptoglossus occidentalis*, specie alloctona ormai acclimatata in tutto il paese, trovata sia nei dintorni del sito in aprile che in uno dei tubi. Il ritrovamento più interessante tra gli insetti ospiti è *Pseudocheilidura orsinii*, in quanto specie endemica della Penisola Italiana legata ai prati del piano montano e alpino. Tra gli imenotteri non apoidei ospiti del bee hotel, è stata osservata la specie *Crematogaster scutellaris*. Anche se in determinati contesti le formiche possono essere tra i predatori principali nei nidi delle api selvatiche (vedi Staab et al., 2018), nel bee hotel le operaie di *C.scutellaris* non hanno arrecato danni alle api nei tubi installati per lo studio, nonostante sia stata osservata un'intensa attività nei nidi contigui al tronco dove hanno insediato la propria colonia. Lo schema qui riportato (Fig. 6.1) riassume i rapporti trofici tra le varie specie trovate nel bee hotel.

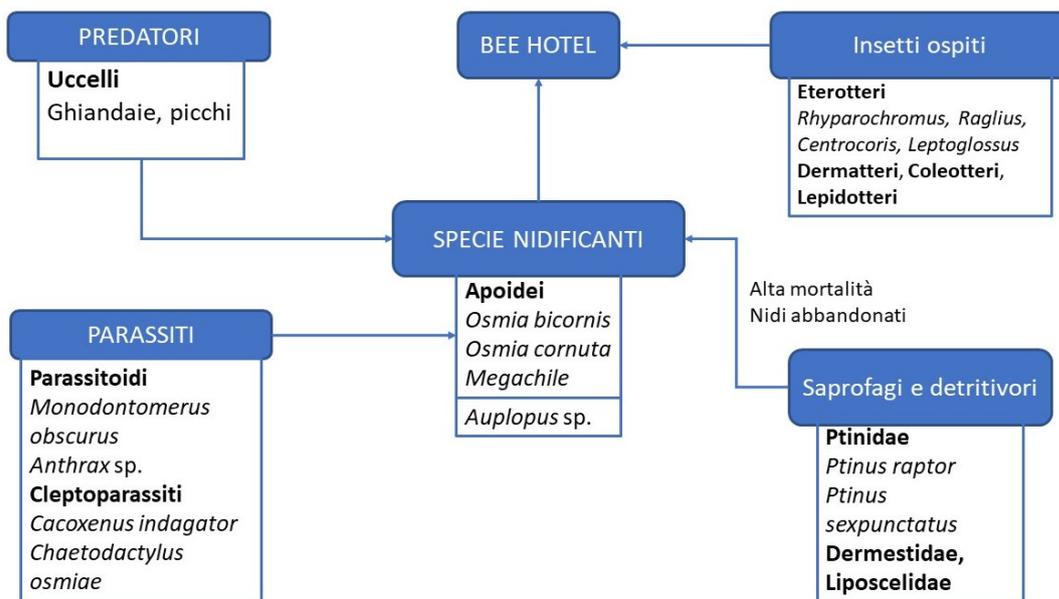


Figura 6.1: Schema riassuntivo delle interazioni tra gli animali del bee hotel

L'analisi statistica sui diametri non ha evidenziato differenze significative tra i nidi di *Osmia cornuta* e *Osmia bicornis*. Riguardo la relazione tra diametro e numero di celle, è stata osservata una correlazione non molto forte tra le due grandezze ($r=0,56$; tab. 5.6) per cui potrebbe essere opportuno ripetere la statistica con un campione più grande. Sul numero di celle costruite, i dati sembrano concordare con i lavori di Ivanov (2006) e Giejdasz et al. (2016): i due studi riportano da 1 a 28 celle di covata e da 5 a 34 celle per ogni tubo colonizzato. Nel caso di studio l'intervallo del numero di celle va da 2 a 26 celle per tubo, con una media di 9 celle per tubo, tenendo anche conto della distribuzione fortemente asimmetrica (fig. 5.5). I fattori che incidono sulla quantità di celle costruite sono ad esempio l'abbondanza di risorse, che tende ad aumentare il numero di celle di covata e la quantità di polline

in esse contenuta, spostando la sex ratio verso una progenie con più femmine, o la lunghezza dei tubi, con uno spostamento importante verso una progenie di maschi se la lunghezza non permette alla femmina di costruire altre celle (Splitt et al., 2022; Seidelmann et al., 2016; Ivanov, 2006).

I tassi di mortalità ricavati sono decisamente alti. Il tasso di mortalità globale arriva al 72,33%, mentre il tasso di mortalità per le sole cause naturali arriva al 60,68% (tab. 5.7). I fattori che hanno contribuito ad alzare così tanto queste percentuali possono essere molteplici. Gli sbalzi di temperatura e di umidità, causati dai temporali nel periodo tra marzo e aprile e nel mese di settembre, oltre al caldo anomalo in estate con una frequenza di precipitazioni ridotta al minimo, hanno con buona probabilità influenzato negativamente la sopravvivenza delle covate, infatti la temperatura può avere effetti negativi sulla vitalità, ma anche sulla dimensione, sul peso e sullo sviluppo degli organi interni degli adulti (vedi Ostap-Chec et al., 2021; Giejdasz e Fliszkiewicz, 2016). Anche l'azione di batteri, virus e muffe può essere letale. Tra i nidi analizzati, solo in un caso è stata osservata la presenza di muffe nelle celle. Si ipotizza una proliferazione micotica post mortem, ad azione saprofita. In realtà, come riportano Minckley e Danforth (2019), a parte per i patogeni che causano sintomi particolari e che attaccano esemplari vivi come il fungo *Ascospaera*, non è facile stabilire se il micete sia la causa di morte della covata oppure sia semplicemente saprofita. È interessante notare che nella maggioranza dei casi di mortalità le larve non hanno raggiunto l'ultimo stadio o addirittura neanche la seconda muta, infatti le masse polliniche risultavano intatte. Il tasso di mortalità potrebbe continuare a salire con l'instabilità meteorologica. Per verificare questa possibilità, bisognerebbe proseguire l'indagine anche nella prossima primavera.

Per quanto riguarda i parassiti sono stati analizzati l'efficacia del parassitismo di *C.indagator* e *M.obscurus* sui propri ospiti e la preferenza in diametro dei nidi da attaccare. Alla luce dei risultati esposti (fig. 5.6 e tab. 5.8 sez. "Dati ottenuti e risultati), sembrerebbe vi sia un'effettiva preferenza di *M.obscurus* per i nidi di con un diametro maggiore rispetto a *C.indagator*. Le possibili cause legate a questa preferenza potrebbero coinvolgere la scelta da parte di *M.obscurus* di deporre le uova in covate con una maggior presenza di femmine dell'ospite, in quanto, come esposto nei capitoli precedenti, le larve e le pupe tendono ad essere più grandi e quindi potrebbero fornire una quantità di cibo maggiore alle larve del parassitoide, mentre *C.indagator*, cleptoparassita, si limita a consumare le provviste di polline e non ha bisogno di uccidere la progenie ospite per poter crescere. Questa è una supposizione principalmente basata sull'osservazione dei nidi ed ha, purtroppo, un supporto statistico abbastanza debole: per verificare questa ipotesi il campione andrebbe di certo aumentato in numero perché nell'analisi proposta la popolazione era troppo scarsa. Sull'efficacia del parassitismo vale il discorso appena esposto: con i dati disponibili non è stata trovata una differenza significativa tra i due gruppi ma è anche vero che la popolazione analizzata è troppo esigua.

I modelli per le stime del successo riproduttivo delle osmie, stando ai dati disponibili, prevedono un successo estremamente basso in tutte le situazioni ma,

per quanto possano essere utili in un'ottica di uno studio della dinamica di popolazioni, sono puramente speculativi e necessitano di essere validati tramite test statistici e tramite una quantità più consistente di dati.

I limiti dello studio sono prevalentemente di tipo temporale, poiché gli studi effettuati con nest trapping e con i bee hotel di solito richiedono una quantità di tempo superiore ad un anno per poter indagare in modo opportuno le dinamiche della popolazione in esame e per poter approfondire, anche da un punto di vista tassonomico, la biocenosi associata alle specie nidificanti e al bee hotel in generale. Un esempio è proprio *Auplopus*, la cui identificazione specifica, senza avere il campione adulto preparato, è praticamente impossibile, così come alcuni tratti biologici, come le provviste raccolte, non sono osservabili se si trova il nido ormai chiuso e l'individuo già impupato. Il limite più grande, legato a fattori abiotici come temperatura e umidità, è stato l'alto tasso di mortalità e il basso tasso di colonizzazione dei nidi: questo ha ridotto di molto la numerosità del campione statistico, andando ad inficiare sui risultati. Per esempio, la distribuzione dei diametri dei nidi di *Osmia cornuta* è basata su soli 3 nidi, mentre la maggioranza dei nidi di *Osmia* sono rimasti indeterminati perché le covate sono andate perdute. Un altro limite potrebbe essere legato all'altezza da terra alla quale sono stati collocati i nidi artificiali, per cui sono risultati poco invitanti e inadatti ad altre specie di apoidei che frequentano la zona.

Le prospettive future potrebbero riguardare uno studio su un campione più numeroso di nidi, sia per ampliare le conoscenze della biocenosi associata ad *Osmia bicornis* e a *Osmia cornuta* nel sito che per fare studi sull'utilizzo delle risorse da parte di queste specie: un esempio potrebbe essere l'analisi dei pollini per vedere se c'è una preferenza nelle piante visitate in entrambe le specie, dunque una ripartizione delle risorse. Per avere un quadro più completo sulle dinamiche di popolazione si potrebbe attendere la primavera per valutare la percentuale di adulti maschi e femmine in entrambe le *Osmia*, così da verificare se vi sono differenze intraspecifiche ed interspecifiche nei nidi utilizzati e per vedere quanto la sex ratio è influenzata dai diametri.

7. Conclusioni

Questo studio, di carattere preliminare, fornisce un primo quadro conoscitivo della diversità specifica degli apoidei nella zona di Montebello di Bertona, in provincia di Pescara, Abruzzo. Le specie di api selvatiche rinvenute sono 3, appartenenti alla famiglia dei Megachilidae. Le più frequenti e abbondanti sono *Osmia bicornis* e *Osmia cornuta*, con 24 nidi colonizzati su 80 posizionati, mentre è stato trovato un solo nido di *Megachile*. Altra specie nidificante, con tre nidi costruiti, è *Auplopus*, vespa predatrice di ragni appartenente alla famiglia dei Pompilidae. Complessivamente, sono state rinvenute 23 specie di 8 ordini di insetti ed aracnidi, con valenze ecologiche diverse. Sono state trovate 4 specie differenti come parassiti associati ad *Osmia bicornis* e *Osmia cornuta*. Si accerta la presenza di *Anthrax* sp. e di *Chaetodactylus osmiae*, ma, per via della scarsità di dati a disposizione, non è stata quantificata l'entità dell'infestazione e la conseguente pressione sulla popolazione di osmie in esame. Le specie principali che hanno attaccato le osmie sono *Cacoxenus indagator*, dittero cleptoparassita, e *Monodontomerus obscurus*, imenottero parassitoide. I tassi di parassitismo relativi alle due specie sono rispettivamente del 4,36% e del 7,23% sul totale delle celle nei nidi. Dalle statistiche applicate, *Monodontomerus obscurus* predilige i nidi di osmia con un diametro più ampio rispetto a *Cacoxenus indagator*, il che potrebbe essere imputabile all'ecologia delle due specie. La comunità di specie saprofago-detritivore conta cinque specie, con entità note per queste abitudini ecologiche, come Ptinidae e Dermestidae. Tra gli insetti ospiti, le specie più rilevanti sono *Leptoglossus occidentalis*, emittente alloctono ed invasivo, e *Pseudochelidura orsinii*, specie endemica dell'Appennino. Lo studio ha sofferto dell'elevata mortalità del campione, arrivata a percentuali del 72,33%. Questa alta frequenza è spiegabile con gli sbalzi termici avvenuti durante il periodo di studio (marzo-ottobre) e con il caldo eccessivo dell'estate, avente un effetto diretto su temperatura e umidità interna ai nidi. Anche l'altezza da terra dei nidi ha giocato un ruolo non trascurabile, poiché ha potuto favorire il ristagno d'acqua, alterando l'equilibrio interno dei tubi in fatto di umidità e temperatura. La mortalità ha influito in modo negativo perché non ha permesso di identificare molti dei nidi analizzati, riducendo la numerosità del campione. I risultati più interessanti riguardano di certo la predilezione di *M. obscurus* per i nidi di *Osmia* con un diametro più ampio rispetto a quelli scelti da *C. indagator*: questo aspetto dovrà essere indagato con un campione più consistente per verificare la significatività dei risultati qui presentati. Questo studio può pertanto costituire una base per future ricerche sulla comunità di apoidei della zona Vestina, contribuendo alla conoscenza della diversità biologica e all'ecologia degli invertebrati in Abruzzo.

8. Bibliografia

- Aamidor, S.E., Yagound, B., Ronai, I., Oldroyd, B.P., 2018. Sex mosaics in the honeybee: how haplodiploidy makes possible the evolution of novel forms of reproduction in social Hymenoptera. *Biol. Lett.* 14, 20180670. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0670>
- Agnoli, G.L., Rosa, P., 2022. Biology of Chrysididae | Chrysis.net. URL <https://www.chrysis.net/chrysididae/biology-of-chrysididae/> (accessed 10.29.22).
- Almeida, E.A.B., 2008. Colletidae nesting biology (Hymenoptera: Apoidea). *Apidologie* 39, 16–29. <https://doi.org/10.1051/apido:2007049>
- Alston, D.G., Tepedino, V.J., Bradley, B.A., Toler, T.R., Griswold, T.L., Messinger, S.M., 2007. Effects of the insecticide phosmet on solitary bee foraging and nesting in orchards of Capitol Reef National Park, Utah. *Environ. Entomol.* 36, 811–816. [https://doi.org/10.1603/0046-225x\(2007\)36\[811:eotipo\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0046-225x(2007)36[811:eotipo]2.0.co;2)
- Antoine, C.M., Forrest, J.R.K., 2021. Nesting habitat of ground-nesting bees: a review. *Ecol. Entomol.* 46, 143–159. <https://doi.org/10.1111/een.12986>
- Arena, M., Sgolastra, F., 2014. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. *Ecotoxicology* 23, 324–334. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1190-1>
- Arpaia, S., 2013. Il campionamento dell'artropodofauna per il monitoraggio ambientale: applicazioni per la valutazione dell'impatto ambientale delle piante geneticamente modificate. ENEA, Frascati.
- Ascher, J.S., Pickering, J., 2020. Discover Life bee species guide and world checklist (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) [WWW Document]. URL https://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea_species (accessed 11.3.22).
- Barletti, B., Asensio, A., Polidori, C., Quaranta, M., De la Rua, P., 2021. Rediscovering the eusocial sweat bee *Lasioglossum marginatum* (Hymenoptera: Halictidae) in Sicily through DNA barcoding. *J. Apic. Res.* in press. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1896215>
- Bastian, H.-V., Bastian, A., 2022. European Bee-eater (*Merops apiaster*), in: Billerman, S.M., Keeney, B.K., Rodewald, P.G., Schulenberg, T.S. (Eds.), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bow.eubeat1.02>
- Bell, K., Philips, T., 2012. Molecular systematics and evolution of the Ptinidae (Coleoptera: Bostrichoidea) and related families. *Zool. J. Linn. Soc.* 165, 88. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2011.00792.x>
- Bellmann, H., 2016. Guida ai ragni d'Europa. Franco Muzzio.
- Bogusch, P., Astapenková, A., Heneberg, P., 2015. Larvae and Nests of Six Aculeate Hymenoptera (Hymenoptera: Aculeata) Nesting in Reed Galls Induced by *Lipara* spp. (Diptera: Chloropidae) with a Review of Species Recorded. *PLOS ONE* 10, e0130802. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130802>
- Bossert, S., Murray, E.A., Almeida, E.A.B., Brady, S.G., Blaimer, B.B., Danforth, B.N., 2019. Combining transcriptomes and ultraconserved elements to illuminate the phylogeny of Apidae. *Mol. Phylogenet. Evol.* 130, 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.10.012>

- Bossert, S., Wood, T., Patiny, S., Michez, D., Almeida, E., Minckley, R., Packer, L., Neff, J., Copeland, R., Straka, J., Pauly, A., Griswold, T., Brady, S., Danforth, B., Murray, E., 2021. Phylogeny, biogeography and diversification of the mining bee family Andrenidae. *Syst. Entomol.* 47. <https://doi.org/10.1111/syen.12530>
- Brady, S.G., Sipes, S., Pearson, A., Danforth, B.N., 2006. Recent and simultaneous origins of eusociality in halictid bees. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 1643–1649. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3496>
- Branstetter, M., Müller, A., Griswold, T., Orr, M., Zhu (朱), C.-D., 2021. BRANSTETTER 2021-Ultraconserved element phylogenomics and biogeography of the agriculturally important mason bee subgenus *Osmia* (*Osmia*). *Syst. Entomol.* 46. <https://doi.org/10.1111/syen.12470>
- Breed, M., Cook, C., Krasnec, M., 2012. Cleptobiosis in Social Insects. *Psyche* (Stuttg.) 7. <https://doi.org/10.1155/2012/484765>
- Brooks, R.I., 1988. Systematics and Phylogeny of the Anthophorine Bees (Hymenoptera: Anthophoridae; Anthophorini) 142.
- Brower, L.P., Westcott, P.W., 1960. Experimental Studies of Mimicry. 5. The Reactions of Toads (*Bufo terrestris*) to Bumblebees (*Bombus americanorum*) and Their Robberfly Mimics (*Mallophora bomboides*), with a Discussion of Aggressive Mimicry. *Am. Nat.* 94, 343–355. <https://doi.org/10.1086/282137>
- Buffington, M.L., Garretson, A., Kula, R.R., Gates, M.W., Carpenter, R., Smith, D.R., Kula, A.A.R., 2021. Pan trap color preference across Hymenoptera in a forest clearing. *Entomol. Exp. Appl.* 169, 298–311. <https://doi.org/10.1111/eea.13008>
- Burdfeld-Steel, E.R., Shuker, D.M., 2014. The evolutionary ecology of the Lygaeidae. *Ecol. Evol.* 4, 2278–2301. <https://doi.org/10.1002/ece3.1093>
- Camargo, J., Roubik, D.W., 1991. Systematics and bionomics of the apoid obligate necrophages: the *Trigona hypogea* group (Hymenoptera: Apidae; Meliponinae). *Biol. J. Linn. Soc.* 44, 13–39. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00604.x>
- Camerini, G., 2018. Consumo di suolo, urbanizzazione e perdita di biodiversità. *Biol. Ambient.* 32, 1–15. <https://doi.org/10.30463/ao181.001>
- Cane, J.H., 2021. A brief review of monolecty in bees and benefits of a broadened definition. *Apidologie* 52, 17–22. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00785-y>
- Cane, J.H., Neff, J.L., 2011. Predicted fates of ground-nesting bees in soil heated by wildfire: Thermal tolerances of life stages and a survey of nesting depths. *Biol. Conserv.* 144, 2631–2636. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.07.019>
- Cardinal, S., Danforth, B.N., 2013. Bees diversified in the age of eudicots. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 280, 20122686. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2686>
- Catania, R., Nobile, V., Bella, S., 2021. The species of *Eucera Scopoli*, subgenus *Tetralonia Spinola* from Sardinia (Italy) with new records and *E. gennargentui* sp. nov. (Hymenoptera, Apidae). *J. Hymenopt. Res.* 88, 1–16. <https://doi.org/10.3897/jhr.88.70819>
- Caussanel, C., Albouy, V., Cloupeau, R., 1990. Un Dermaptère nouveau pour la France, *Pseudochelidura montuosa* Steinmann, 1981. Les problèmes posés

- par le genre [Derm. Forficulidae]. Bull. Société Entomol. Fr. 95, 175–181. <https://doi.org/10.3406/bsef.1990.17650>
- Chinery, M., 2010. Guida degli insetti d'Europa: atlante illustrato a colori. Franco Muzzio, Roma.
- Cilia, G., Nanetti, A., Bortolotti, L., 2022. First identification of sac brood virus (SBV) in the not native species *Megachile sculpturalis*. Bull. Insectology 75, 315–320.
- Comba, M., 2019. Hymenoptera Apoidea: Anthophila of Italy. Bibliographic checklist of Italian wild bees with notes on taxonomy, biology, and distribution [WWW Document]. URL <https://digilander.libero.it/mario.comba/> (accessed 10.11.22).
- Combey, R., Kofi, K., Eardley, C.D., Botchey, M., 2010. Phylogenetic Analysis of the Bee Tribe Anthidiini. J. Ghana Sci. Assoc. 12. <https://doi.org/10.4314/jgsa.v12i1.56803>
- Cunha, A., Lamas, C., 2004. Description of five Anthrax Scopoli puparia (Diptera, Bombyliidae, Anthracinae, Anthracini). Zootaxa 741, 1. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.741.1.1>
- Danforth, B.N., Minckey, R.L., Neff, J.L., 2019. The solitary bees: biology, evolution, conservation, 1st edition. ed. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- De Luca, P., Vallejo-Marin, M., 2022. Blooms and Buzzing Bees: Bridging Buzz Pollination and Biotremology. pp. 261–292. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97419-0_11
- Dehon, M., Perrard, A., Engel, M.S., Nel, A., Michez, D., 2017. Antiquity of cleptoparasitism among bees revealed by morphometric and phylogenetic analysis of a Paleocene fossil nomadine (Hymenoptera: Apidae). Syst. Entomol. 42, 543–554. <https://doi.org/10.1111/syen.12230>
- Dicks, L., Breeze, T., Ngo, H.T., Senapathi, D., An, J., Aizen, M., Basu, P., Buchori, D., Galetto, L., Garibaldi, L., Gemmill-Herren, B., Howlett, B., Imperatriz-Fonseca, V.L., Johnson, S., Kovács-Hostyánszki, A., Kwon, Y., Lattorff, H.M., Lungharwo, T., Seymour, C., Potts, S., 2020. A global assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-90439/v1>
- Dorchin, A., López-Urbe, M.M., Praz, C.J., Griswold, T., Danforth, B.N., 2018. Phylogeny, new generic-level classification, and historical biogeography of the *Eucera* complex (Hymenoptera: Apidae). Mol. Phylogenet. Evol. 119, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2017.10.007>
- Dötterl, S., Vereecken, N.J., 2010. The chemical ecology and evolution of bee–flower interactions: a review and perspectives The present review is one in the special series of reviews on animal–plant interactions. Can. J. Zool. 88, 668–697. <https://doi.org/10.1139/Z10-031>
- Dyer, A.G., Paulk, A.C., Reser, D.H., 2011. Colour processing in complex environments: insights from the visual system of bees. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 278, 952–959. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2412>
- Eeraerts, M., Clymans, R., Kerckvoorde, V.V., Beliën, T., 2022. Nesting material, phenology and landscape complexity influence nesting success and parasite infestation of a trap nesting bee. Agric. Ecosyst. Environ. 332, 107951. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107951>

- Emery, C., 1909. Über den Ursprung der dulotischen, parasitischen und myrmekophilen Ameisen. antbase.org.
- Erenler, H.E., Orr, M.C., Gillman, M.P., Parkes, B.R.B., Rymer, H., Maes, J.-M., 2016. Persistent nesting by *Anthophora* Latreille, 1803 (Hymenoptera: Apidae) bees in ash adjacent to an active volcano. Pan-Pac. Entomol. 92, 67–78. <https://doi.org/10.3956/2016-92.2.67>
- Felicioli, A., Ambroselli, S., Cilia, G., Sagona, S., 2017. Parasitization of a wild and reared population of the solitary bee *Osmia cornuta* Latr. by the parasitoid *Anthrax anthrax* Schrank (Diptera, Bombyliidae): comparison between two types of artificial nest. J. Apic. Res. 56, 598–605. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1343019>
- Ferguson-Lees, J., Christie, D.A., 2001. Raptors of the world. Houghton Mifflin, Boston.
- Ferrazzi, P., Beretta, A., Vercelli, M., Quaranta, M., 2022. Ferrazzi et al., 2022 - A proposito di nidi artificiali per insetti impollinatori. Api e flora 36 (1), 9–13.
- Fontana, P., Costa, C., Di Prisco, G., Annoscia, D., Battisti, A., Caoduro, G., Carpana, E., Contessi, A., Lago, A., Dall'Olio, R., De Cristofaro, A., Felicioli, A., Floris, I., Fontanesi, L., Gardi, T., Lodesani, M., Malagnini, V., Manias, L., Manino, A., Ruzzier, E., 2018. Appeal for biodiversity protection of native honey bee subspecies of *Apis mellifera* in Italy (San Michele all'Adige declaration). Bull. Insectology 71, 257–271.
- Freitas, F., Branstetter, M., Griswold, T., Almeida, E., 2020. Partitioned Gene-Tree Analyses and Gene-Based Topology Testing Help Resolve Incongruence in a Phylogenomic Study of Host-Specialist Bees (Apidae: Eucerinae). Mol. Biol. Evol. <https://doi.org/10.1093/molbev/msaa277>
- Fu, F., Kocher, S.D., Nowak, M.A., 2015. The risk-return trade-off between solitary and eusocial reproduction. Ecol. Lett. 18, 74–84. <https://doi.org/10.1111/ele.12392>
- Galvagni, A., Fontana, P. (1992) Contributo alla conoscenza di alcuni ortotteroidei d'Italia, Atti Acc. Rov. Agiati, a.242 (1992), ser. VII, vol.II, B
- Gardner, A., Ross, L., 2013. Haplodiploidy, Sex-Ratio Adjustment, and Eusociality. Am. Nat. 181, E60–E67. <https://doi.org/10.1086/669147>
- Genise, J.F., Bellosi, E.S., Sarzetti, L.C., Krause, J.M., Dinghi, P.A., Sánchez, M.V., Umazano, A.M., Puerta, P., Cantil, L.F., Jicha, B.R., 2020. 100 Ma sweat bee nests: Early and rapid co-diversification of crown bees and flowering plants. PLOS ONE 15, e0227789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227789>
- Geslin, B., Gachet, S., Deschamps-Cottin, M., Flacher, F., Ignace, B., Knoploch, C., Meineri, É., Robles, C., Ropars, L., Schurr, L., Le Féon, V., 2020. Bee hotels host a high abundance of exotic bees in an urban context. Acta Oecologica 105, 103556. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103556>
- Giejdasz, K., Fliszkiewicz, M., 2016. Effect of Temperature Treatment during Development of *Osmia rufa* L., on Mortality, Emergence and Longevity of Adults. J. Apic. Sci. 60, 221–232. <https://doi.org/10.1515/jas-2016-0029>
- Giejdasz, K., Fliszkiewicz, M., Bednárová, A., Krishnan, N., 2016. Reproductive potential and nesting effects of *Osmia rufa* (syn. *bicornis*) female

- (Hymenoptera: Megachilidae). *J. Apic. Sci.* 60, 75–86.
<https://doi.org/10.1515/jas-2016-0003>
- Gonzalez, V., Gustafson, G., 2019. Morphological phylogeny of Megachilini and the evolution of leaf-cutter behavior in bees (Hymenoptera: Megachilidae). *J. Melittology* 85, 1–123.
<https://doi.org/10.17161/jom.v0i85.11541>
- Gonzalez, V.H., Griswold, T., Praz, C.J., Danforth, B.N., 2012. Phylogeny of the bee family Megachilidae (Hymenoptera: Apoidea) based on adult morphology. *Syst. Entomol.* 37, 261–286. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2012.00620.x>
- González-Zamora, J.E., Hidalgo-Matas, J.A., Corell-González, M., 2021. Wild solitary bees and their use of bee hotels in southwest Spain. *J. Apic. Res.* 60, 862–870. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1892416>
- Goulet, H., Huber, J.T., Canada (Eds.), 1993. Hymenoptera of the world: an identification guide to families, Publication. Centre for Land and Biological Resources Research, Ottawa, Ontario.
- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., Rotheray, E.L., 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347, 1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>
- Grüter, C., von Zuben, L.G., Segers, F.H.I.D., Cunningham, J.P., 2016. Warfare in stingless bees. *Insectes Sociaux* 63, 223–236.
<https://doi.org/10.1007/s00040-016-0468-0>
- Harley, R.M., Giuliatti, A.M., Abreu, I.S., Bitencourt, C., Oliveira, F.F. de, Endress, P.K., 2017. Resupinate Dimorphy, a novel pollination strategy in two-lipped flowers of *Eplingiella* (Lamiaceae). *Acta Bot. Bras.* 31, 102–107. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0381>
- Harmon-Threatt, A., 2020. Influence of Nesting Characteristics on Health of Wild Bee Communities. *Annu. Rev. Entomol.* 65, 39–56.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-024955>
- Hedtke, S.M., Blitzer, E.J., Montgomery, G.A., Danforth, B.N., 2015. Introduction of Non-Native Pollinators Can Lead to Trans-Continental Movement of Bee-Associated Fungi. *PloS One* 10, e0130560.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130560>
- Heneberg, P., Bogusch, P., 2014. To enrich or not to enrich? Are there any benefits of using multiple colors of pan traps when sampling aculeate Hymenoptera? *J. Insect Conserv.* 18, 1123–1136.
<https://doi.org/10.1007/s10841-014-9723-8>
- Hudson, J., Horn, S., Hanula, J.L., 2020. Assessing the Efficiency of Pan Traps for Collecting Bees (Hymenoptera: Apoidea). *J. Entomol. Sci.* 55, 321–328. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-55.3.321>
- Ivanov, S.P., 2006. The nesting of *Osmia rufa* (L.) (Hymenoptera, Megachilidae) in the Crimea: Structure and composition of nests. *Entomol. Rev.* 86, 524–533. <https://doi.org/10.1134/S0013873806050046>
- Jansta, P., Cruaud, A., Delvare, G., Genson, G., Heraty, J., Krizkova, B., Rasplus, J.-Y., 2017. Torymidae (Hymenoptera, Chalcidoidea) revised: Molecular phylogeny, circumscription and reclassification of the family with discussion of its biogeography and evolution of life-history traits. *Cladistics* 34. <https://doi.org/10.1111/cla.12228>

- Jin, N., Klein, S., Leimig, F., Bischoff, G., Menzel, R., 2015. The neonicotinoid clothianidin interferes with navigation of the solitary bee *Osmia cornuta* in a laboratory test. *J. Exp. Biol.* 218. <https://doi.org/10.1242/jeb.123612>
- Jr, J., Wyman, E., 2014. Early Nesting Biology of the Wood-Nesting Adventive Bee, *Lithurgus chrysurus* Fonscolombe (Apoidea: Megachilidae: Lithurginae). *Am. Mus. Novit.* 3804, 1–12. <https://doi.org/10.1206/3804.1>
- Kathirithamby, J., 2018. Biodiversity of Strepsiptera, in: *Insect Biodiversity*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 673–704. <https://doi.org/10.1002/9781118945582.ch22>
- Kati, V., Karamaouna, F., Economou, L., Mylona, P., Samara, M., Mitroiu, M.-D., Barda, M., Liberopoulou, S., 2021. Sown Wildflowers Enhance Habitats of Pollinators and Beneficial Arthropods in a Tomato Field Margin. *Plants* 10. <https://doi.org/10.3390/plants10051003>
- Kehrberger, S., 2021. Effects of climate warming on the timing of flowering and emergence in a tritrophic relationship: plants - bees - parasitoids. <https://doi.org/10.25972/OPUS-21393>
- Kierat, J., Szentgyörgyi, H., Woyciechowski, M., 2017. Orientation Inside Linear Nests by Male and Female *Osmia bicornis* (Megachilidae). *J. Insect Sci.* 17, 40. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iex010>
- Kirby, W., 1802. *Monographia apum Angliæ; or, An attempt to divide into their natural genera and families, such species of the Linnean genus Apis as have been discovered in England; with descriptions and observations. To which are prefixed some introductory remarks upon the class Hymenoptera, and a synoptical table of the nomenclature of the external parts of these insects.* Printed for the author by J. Raw, Ipswich.
- Kirk, R., 2013. *Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences.* SAGE Publications, Inc., 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States. <https://doi.org/10.4135/9781483384733>
- Kiselyova, T., Mchugh, J.V., 2006. A phylogenetic study of Dermestidae (Coleoptera) based on larval morphology. *Syst. Entomol.* 31, 469–507. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2006.00335.x>
- Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L.G., Henry, M., Isaacs, R., Klein, A.-M., Kremen, C., M’Gonigle, L.K., Rader, R., Ricketts, T.H., Williams, N.M., Lee Adamson, N., Ascher, J.S., Báldi, A., Batáry, P., Benjamin, F., Biesmeijer, J.C., Blitzer, E.J., Bommarco, R., Brand, M.R., Bretagnolle, V., Button, L., Cariveau, D.P., Chifflet, R., Colville, J.F., Danforth, B.N., Elle, E., Garratt, M.P.D., Herzog, F., Holzschuh, A., Howlett, B.G., Jauker, F., Jha, S., Knop, E., Krewenka, K.M., Le Féon, V., Mandelik, Y., May, E.A., Park, M.G., Pisanty, G., Reemer, M., Riedinger, V., Rollin, O., Rundlöf, M., Sardiñas, H.S., Scheper, J., Sciligo, A.R., Smith, H.G., Steffan-Dewenter, I., Thorp, R., Tschardtke, T., Verhulst, J., Viana, B.F., Vaissière, B.E., Veldtman, R., Ward, K.L., Westphal, C., Potts, S.G., 2015. Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nat. Commun.* 6, 7414. <https://doi.org/10.1038/ncomms8414>
- Kocher, S.D., Mallarino, R., Rubin, B.E.R., Yu, D.W., Hoekstra, H.E., Pierce, N.E., 2018. The genetic basis of a social polymorphism in halictid bees. *Nat. Commun.* 9, 4338. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06824-8>

- Kratschmer, S., Zettel, H., Ockermüller, E., Zimmermann, D., Schoder, S., Neumayer, J., Gusenleitner, F., Zenz, K., Mazzucco, K., Ebmer, A.W., Kuhlmann, M., 2021. Threat Ahead? An Experts' Opinion on the Need for Red Lists of Bees to Mitigate Accelerating Extinction Risks – The Case of Austria. *Bee World* 98, 74–77.
<https://doi.org/10.1080/0005772X.2021.1940734>
- Krunić, M., Stanisavljevi, L., Pinzauti, M., Felicioli, A., 2005. The accompanying fauna of *Osmia cornuta* and *Osmia rufa* and effective measures of protection 12.
- Kulijer, D., Mirza, D., Boris, H., Vesnić, A., Šarić, Š., Mujezinović, O., 2017. *Leptoglossus occidentalis* Heidemann, 1910 (Heteroptera: Coreidae) in Bosnia and Herzegovina - Current distribution and the earliest documented records. *Šumar. List* 2017, 577–582. <https://doi.org/10.31298/sl.141.11-12.5>
- Kumar, D., Banerjee, D., Chakrabarti Basu, P., Sarkar, S., Basu, P., 2022. Oxidative stress and apoptosis in Asian honey bees (*A. cerana*) exposed to multiple pesticides in intensive agricultural landscape. *Apidologie* 53.
<https://doi.org/10.1007/s13592-022-00929-2>
- Kumpanenko, A., Gladun, D., Vilhelmsen, L., 2019. Functional morphology and evolution of the sting sheaths in Aculeata (Hymenoptera). *Arthropod Syst. Phylogeny* 77, 325–338. <https://doi.org/10.26049/ASP77-2-2019-08>
- Latreille, P.A., Buffon, G.L.L., Sonnini, C.S., Sève, J.E. de, 1802. Histoire naturelle, générale et particulière des crustacés et des insectes. F. Dufart, Paris.
- Leonard, R.J., Harmon-Threatt, A.N., 2019. Methods for rearing ground-nesting bees under laboratory conditions. *Apidologie* 50, 689–703.
<https://doi.org/10.1007/s13592-019-00679-8>
- Lim, K., Lee, Seunghyun, Orr, M., Lee, Seunghwan, 2022. Harrison's rule corroborated for the body size of cleptoparasitic cuckoo bees (Hymenoptera: Apidae: Nomadinae) and their hosts. *Sci. Rep.* 12, 10984.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-14938-9>
- Litman, J.R., 2019. Under the radar: detection avoidance in brood parasitic bees. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 374, 20180196.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0196>
- Litman, J.R., Danforth, B.N., Eardley, C.D., Praz, C.J., 2011. Why do leafcutter bees cut leaves? New insights into the early evolution of bees. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 278, 3593–3600. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.0365>
- Litman, J.R., Praz, C.J., Danforth, B.N., Griswold, T.L., Cardinal, S., 2013. Origins, Evolution, and Diversification of Cleptoparasitic Lineages in Long-Tongued Bees. *Evolution* 67, 2982–2998.
<https://doi.org/10.1111/evo.12161>
- Long, E.Y., Krupke, C.H., 2016. Non-cultivated plants present a season-long route of pesticide exposure for honey bees. *Nat. Commun.* 7, 11629.
<https://doi.org/10.1038/ncomms11629>
- Lu, H., He, B., Hao, Y., Zhou, Z., Su, C., Huang, D., 2021. Comparative Mitogenomic Analysis of Two Cuckoo Bees (Apoidea: Anthophila: Megachilidae) with Phylogenetic Implications. *Insects* 12, 29.
<https://doi.org/10.3390/insects12010029>

- Lucia, M., Telleria, M.C., Ramello, P.J., Abrahamovich, A.H., 2017. Nesting ecology and floral resource of *Xylocopa augusti* Lepeletier de Saint Fargeau (Hymenoptera, Apidae) in Argentina. *Agric. For. Entomol.* 19, 281–293. <https://doi.org/10.1111/afe.12207>
- MacIvor, J.S., 2017. Cavity-nest boxes for solitary bees: a century of design and research. *Apidologie* 48, 311–327. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0477-z>
- MacIvor, J.S., Packer, L., 2015. ‘Bee Hotels’ as Tools for Native Pollinator Conservation: A Premature Verdict? *PLOS ONE* 10, e0122126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122126>
- Madras-Majewska, B., Zajdel, B., Boczkowska, A., 2022. The influence of nests usage on mason bee (*Osmia rufa* L.) survival.
- Majka, C., Philips, T., Sheffield, C., 2007. *Ptinus sexpunctatus* Panzer (Coleoptera : Anobiidae, Ptininae) newly recorded in North America. *Entomol. News* 118, 73–76. [https://doi.org/10.3157/0013-872X\(2007\)118\[73:PSPCAP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3157/0013-872X(2007)118[73:PSPCAP]2.0.CO;2)
- Malyshev, S.I., 1968. Genesis of the Hymenoptera, in: Richards, O.W., Uvarov, B. (Eds.), *Genesis of the Hymenoptera and the Phases of Their Evolution*. Springer US, Boston, MA, pp. 3–9. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7161-8_2
- Mandelik, Y., Roll, U., 2009. Diversity patterns of wild bees in almond orchards and their surrounding landscape. *Isr. J. Plant Sci. - Isr. J PLANT SCI* 57, 185–191. <https://doi.org/10.1560/IJPS.57.3.185>
- Martinet, B., Dellicour, S., Ghisbain, G., Przybyla, K., Zambra, E., Lecocq, T., Boustani, M., Baghirov, R., Michez, D., Rasmont, P., 2021. Global effects of extreme temperatures on wild bumblebees. *Conserv. Biol.* 35, 1507–1518. <https://doi.org/10.1111/cobi.13685>
- Mateus, S., Noll, F.B., 2004. Predatory behavior in a necrophagous bee *Trigona hypogea* (Hymenoptera; Apidae, Meliponini). *Naturwissenschaften* 91, 94–96. <https://doi.org/10.1007/s00114-003-0497-1>
- Melin, A., Krenn, H., Bowie, R., Beale, C., Colville, J., Manning, J., 2019. The allometry of proboscis length in Melittidae (Hymenoptera: Apoidea) and an estimate of their foraging distance using museum collections. *PLoS ONE* 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217839>
- Michener, C.D., 2007. *The bees of the world*, 2nd ed. ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Michez, D., Patiny, S., Rasmont, P., Timmermann, K., Vereecken, N.J., 2008. Phylogeny and host-plant evolution in Melittidae *s.l.* (Hymenoptera: Apoidea). *Apidologie* 39, 146–162. <https://doi.org/10.1051/apido:2007048>
- Michez, D., Rasmont, P., Terzo, M., Vereecken, N., 2019. Bees of Europe.
- Michez, D., Rasmont, P., Terzo, M., Vereecken, N.J., 2009. A synthesis of gynandromorphy among wild bees (Hymenoptera: Apoidea), with an annotated description of several new cases. *Ann. Société Entomol. Fr. NS* 45, 365–375. <https://doi.org/10.1080/00379271.2009.10697621>
- Michez, D., Terzo, M., Rasmont, P., 2004. Phylogénie, biogéographie et choix floraux des abeilles oligolectiques du genre *Dasypoda* Latreille 1802 (Hymenoptera: Apoidea: Melittidae). *Ann. Société Entomol. Fr. NS* 40, 421–435. <https://doi.org/10.1080/00379271.2004.10697431>

- Mikát, M., Fraňková, T., Benda, D., Straka, J., 2022. Evidence of sociality in European small Carpenter bees (*Ceratina*). *Apidologie* 53, 18.
<https://doi.org/10.1007/s13592-022-00931-8>
- Monterastelli, E., (2015) Guida pratica alla scoperta degli Apoidei: amati e temuti, impariamo a riconoscerli, Edizioni Montaonda
- Moure-Oliveira, D., Hirotsu, C.M., Serrano, J.C., Garófalo, C.A., 2019. Host-parasitoid interactions between the solitary bee *Centris analis* (Apidae: Centridini) and conopid flies (Diptera: Conopidae). *Sci. Nat.* 106, 39.
<https://doi.org/10.1007/s00114-019-1634-9>
- Müller, A., 2022. Palaeartic Osmiine Bees. URL <https://blogs.ethz.ch/osmiini/> (accessed 2.8.22).
- Müller, A., Weibel, U., 2020. A scientific note on an unusual hibernating stage in a late-flying European bee species. *Apidologie* 51, 436–438.
<https://doi.org/10.1007/s13592-019-00730-8>
- Murray, E., Bossert, S., Danforth, B., 2018. Pollinivory and the diversification dynamics of bees. *Biol. Lett.* 14, 20180530.
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0530>
- Nanetti, A., Bortolotti, L., Cilia, G., 2021. Pathogens Spillover from Honey Bees to Other Arthropods. *Pathogens* 10, 1044.
<https://doi.org/10.3390/pathogens10081044>
- Nieto, A., Kemp, J., Rasmont, P., Kuhlmann, M., Criado, M., Biesmeijer, J., Bogusch, P., Dathe, H., De la Rúa, P., Meulemeester, T., Dehon, M., Alexandre, D., Ortiz-Sanchez, F., Lhomme, P., Pauly, A., Potts, S., Praz, C., Quaranta, M., Tomozii, M., Roberts, S., 2014. European Red List of Bees.
- O’Hanlon, A., O’connor, J., 2021. The spider-hunting wasps of Ireland (Hymenoptera: Pompilidae). A review of the species, their natural history and recorded distribution. *Biol. Environ. Proc. R. Ir. Acad.* 121B, 61–82.
<https://doi.org/10.3318/bioe.2021.06>
- Olivieri N., 2004. *Leptoglossus occidentalis* Heidemann, 1910 (Heteroptera Coreidae). *Segnalazioni Faunistiche. Boll. Soc. entomol. ital.* , 136 (1): 75-78.
- Ollerton, J., 2017. Pollinator Diversity: Distribution, Ecological Function, and Conservation. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 48, 353–376.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022919>
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120, 321–326.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Orr, M.C., Jakob, M., Harmon-Threatt, A., Mupepele, A.-C., 2022. A review of global trends in the study types used to investigate bee nesting biology. *Basic Appl. Ecol.* 62, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.03.012>
- Ostap-Chec, M., Kierat, J., Kuszewska, K., Woyciechowski, M., 2021. Red mason bee (*Osmia bicornis*) thermal preferences for nest sites and their effects on offspring survival. *Apidologie* 52, 707–719.
<https://doi.org/10.1007/s13592-021-00858-6>
- Packer, L., Darla-West, G., 2021. Bees: How and Why to Sample Them, in: Santos, J.C., Fernandes, G.W. (Eds.), *Measuring Arthropod Biodiversity*. Springer International Publishing, Cham, pp. 55–83.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-53226-0_3

- Pagliano, G., 1994. Catalogo degli Imenotteri italiani. IV (Apoidea: Colletidae, Andrenidae, Megachilidae, Anthophoridae, Apidae). Mem. Soc. Entomol. Ital. 72, 331–467.
- Paini, D.R., Williams, M.R., Roberts, J.D., 2005. No short-term impact of honey bees on the reproductive success of an Australian native bee. *Apidologie* 36, 613–621. <https://doi.org/10.1051/apido:2005046>
- Park, M.G., Blitzer, E.J., Gibbs, J., Losey, J.E., Danforth, B.N., 2015. Negative effects of pesticides on wild bee communities can be buffered by landscape context. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 282, 20150299. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0299>
- Parys, K., Tripodi, A., Sampson, B., 2015. The Giant Resin Bee, *Megachile sculpturalis* Smith: New Distributional Records for the Mid- and Gulf-south USA. *Biodivers. Data J.* 3, 1–23. <https://doi.org/10.3897/BDJ.3.e6733>
- Patiny, S., Michez, D., Danforth, B.N., 2008. Phylogenetic relationships and host-plant evolution within the basal clade of Halictidae (Hymenoptera, Apoidea). *Cladistics* 24, 255–269. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2007.00182.x>
- Pesenko, Y.A., Banaszak, J., Radchenko, V.G., Cierznia, T., 2000. Bees of the family Halictidae (excluding Sphecodes) of Poland: taxonomy, ecology, bionomics. Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Bydgoszczy. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3185.5447>
- Pisanty, G., Richter, R., Martin, T., Dettman, J., Cardinal, S., 2020. Molecular phylogeny and historical biogeography of andrenine bees (Hymenoptera: Andrenidae). <https://doi.org/10.1101/2020.06.09.103556>
- Pitts-Singer, T.L., Cane, J.H., 2011. The Alfalfa Leafcutting Bee, *Megachile rotundata*: The World's Most Intensively Managed Solitary Bee. *Annu. Rev. Entomol.* 56, 221–237. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144836>
- Plentovich, S., Graham, J.R., Haines, W.P., King, C.B.A., 2021. Invasive ants reduce nesting success of an endangered Hawaiian yellow-faced bee, *Hylaeus anthracinus*. *NeoBiota* 64, 137–154. <https://doi.org/10.3897/neobiota.64.58670>
- Poinar, G., 2020. *Discoscapidae* fam. nov. (Hymenoptera: Apoidea), a new family of stem lineage bees with associated beetle triungulins in mid-Cretaceous Burmese amber. *Palaeodiversity* 13, 1. <https://doi.org/10.18476/pale.v13.a1>
- Poinar, G.O., Danforth, B.N., 2006. A Fossil Bee from Early Cretaceous Burmese Amber. *Science* 314, 614–614. <https://doi.org/10.1126/science.1134103>
- Policarová, J., Cardinal, S., Martins, A.C., Straka, J., 2019. The role of floral oils in the evolution of apid bees (Hymenoptera: Apidae). *Biol. J. Linn. Soc.* blz099. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blz099>
- Polidori, C., Ferrari, A., 2022. (PDF) How city traits affect taxonomic and functional diversity of urban wild bee communities: insights from a worldwide analysis [WWW Document]. URL https://www.researchgate.net/publication/362570009_How_city_traits_affect_taxonomic_and_functional_diversity_of_urban_wild_bee_communities_insights_from_a_worldwide_analysis (accessed 11.11.22).

- Polidori, C., Geyer, M., Schmitt, T., 2020. Do Sphecodes cuckoo bees use chemical insignificance to invade the nests of their social *Lasioglossum* bee hosts? *Apidologie* 51, 147–162. <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00692-x>
- Polidori, C., Sánchez-Fernández, D., 2020. Environmental niche and global potential distribution of the giant resin bee *Megachile sculpturalis*, a rapidly spreading invasive pollinator. *Glob. Ecol. Conserv.* 24, e01365. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01365>
- Portman, Z.M., Tepedino, V.J., 2017. Convergent evolution of pollen transport mode in two distantly related bee genera (Hymenoptera: Andrenidae and Melittidae). *Apidologie* 48, 461–472. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0489-8>
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* 25, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Prado, S.G., Ngo, H.T., Florez, J.A., Collazo, J.A., 2017. Sampling bees in tropical forests and agroecosystems: a review. *J. Insect Conserv.* 21, 753–770. <https://doi.org/10.1007/s10841-017-0018-8>
- Prendergast, K.S., Menz, M.H.M., Dixon, K.W., Bateman, P.W., 2020. The relative performance of sampling methods for native bees: an empirical test and review of the literature. *Ecosphere* 11. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3076>
- Quaranta, M., Cornalba, M., Biella, P., Comba, M., Battistoni, A., Rondinini, C., Teofili, C., 2018. Lista rossa delle Api Italiane Minacciate (Red list of the Italian threatened bees).
- Quaranta, M., Sommaruga, A., Balzarini, P., Felicioli, A., 2014. A new species for the bee fauna of Italy: *Megachile sculpturalis* continues its colonization of Europe 7.
- Radchenko, V., Pesenko, Y., 1994. Biology of bees (Hymenoptera, Apoidea). <https://doi.org/10.13140/2.1.3938.6242>
- Rasmont, P., Devalez, J., Pauly, A., Michez, D., Radchenko, V.G., 2017. Addition to the checklist of IUCN European wild bees (Hymenoptera: Apoidea). *Ann. Société Entomol. Fr. NS* 53, 17–32. <https://doi.org/10.1080/00379271.2017.1307696>
- Rasmont, P., Franzen, M., Lecocq, T., Harpke, A., Roberts, S., Biesmeijer, K., Castro, L., Cederberg, B., Dvorak, L., Fitzpatrick, U., Gonseth, Y., Haubruge, E., Mahe, G., Manino, A., Michez, D., Neumayer, J., Odegaard, F., Paukkunen, J., Pawlikowski, T., Potts, S., Reemer, M., Settele, J., Straka, J., Schweiger, O., 2015. Climatic Risk and Distribution Atlas of European Bumblebees. *BioRisk* 10, 1–236. <https://doi.org/10.3897/biorisk.10.4749>
- Robertson, C., 1925. Heterotropic Bees. *Ecology* 6, 412–436. <https://doi.org/10.2307/1929107>
- Rodriguez, S., Perez, L., Vergara, P., Carvajal, M., Alaniz, A., 2020. Native bees in Mediterranean semi-arid agroecosystems: Unravelling the effects of biophysical habitat, floral resource, and honeybees. *Agric. Ecosyst. Environ.* (Accepted). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107188>
- Roubik, D., 1982. (PDF) Obligate Necrophagy in a Social Bee [WWW Document]. URL

https://www.researchgate.net/publication/6001943_Obligate_Necrophagy_in_a_Social_Bee?_iepl%5BgeneralViewId%5D=i8ccm7U6aE0cJvWiJAxRB5rryucAL3bgU6gi&_iepl%5Bcontexts%5D%5B0%5D=searchReact&_iepl%5BviewId%5D=mQcwqBvz9b8C1bKVzErA3gLn7LBhVVFdhP6t&_iepl%5BsearchType%5D=publication&_iepl%5Bdata%5D%5BcountLessEqual20%5D=1&_iepl%5Bdata%5D%5BinteractedWithPosition2%5D=1&_iepl%5Bdata%5D%5BwithoutEnrichment%5D=1&_iepl%5Bposition%5D=2&_iepl%5BrgKey%5D=PB%3A6001943&_iepl%5BtargetEntityId%5D=PB%3A6001943&_iepl%5BinteractionType%5D=publicationTitle (accessed 3.31.22).

- Roubik, D.W., 2012. Ecology and Social Organisation of Bees, in: ELS. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0023596>
- Rozen, J.G., 2003. Eggs, Ovariole Numbers, and Modes of Parasitism of Cleptoparasitic Bees, with Emphasis on Neotropical Species (Hymenoptera: Apoidea). *Am. Mus. Novit.* 2003, 1–36. [https://doi.org/10.1206/0003-0082\(2003\)413<0001:EONAMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1206/0003-0082(2003)413<0001:EONAMO>2.0.CO;2)
- Ruffo, S., Stoch, F., 2005. Checklist e distribuzione della fauna italiana: 10.000 specie terrestri e delle acque interne, Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona 2. Serie: Sezione scienze della vita. Verona.
- Russo, L., 2016. Positive and Negative Impacts of Non-Native Bee Species around the World. *Insects* 7, 69. <https://doi.org/10.3390/insects7040069>
- Sann, M., Meusemann, K., Niehuis, O., Escalona, H.E., Mokrousov, M., Ohl, M., Pauli, T., Schmid-Egger, C., 2021. Reanalysis of the apoid wasp phylogeny with additional taxa and sequence data confirms the placement of Ammoplanidae as sister to bees. *Syst. Entomol.* 46, 558–569. <https://doi.org/10.1111/syen.12475>
- Sann, M., Niehuis, O., Peters, R.S., Mayer, C., Kozlov, A., Podsiadlowski, L., Bank, S., Meusemann, K., Misof, B., Bleidorn, C., Ohl, M., 2018. Phylogenomic analysis of Apoidea sheds new light on the sister group of bees. *BMC Evol. Biol.* 18, 71. <https://doi.org/10.1186/s12862-018-1155-8>
- Saunders, M.E., Luck, G.W., 2013. Pan trap catches of pollinator insects vary with habitat. *Aust. J. Entomol.* 52, 106–113. <https://doi.org/10.1111/aen.12008>
- Scheiner, R., Abramson, C.I., Brodschneider, R., Crailsheim, K., Farina, W.M., Fuchs, S., Grünewald, B., Hahshold, S., Karrer, M., Koeniger, G., Koeniger, N., Menzel, R., Mujagic, S., Radspieler, G., Schmickl, T., Schneider, C., Siegel, A.J., Szopek, M., Thenius, R., 2013. Standard methods for behavioural studies of *Apis mellifera*. *J. Apic. Res.* 52, 1–58. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.04>
- Scupola, A., 2018, Le formiche del Veneto. Guida al riconoscimento delle specie con note di mirmecologia generale-The ants of Veneto. Guide to recognition of species with notes of general myopecology WBA Project
- Seidelmann, K., Bienesch, A., Pröhl, F., 2016. The impact of nest tube dimensions on reproduction parameters in a cavity nesting solitary bee, *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae). *Apidologie* 47, 114–122. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0380-z>
- Sgolastra, F., Tosi, S., Medrzycki, P., Porrini, C., Burgio, G., 2015. Toxicity of Spirotetramat on Solitary Bee Larvae, *Osmia Cornuta* (Hymenoptera:

- Megachilidae), in Laboratory Conditions. *J. Apic. Sci.* 59, 73–83.
<https://doi.org/10.1515/JAS-2015-0024>
- Sharkey, M.J., 2007. Phylogeny and Classification of Hymenoptera*. *Zootaxa* 1668, 521–548. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1668.1.25>
- Sheffield, C., Ratti, C., Packer, L., Griswold, T., 2011. Leafcutter and mason bees of the genus *Megachile* Latreille (Hymenoptera: Megachilidae) in Canada and Alaska. *Can. J. Arthropod Identif.* 18, 1–107.
<https://doi.org/10.3752/cjai.2011.18>
- Shrestha, M., Garcia, J.E., Chua, J.H.J., Howard, S.R., Tscheulin, T., Dorin, A., Nielsen, A., Dyer, A.G., 2019. Fluorescent Pan Traps Affect the Capture Rate of Insect Orders in Different Ways. *Insects* 10, 40.
<https://doi.org/10.3390/insects10020040>
- Sircom, J., Arul Jothi, G., Pinksen, J., 2018. Monitoring bee populations: are eusocial bees attracted to different colours of pan trap than other bees? *J. Insect Conserv.* 22, 433–441. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0071-y>
- Skvarla, M., Larson, J., Fisher, R., Dowling, A., 2020. A Review of Terrestrial and Canopy Malaise Traps. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 114.
<https://doi.org/10.1093/aesa/saaa044>
- Sless, T.J.L., Branstetter, M.G., Gillung, J.P., Krichilsky, E.A., Tobin, K.B., Straka, J., Rozen, J.G., Freitas, F.V., Martins, A.C., Bossert, S., Searle, J.B., Danforth, B.N., 2022. Phylogenetic relationships and the evolution of host preferences in the largest clade of brood parasitic bees (Apidae: Nomadinae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 166, 107326.
<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107326>
- Smith, T.M., Smith, R.L., 2017. *Elementi di Ecologia*, 9th ed. Pearson.
- Smith-Pardo, A., 2011. Importance of corbiculate bees in plant protection and quarantine.
- Sommaggio, D., Fusco, G., Uliana, M., Minelli, A., 2021. Possible Epigenetic Origin of a Recurrent Gynandromorph Pattern in *Megachile* Wild Bees. *Insects* 12. <https://doi.org/10.3390/insects12050437>
- Sommaggio, D., Paoletti, M.G., 2018. Gli invertebrati come bioindicatori di un paesaggio sostenibile. *Libreriauniversitaria.it Edizioni*, Padova.
- Song, S.-N., Tang, P., Wei, S.-J., Chen, X.-X., 2016. Comparative and phylogenetic analysis of the mitochondrial genomes in basal hymenopterans. *Sci. Rep.* 6, 20972. <https://doi.org/10.1038/srep20972>
- Splitt, A., Schulz, M., Skórka, P., 2022. Current state of knowledge on the biology and breeding of the solitary bee – *Osmia bicornis*. *J. Apic. Res.* 61, 163–179. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1957610>
- Staab, M., Pufal, G., Tschardtke, T., Klein, A.-M., 2018. Trap nests for bees and wasps to analyse trophic interactions in changing environments—A systematic overview and user guide. *Methods Ecol. Evol.* 9, 2226–2239.
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.13070>
- Strobl, V., Albrecht, M., Radford, S., Wolf, S., Neumann, P., 2019. A short note on extreme sex ratio in solitary bees *Osmia cornuta* in semi-field trials testing the impact of neonicotinoids. *J. Apic. Res.*
<https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1552238>
- Strohm, E., 2011. How can cleptoparasitic drosophilid flies emerge from the closed brood cells of the red Mason bee? *Physiol. Entomol.* 36, 77–83.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2010.00764.x>

- Teichroew, J.L., Xu, J., Ahrends, A., Huang, Z.Y., Tan, K., Xie, Z., 2017. Is China's unparalleled and understudied bee diversity at risk? *Biol. Conserv.*, Special Issue on China's Biodiversity Conservation 210, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.023>
- Tengö, J., Bergström, G., 1977. Cleptoparasitism and Odor Mimetism in Bees: Do *Nomada* Males Imitate the Odor of *Andrena* Females? *Science* 196, 1117–1119. <https://doi.org/10.1126/science.196.4294.1117>
- Terzo, M., Iserbyt, S., Rasmont, P., 2007. Revision of the Xylocopinae (Hymenoptera: Apidae) of France and Belgium. *Ann. Soc. Entomol. Fr.* 43, 445–492.
- Toler, T., Evans, E., Tepedino, V., 2005. Pan-trapping for bees (Hymenoptera : Apiformes) in Utah's West Desert: the importance of color diversity. *Pan-Pac. Entomol.* 81, 103–113.
- Torchio, P.F., Burdick, D.J., 1988. Comparative Notes on the Biology and Development of *Epeolus compactus* Cresson., a Cleptoparasite of *Colletes kincaidii* Cockerell (Hymenoptera: Anthophoridae, Colletidae). *Entomol. Pap. Sources.*
- Tscharntke, T., Gathmann, A., Steffan-Dewenter, I., 1998. Bioindication Using Trap-Nesting Bees and Wasps and Their Natural Enemies: Community Structure and Interactions. *J. Appl. Ecol.* 35, 708–719.
- USGS, L.B.T., 2022. Integrated Taxonomic Information System (ITIS). <https://doi.org/10.5066/F7KH0KBK>
- Vereecken, N., Weekers, T., Leclercq, N., De Greef, S., Hainaut, H., Molenberg, J.-M., Martin, Y., Janssens, X., Noel, G., Pauly, A., Roberts, S., Marshall, L., 2021. Insect biomass is not a consistent proxy for biodiversity metrics in wild bees. *Ecol. Indic.* 121, 107132. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107132>
- Ward, L., Hladik, M., Guzman, A., Winsemius, S., Bautista, A., Kremen, C., Mills, N., 2022. Pesticide exposure of wild bees and honey bees foraging from field border flowers in intensively managed agriculture areas. *Sci. Total Environ.* 831, 154697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154697>
- Weinstein, S.B., Kuris, A.M., 2016. Independent origins of parasitism in Animalia [WWW Document]. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0324>
- Wenzel, A., Grass, I., Noelke, N., Pannure, A., Tscharntke, T., 2022. Wild bees benefit from low urbanization levels and suffer from pesticides in a tropical megacity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 336, 108019. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108019>
- Westerkamp, C., Claßen-Bockhoff, R., 2007. Bilabiate Flowers: The Ultimate Response to Bees? *Ann. Bot.* 100, 361–374. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm123>
- Wilson, E.E., Holway, D.A., 2010. Multiple mechanisms underlie displacement of solitary Hawaiian Hymenoptera by an invasive social wasp. *Ecology* 91, 3294–3302. <https://doi.org/10.1890/09-1187.1>
- Wood, T., Patiny, S., Bossert, S., 2022. An unexpected new genus of panurgine bees (Hymenoptera, Andrenidae) from Europe discovered after phylogenomic analysis. *J. Hymenopt. Res.* 89, 183–210. <https://doi.org/10.3897/jhr.89.72083>

- Yeates, D., Greathead, D., 2008. The evolutionary pattern of host use in the Bombyliidae (Diptera): a diverse family of parasitoid flies. *Biol. J. Linn. Soc.* 60, 149–185. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1997.tb01490.x>
- Zajdel, B., Boranski, M., Kucharska, K., Teper, D., 2021. Reproduction and Accompanying Fauna of Red Mason Bee *Osmia rufa* L. (syn. *Osmia bicornis* L.) in Areas with Different Levels of Urbanization. *J. Apic. Sci.* 65, 123–137. <https://doi.org/10.2478/jas-2021-0009>
- Zajdel, B., Fliszkiewicz, M., Kucharska, K., Gąbka, J., 2016. Influence of the presence of *Cacoxenus indagator* Loew. parasite larvae in brood chambers on the emergence rate and size of red mason bees. *Med. Weter.* 72, 567–570. <https://doi.org/10.21521/mw.5559>
- Zajdel, B., Gąbka, J., Kucharska, K., Kucharski, D., 2014. The role of vestibulum in the nests of the red mason bee *Osmia bicornis* L.. *Ann. Wars. Univ. Life Sci. - SGGW* 53.
- Zàngheri, P., 2001. *Il naturalista: esploratore, raccogliatore, preparatore, imbalsamatore : guida pratica elementare per la raccolta, preparazione, conservazione di tutti gli oggetti .*, 6. ed. riv. con un capitolo sull'allestimento dei piccoli Musei scolastici di Storia naturale. ed. Hoepli, Milano.
- Zerova, M., Seyogina, L., 2002. A revision of Old World *Monodontomerus* (Hymenoptera, Chalcidoidea, Torymidae), Kiev, Ukraine, Institute of Zoology of NANU, Nauka-Servis Publisher, 1-74 pp. (in English language).
- Zhang, Q., Zhang, J., Yitao, F., Zhang, H., 2015. An endoparasitoid Cretaceous fly and the evolution of parasitoidism. *Sci. Nat.* 103. <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1327-y>
- Zhang, Y.-W., Zhao, J.-M., Inouye, D.W., 2014. Nectar thieves influence reproductive fitness by altering behaviour of nectar robbers and legitimate pollinators in *Corydalis ambigua* (Fumariaceae). *J. Ecol.* 102, 229–237. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12166>

1. Sitografia

Antweb <https://www.antweb.org/>

Beeodiversity Park- sito: <https://www.beeodiversitypark.com/>

Beewatching <https://www.beewatching.it/>

Key to the Bee Families of the World-

<http://www.yorku.ca/bugsrus/resources/keys/BFoW/Images/Introduction/Introduction.html>

Fauna Europaea- All European Animal Species Online <https://fauna-eu.org/>

Pollinator species Monitorin- (EUPoMS)- Commissione Europea

<https://wikis.ec.europa.eu/pages/viewpage.action?pageId=23462107>

Posit Software <https://posit.co/>.

